надежных цифровых, микропроцессорных систем управления, интегрированных в рабочую машину, механизм, прибор, изделие — станок, робот, стиральную машину, принтер, плоттер, радиотелефон, автомобиль и т.д.

Компьютерная и связанная с ней микропроцессорная техника развиваются столь стремительно, что производительность процессоров удваивается каждые 8-10 месяцев при значительном росте степени интеграции, снижении габаритов, энергопотребления и цены.

Революция в управляющей электронике сопровождается революцией и в силовой электронике, что позволяет создавать *интегрально-гибридные интеллектуальные электронные модули,* а также конструктивно интегрировать в одном изделии рабочий орган механизма, силовой преобразователь, устройство управления, источник питания и датчики.

Вместо традиционного термина «электромеханика» постепенно начинают применять термин «мехатроника», означающий конструктивное объединение механики и электроники на принципиально новом уровне, когда рост управляющих вычислительных ресурсов при использовании *больших интегральных схем* (БИС) сопровождается значительным повышением надежности оборудования, главным образом, за счет резкого уменьшения монтажных соединений и расширением функциональных возможностей изделия в сторону автоматической адаптации к условиям эксплуатации и интерактивного обучения в процессе диалога с оператором.

Встроенной системой управления будем называть систему управления, конструктивно интегрированную в оборудование. Так, система управления, встроенная в статический преобразователь частоты для асинхронных двигателей, может представлять собой одно- или многоплатную микроЭВМ с необходимым набором интерфейсов для обеспечения как непосредственного управления инвертором и приводом в целом, так и взаимодействия с человеком-оператором, включая, например пульт оперативного управления с дисплеем и клавиатурой. Обязательным компонентом такой системы является интерфейс с системой управления более высокого уровня (промышленным программируемым контроллером или компьютером в промышленном исполнении), что позволяет решать задачи комплексной автоматизации с использованием заданного числа единиц технологического оборудования, объединяя это оборудование в единую *распределенную систему управления.*

В зависимости от сложности решаемой задачи встроенная система управления может быть *однопроцессорной* или многопроцессорной *(мультимикропроцессорной), одноуровневой* или *многоуровневой.* В последнем случае на *нижнем уровне управления* решаются задачи *непосредственного управления* отдельными компонентами оборудования (например отдельными осями привода, узлами автомобиля), а на следующем, более высоком, - задачи совместного управления в реальном времени, связи с оператором, системой верхнего уровня и т.д. Типичными примерами являются станки с числовым программным управлением, роботы-манипуляторы, изделия автомобильной и авиационной электроники, системы связи.

Для многоуровневых систем управления в настоящее время четко прослеживается тенденция оформления систем управления *среднего уровня* в самостоятельном конструктиве для монтажа в стойки или в панели управления. Возможен также вариант настольного или настенного монтажа. Такие устройства управления получили название *индустриальных рабочих станций, индустриальных компьютеров, панельных компьютеров, промышленных программируемых контроллеров.* При этом контроллеры нижнего уровня управления могут подключаться к системе среднего уровня управления несколькими способами: через стандартные последовательные или параллельные интерфейсы; путем установки на системную шину в качестве специализированных *устройств сопряжения с объектом (модулей УСО).*

Индустриальные компьютеры имеют, как правило, развитый набор стандартных устройств сопряжения с объектом (УСО), делающий их универсальными средствами управления для широкого круга применений. Тем не менее на нижнем уровне управления двигателями, статическими преобразователями и др. требуется в большинстве случаев разработка *встроенных специализированных контроллеров,* причем эту разработку могут выполнить только специалисты в данной предметной области, хорошо разбирающиеся в особенностях объекта управления, способные предложить и реализовать весь комплекс необходимых алгоритмов оптимального управления объектом.

Главное отличие *промышленного контроллера* от *промышленного компьютера* состоит в адаптации языка программирования под конкретную область применения. Так, большинство промышленных контроллеров, выпускаемых такими известными фирмами как Allen Bredley, Simens, Fanuc, ABB и др. являются *программируемыми логическими контроллерами (PLC)* и имеют встроенные интерпретаторы с языка релейной автоматики или языка Булевой алгебры, что позволяет неспециалисту программирование системы управления. Таким образом, одноуровневые системы встроенного управления выполняются преимущественно на *базе однокристальных микроЭВМ - микроконтроллеров,* а двух- и более -уровневые предполагают использование на среднем уровне управления многоплатных микроЭВМ типа промышленного программируемого контроллера или компьютера в промышленном исполнении.

Встраиваемое управляющее устройство является *микропроцессорной системой управления,* в состав которой кроме центрального процессора на базе однокристального микропроцессора и микроконтроллера входят необходимые дополнительные элементы памяти и периферийные интерфейсные БИС для организации сопряжения с датчиками, объектом управления и системой управления более высокого уровня.

С точки зрения производителей микропроцессорной техники все задачи, решаемые системами встроенного управления делятся на два больших класса: *управление событиями в реальном времени и управление потоками данных.* Каждый класс задач предъявляет свои специфические требования к микропроцессору или микроконтроллеру, что отражается прежде всего в наборе функций, реализуемых на кристалле, а также в системе команд.

К первому классу относятся задачи, требующие быстрой реакции микропроцессорной системы на изменение внешних условий (на срабатывание технологических датчиков, изменение параметров и т.д.). Как правило, системы управления приводами, энергетическими установками, роботами, а также системы распределенной автоматизации относятся к системам первого класса. Эти задачи требуют применения микроконтроллеров с большим объемом интегрированной на кристалл периферии, включая реализацию на кристалле памяти программ, памяти данных и устройств ввода-вывода, что сокращает аппаратные затраты и удешевляет изделие со встроенной системой управления. Чаще всего в системах управления этого класса для реализации алгоритма управления требуется память относительно небольшого объема (до 32 Кбайт).

Ко второму классу задач относятся задачи, требующие быстрой обработки значительных объемов информации, например в микропроцессорных системах поддержки компьютерных сетей, в системах управления летательными аппаратами, подвижным составом, в системах обработки видеоизображений, когда встроенный процессор должен выполнять множество различных вычислительных операций, в том числе операций с плавающей запятой. Как правило, для решения таких задач требуется уже высокопроизводительный 32- или 64-разрядный процессор.

В соответствии с упомянутыми выше классами задач, продукция фирмы Intel для встроенных применений может быть разделена на следующие группы:

• 8-битовые микроконтроллеры первого поколения (семейство MCSR-48).

• Современные 8-разрядные микроконтроллеры (MCSR-51, MCSR-51, MCSR-251).

• Современные 16-разрядные микроконтроллеры для управления в реальном времени (MCSR-96, MCSR-196, MCSR.-296).

• Встраиваемые 16-разрядные и 32-разрядные микропроцессоры PC-подобной архитектуры (80C186, 386EX и др.).

• Высокопроизводительные микропроцессоры, построенные по RISC-технологии (1960).

Первые три группы изделий ориентированы на управление событиями в реальном времени. Две последние группы предназначены преимущественно для управления процессами. Из изделий, предназначенных для управления событиями, группа 16-разрядных микроконтроллеров MCSR-96 является наиболее производительной и имеет богатейший выбор интегрированных на кристалл специализированных периферийных устройств. Основной базой для построения встроенных систем управления нижнего уровня являются именно *однокристальные микроЭВМ и микроконтроллеры,* могут применяться также и законченные одноплатные системы управления на их основе, выпускаемые рядом фирм в качестве *контроллеров-прототипов.* Долгое время в нашей стране были доступны в основном только освоенные отечественной промышленностью младшие модели 8-разрядных микропроцессоров и микроконтроллеров фирмы Intel, совместимые с изделиями MCS-80, MCS-48,

MCS-51, а также 16-разрядные процессоры собственной разработки, система команд которые совместимы с процессорами фирмы DEC (1816ВМ1, 1816ВМ2). В настоящее время ситуация резко изменилась, и вся самая передовая продукция ведущих фирм мира стала доступна отечественному разработчику и производителю.

Сегодня разработчики встроенных систем управления стоят перед непростым выбором: какое изделие и какой фирмы использовать в проекте.

Разработка мощной микропроцессорной системы управления является сложным делом. Для этого необходим штат высококвалифицированных инженеров-схемотехников и программистов, а также соответствующее оборудование, а именно комплект аппаратных и программных средств разработки (кстати, для каждого набора микропроцессорных БИС-свой). Современные микропроцессоры и микроконтроллеры имеют высокие тактовые частоты и требуют исключительной тщательности как при проектировании печатной платы, включая разводку, так и при ее изготовлении.

На сегодняшний день общемировая потребность в микроконтроллерах составляет более 600 млн. штук в год и быстро возрастает. Это говорит о массовом освоении промышленностью изделий с высокопроизводительными встроенными системами управления в самых разнообразных отраслях техники. Эти системы находят применение в автомобильной промышленности, станко- и роботостроении, в самолетной индустрии, в производстве периферийных устройств компьютеров (приводы дисковых накопителей, скоростные принтеры, плоттеры и т.д.), в бытовой технике (стиральные машины, видеомагнитофоны и т.д.) и, разумеется, в энергетике и электромеханике, где 16-разрядные устройства управления появились даже в относительно несложных приводах бытовых кондиционеров. Особенно широкие возможности по применению этих контроллеров открываются перед разработчиками систем автоматизированного привода, стабилизированных источников питания, промышленных контроллеров и других средств автоматизации производственных процессов.

Лекция 9.

Однокристальные микро-ЭВМ.

В микропроцессорной технике выделился самостоятельный класс больших интегральных схем (БИС) - однокристальные микроЭВМ (микроконтроллеры), которые предназначены для "интеллектуализации" оборудования различного технологического назначения. Архитектура однокристальных микроЭВМ - результат эволюции архитектуры микропроцессоров и микропроцессорных систем, обусловленный стремлением существенно снизить их аппаратные затраты и стоимость.

Однокристальные микроЭВМ представляют собой приборы, конструктивно выполненные в виде одной БИС и включающие в себя все устройства, необходимые для реализации цифровой системы управления минимальной конфигурации: процессор, запоминающее устройства

данных, запоминающее устройство команд, внутренний генератор тактовых сигналов, а также программируемые схемы для связи с внешней средой.

Использование однокристальных микроЭВМ в системах управления обеспечивает достижение исключительно высоких показателей эффективности при столь низкой стоимости, что им, видимо, нет в ближайшем времени альтернативной элементной базы для построения управляющих и/или регулирующих систем.

Отечественная микроэлектронная промышленность освоила широкомасштабный выпуск однокристальных микроЭВМ, к числу которых можно отнести 4-битные микроконтроллеры серий 1814, 1820, 1829 и 1013; 8-битные микроЭВМ серии 1816; микроконтроллеры сигнальные (аналоговые микропроцессоры) серии 1813. В данном курсе в качестве базовых выбраны однокристальные микроЭВМ (ОМЭВМ) серии 1816. В настоящее время в состав этой серии входят два семейства ОМЭВМ МК48 и МК51.

Общие сведения об однокристальных микроЭВМ семейства МК48.

Семейство МК48 включает ряд моделей ОМЭВМ, функциональный состав и технические характеристики которых отражают как различные в идеологическом подходе к применению ОМЭВМ, так и прогрессе технологии СБИС. Все модели, входящие в семейство МК48, являются полностью совместимыми по системе команд. назначению и разводке выводов, совокупности основных функциональных устройств из базового набора семейств.

Первое поколение отечественных ОМЭВМ семейства МК48 - БИС КР1816ВЕ48 и КР1816ВЕ35 являются функционально-конструктивными аналогами БИС соответственно 8748 и 8035 фирмы Intel (США), выполнены по n-канальной МОП-технологии, что обусловило следующие ограничения: уровень интеграции до 18 тыс. транзисторов на кристалле, частота следования тактовых сигналов - 6.0 МГц, объем внутренней памяти ОЗУ - 64 байта, ППЗУ - 1 кбайт и минимальное время цикла - 2,5 мкс.

Второе поколение - БИС КР1816ВЕ49, КР1816ВЕ39 (аналоги БИС 8049 и 8039 фирмы Intel) выполнено по n-канальной МОП-технологии с пропорциональным масштабированием, что позволило повысить уровень интеграции до 36 тыс. транзисторов на кристалле, частоту следования тактовых сигналов до 11МГц, увеличить объем ОЗУ до 128 байт, ПЗУ до 2 кбайт и снизить минимальное время цикла до 1,36 мкс.

Третье поколение семейства МК48 - БИС ОМЭВМ серии КР1830: КР1830ВЕ48, КР1830ВЕ35 (аналоги БИС 80С48, 80С35 фирмы Intel) выполнено по КМОП-технологии, что позволило на порядок уменьшить ток потребления по сравнению с БИС КР1816 ВЕ48, КР1816ВЕ35 при сохранении остальных параметров.

ОМЭВМ КР1816ВЕ48, КР1816ВЕ35, КР1830ВЕ48 и КР1830ВЕ35 полностью идентичны в части структурной реализации. При этом в БИС

КМ1816ВЕ48 программная память размещается во внутреннем ППЗУ с ультрафиолетовым (УФ) стиранием, а в БИС КР1830ВЕ48 - во внутреннем ПЗУ масочного типа. Таким образом, оперативность программирования ППЗУ позволяет использовать ОМЭВМ КР1816ВЕ48 при создании контроллеров единичных экземпляров или мелкосерийных изделий. Потребители БИС КР1830ВЕ48 лишены такой возможности, так как программирование ПЗУ осуществляется в процессе изготовления БИС по данным "прошивки" заказа потребителя.

В микросхемах КР1816ВЕ35 и КР1830ВЕ35 в отличие от БИС КМ1816ВЕ48, КР1830ВЕ48 память программ реализуется только за счет подключения внешней памяти любого типа (ОЗУ, ППЗУ, ПЗУ) общим объемом до 4 кбайт. Эта особенность позволяет использовать их в качестве отладочного варианта, когда память программ реализуется в ОЗУ, что позволяет легко модифицировать отлаживание программ.

ОМЭВМ КР1816ВЕ49 и КР1816ВЕ39 имеют одну и ту же структуру, одинаковые схемотехнические решения и технические характеристики, за исключением памяти программ: ОМЭВМ КР1816ВЕ49 имеет внутреннюю память программы объемом 2 кбайт, выполненную в виде масочного ПЗУ, а ОМЭВМ КР1816ВЕ39 может использоваться только с внешним ЗУ программ.

Реализация программной памяти КР1816ВЕ49 в виде ПЗУ обуславливает целесообразность применения этих ОМЭВМ только для изделий средне- и крупносерийного производства, что обеспечивает в этом случае низкую стоимость ОМЭВМ. В качестве отладочной модели, а также при разработке единичных экземпляров изделий целесообразно использовать ОМЭВМ КР1816ВЕ39 с внешней памятью программ.

В общем виде основные отличительные особенности ОМЭВМ семейства МК48 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Микро-схемы	Аналог	Объем внутр. памяти	Тип памяти программ	Объем Памяти Данных	Макс. частота след.тактовых сигналов	еб я
				байт	МГц	
КР1826ВЕ35 КР1816ВЕ48	8035 8748	НЕТ 1К НЕ	ВНЕШН. УФППЗУ	64 64 128 128	6.0 6.0 11.0 11.0	0 0

КР1816ВЕ39	8039	Т 1К	ВНЕШН. ПЗУ	64 64	64 64	0
КР1816ВЕ49	8049	НЕТ 1К	ВНЕШН. ПЗУ			0
КР1830ВЕ35	80C35					
КР1830ВЕ48	80C48					

В ОМЭВМ предусмотрена возможность расширения памяти программ до 4 кбайт, памяти данных до 384 байт и увеличения числа линий ввода вывода за счет подключения внешних кристаллов памяти программ, ОЗУ и БИС интерфейсов.

Однокристальные микро-ЭВМ семейства МК51.

8-разрядные высокопроизводительные однокристальные микроЭВМ семейства МК51 выполнены по высококачественной n-МОП-технологии (серия 1816) и КМОП-технологии (серия 1830).

Использование ОМЭВМ семейства МК51 по сравнению с МК48 обеспечивает увеличение объема памяти программ и памяти данных. Новые возможности ввода-вывода и периферийных устройств расширяют диапазон применения и снижают общие затраты системы. В зависимости от условий использования, быстродействие системы увеличивается минимум в два с половиной раза и максимум на порядок.

Семейство МК51 включает пять модификаций ОМЭВМ (имеющих идентичные основные характеристики), различающиеся реализацией памяти программ и мощностью энергопотребления.

ОМЭВМ КР1816ВЕ51 и КР1830ВЕ57 содержат масочно-программируемое в процессе изготовления кристалла ПЗУ памяти программ емкостью 4 кбайт и рассчитаны на применение в массовой продукции. За счет использования внешних микросхем памяти общий объем памяти программ может быть расширен до 64 кбайт.

ОМЭВМ КМ1816ВЕ751 содержит ППЗУ емкостью 4 кбайт с УФ стиранием и удобна на этапе разработки системы при отладке программ, а также при производстве небольшими партиями или при создании систем, требующих в процессе эксплуатации периодической подстройки. За счет использования внешних микросхем памяти общий объем памяти программ может быть расширен до 64 кбайт.

ОМЭВМ КР1816ВЕ31 и КР1830ВЕ31 не содержат встроенной памяти программ, однако могут использовать до 64 кбайт внешней постоянной или перепрограммируемой памяти программ и эффективно использоваться в системах, требующих существенно большего по объему (более чем 4 кбайт на

кристалле) ПЗУ памяти программ.

Каждая из перечисленных выше микросхем является соответственно аналогом БИС 8051, 80С51, 8751, 8031, 80С31 семейства MCS-51 фирмы Intel (США).

Сравнительные данные микросхем МК51 приведены в таблице 2.

Таблица 2

МИКРО-СХЕМЫ	АНАЛОГ	ОБЪЕМ ВНУТР. ПАМЯТИ	ТИП ПАМЯТИ ПРОГРАММ	ОБЪЕМ ПАМЯТИ ДАННЫХ	МАКС. ЧАСТОТА СЛЕД. ТАКТОВ. СИГНАЛОВ	ТОК ПОТРЕБ-ЛЕНИЯ
		БАЙТ		БАЙТ	МГЦ	МА
КР1826ВЕ31	8031АН	НЕТ	ВНЕШН.	128	12.0	150.0
КР1816ВЕ51	8051АН	4К	ПЗУ	128	12.0	150.0
КР1816ВЕ751	8751Н	4К	ППЗУ	128	12.0	220.0
КР1830ВЕ31	80С31ВН	НЕТ	ВНЕШН.	128	12.0	18.0
КР1830ВЕ51	80С51ВН	4К	ПЗУ	128	12.0	18.0

Каждая ОМЭВМ рассматриваемого семейства содержит встроенное ОЗУ памяти данных емкостью 128 байт с возможностью расширения общего объема оперативной памяти данных до 64 Кбайт за счет использования внешних микросхем ЗУПВ.

Общий объем памяти ОМЭВМ семейства МК51 может достигать 128 Кбайт: 64 Кбайт памяти программ и 64 Кбайт памяти данных.

ОМЭВМ МК51 выполнены на основе высокоуровневой n-МОП-технологии и выпускаются в корпусе типа DIP, имеющем 40 внешних выводов. ОМЭВМ данного семейства содержат следующие основные узлы:

1. центральный 8-разрядный процессор;
2. память программ объемом 4 Кбайт;
3. память данных объемом 128 байт;
4. четыре 8-разрядных программируемых канала ввода-вывода;
5. два 16-битовых многорежимных таймера/счетчика;
6. систему прерываний с пятью векторами и двумя уровнями;
7. последовательный интерфейс;
8. тактовый генератор.

Система команд ОМЭВМ содержит 111 базовых команд с форматом 1,2 или 3 байта.

ОМЭВМ имеет: 32 РОН; 128 определяемых пользователем программно-управляемых флагов; набор регистров специальных функций.

РОН и определяемые пользователем программно-управляемые флаги расположены в адресном пространстве внутреннего ОЗУ данных.

Структурная схема ОМЭВМ представлена на рис.10. Основу

структурной схемы МК51 составляет внутренняя двунаправленная 8-битовая шина, которая связывает между собой все основные узлы и устройства: арифметико-логическое устройство (АЛУ), резидентную память, блок регистров специальных функций, устройство управления и порты ввода-вывода.

Устройство управления МК51 на основе сигналов синхронизации формирует машинный цикл фиксированной длительности, равной 12 периодам кварцевого резонатора или шести состояниям первичного управляющего автомата (S1-S6). Каждое состояние управляющего автомата содержит две фазы (P1, P2) сигналов резонатора. В фазе P1, как правило, выполняется операция в АЛУ, а в фазе P2 осуществляется межрегистровая передача. Весь машинный цикл состоит из 12 фаз, начиная с фазы S1P1 и кончая фазой S6P2.

Арифметико-логическое устройство. 8-битное АЛУ может выполнять арифметические операции сложения, вычитания, умножения и деления, логические операции И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, а также операции циклического сдвига, сброса, инвертирования и т.п. В АЛУ имеются программно-недоступные регистры T1 и T2, предназначенные для временного хранения операндов, схема десятичной коррекции и схема формирования признаков.

Важной особенностью АЛУ является его способность оперировать не только байтами, но и битами. Отдельные программно-доступные биты могут быть установлены, сброшены, инвертированы, переданы, проверены и использованы в логических операциях. Вследствие этого, МК51 иногда называют "булевским процессором".

Таким образом, АЛУ может оперировать четырьмя типами объектов: булевскими (1 бит), цифровыми (4 бита), байтовыми (8 бит), адресными (16 бит).

Резидентная память. Резидентная память МК51 включает в себя память программ (РПП) и память данных (РПД). РПП и РПД физически и логически разделены, имеют различные механизмы адресации, работают под управлением различных сигналов и выполняют разные функции.

РПП имеет емкость 4Кбайта и предназначена для хранения команд, констант, управляющих слов инициализации и т.п. Она имеет 16-битную шину адреса, по которой обеспечивается доступ из счетчика команд (PC) или из регистра указателя данных (DPER). Последний выполняет функции базового регистра при косвенных переходах.

РПД (ОЗУ) предназначена для хранения переменных в процессе выполнения прикладной программы, адресуется одним байтом и имеет емкость 128 байт. Кроме того, к адресному пространству РПД примыкают адреса регистров специальных функций (SFR).

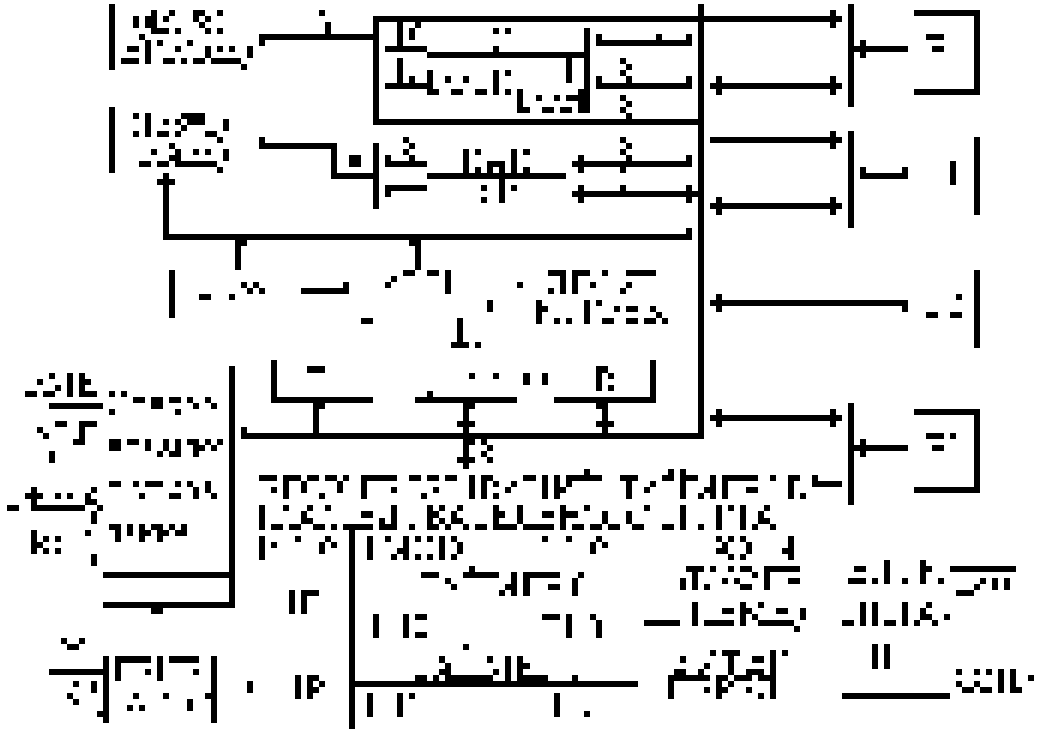


РИС.10. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОМЭВМ

На рис. 10. приняты следующие обозначения для управляющих сигналов:

/PME- разрешение внешней памяти программ, сигнал выдается только при обращении к внешней памяти программ;

ALE - строб адреса внешней памяти, сигнал используется для приема и фиксации адреса внешней памяти на внешнем регистре;

DEMA - блокирование работы с внутренней памятью, отключение резидентной памяти программ;

RST - сигнал общего сброса, служит также выводом резервного питания ОЗУ от внешнего источника;

X1, X2 - выводы для подключения кварцевого резонатора.

РПП и РПД могут быть расширены до 64 Кбайт путем подключения внешних БИС.

Регистры аккумулятора и PSW (регистр признаков операций). Аккумулятор является источником операнда и местом фиксации результата при выполнении арифметических, логических операций и ряда операций передачи данных.

При выполнении многих команд в АЛУ формируется ряд признаков операций (флагов), которые фиксируются в регистре PSW.

Регистры указатели. 8-битный указатель стека (SP) может адресовать любую область РПД. Его содержимое инкрементируется прежде, чем данные будут запомнены в стеке в ходе выполнения команды PUSH и CALL. Содержимое SP декрементируется после выполнения команд RET и POP. Подобный способ адресации элементов стека называют прединкрементным/постинкрементным.

Двухбайтовый регистр указатель данных (DPTR) обычно используется для фиксации 16-битного адреса в операциях с обращением к внешней памяти. DPTR может быть использован или как 16-битный регистр, или как два независимых 8-битных регистра (DPH и DPL).

Буфер последовательного порта. Регистр с символическим именем SBUF представляет собой два независимых регистра - буфер приемника и буфер передатчика. Загрузка байта в SBUF автоматически вызывает начало процесса передачи через последовательный порт.

Когда байт считывается из SBUF, это значит, что его источником является приемник последовательного порта.

Блок таймеров/счетчиков. В составе средств МК51 имеются регистровые пары с символическими именами TH0, TL0 и TH1, TL1, на основе которых функционируют два независимых программно-управляемых 16-битных таймера/счетчика событий. Таймеры/счетчики (Т/С) предназначены для подсчета внешних событий, для получения программно-управляемых временных задержек и выполнения время-задающих функций ОМЭВМ.

В состав блока Т/С входят: два 16-разрядных регистра Т/С0 и Т/С1; 8-разрядный регистр режимов Т/С (TMOD); 8-разрядный регистр управления (TCON); схема инкремента; схема фиксации INT0, INT1, T0, T1; схема управления флагами.

16-разрядные регистры Т/С выполняют функцию хранения содержимого счета. Код начального счета заносится в указанные регистры программно. В процессе счета содержимое регистров инкрементируется. Признаком окончания счета является переполнение регистров.

Регистр TMOD хранит код, определяющий:

- один из 4-х возможных режимов работы каждого Т/С;

- работу в качестве таймеров или счетчиков;

- управление Т/С от внешнего вывода.

Регистр TCON предназначен для приема и хранения кода управляющего слова

При работе в качестве таймера содержимое Т/С инкрементируется в каждом машинном цикле, т.е. через каждые 12 периодов резонатора. При работе в качестве счетчика содержимое Т/С инкрементируется под воздействием перехода из 1 в 0 внешнего входного сигнала, подаваемого на соответствующий (T0, T1) выводы МК51. Опрос значения внешнего входного сигнала выполняется в момент времени S5P2 каждого машинного цикла. Содержимое счетчика будет увеличено на 1 в том случае, если в предыдущем цикле был считан входной сигнал высокого уровня (1), а в следующем - сигнал низкого уровня (0). Новое (инкрементированное) значение счетчика будет сформировано в момент S3P1 в цикле, следующем за тем, в котором был обнаружен переход сигнала из 1 в 0. Так как на распознавание перехода требуется два машинных цикла, то максимальная

частота подсчета входных сигналов равна 1/24 частоты резонатора. На длительность периода входных сигналов ограничений сверху нет. Для гарантированного прочтения входного считываемого сигнала он должен удерживать значение 1 как минимум в течении одного машинного цикла МК51.

Режим работы 0,1 и 2 для обоих Т/С одинаковы. Режим 3 для Т/С0 и Т/С1 различны.

Рассмотрим кратко работу Т/С во всех режимах.

В режиме 0 таймерный регистр имеет разрядность 13 бит. При переходе из состояния "все единицы" в состояние "все нули" устанавливается флаг прерывания от таймера TF. Входной синхросигнал таймера разрешен (поступает на вход Т/С), когда управляющий бит TR установлен в 1 и либо управляющий бит GATE (блокировка) равен 0, либо на внешний вывод запроса прерывания INT поступает уровень 1.

Отметим попутно, что установка бита GATE в 1 позволяет использовать таймер для измерения длительности импульсного сигнала, подаваемого на вход запроса прерывания.

Работа любого Т/С в режиме 1 такая же, как и в режиме 0, за исключением того, что таймерный регистр имеет разрядность 16 бит.

В режиме 2 работа организована таким образом, что переполнение 8-битного счетчика TL приводит не только к установке флага TF, но и автоматически перезагружает в TL содержимое старшего байта TH таймерного регистра, которое предварительно было задано программным путем.

Т/С1 в режиме 3 заблокирован и просто сохраняет значение кода в регистре Т/С.

Т/С0 в режиме 3 представляет собой два независимых устройства на основе 8-ми разрядных регистров TL0 и TH0. Устройство на основе TL0 может работать в режиме таймера и в режиме счетчика, за ним сохраняются все биты управления Т/С0, оно реагирует на воздействия по входам T0, INT0. При переполнении TL0 устанавливается флаг TF0. Устройство на основе регистра TH0 может работать только в режиме таймера. Оно использует бит включения TR1, при переполнении TH0 выставляет флаг TF1.

Порты. Порты P0, P1, P2, P3 являются двунаправленными портами ввода-вывода и предназначены для обмена информацией ОМЭВМ с внешними устройствами, образуя 32 линии ввода-вывода. Каждый из портов содержит фиксатор-защелку, который представляет собой 8-ми разрядный регистр, имеющий байтовую и битовую адресацию для установки (сброса) разрядов с помощью программного обеспечения.

Помимо работы в качестве обычных портов ввода-вывода линии портов P0-P3 могут выполнять ряд дополнительных функций.

Через порт P0:

- выводится младший байт адреса A0-A7 при работе с внешней памятью

программ и внешней памятью данных;

- выдается и принимается байт данных при работе с внешней памятью (при этом обмен байтом данных и вывод младшего байта адреса внешней памяти мультиплексируются по времени);

- задаются данные при программировании внутреннего ППЗУ и читается содержимое внутренней памяти программ.

Через порт P1:

- задается младший байт адреса при программировании внутреннего ППЗУ и при чтении внутренней памяти программ.

Через порт P2:

- выводится старший байт адреса A8-A15 при работе с ВПП и ВПД;

- задается старший байт адреса (A8-A14) при программировании внутреннего ППЗУ и при чтении внутренней памяти программ.

Каждая линия порта P3 имеет индивидуальную альтернативную функцию. Альтернативная функция любой из линий порта P3 реализуется только в том случае, если в соответствующем этой линии разряде фиксатора защелки содержится "1". В противном случае на линии порта будет присутствовать "0".

Организация обращения к ВПД. В ОМЭВМ предусмотрена возможность расширения памяти данных путем подключения внешних устройств емкостью до 64 Кбайт. Команды ОМЭВМ могут формировать 8-разрядный адрес ВПД, который выдается через порт P0, либо 16-разрядный адрес, младший байт которого выдается через порт P0, а старший - через порт P2. Байт адреса, выдаваемый через порт P0, должен быть зафиксирован во внешнем регистре по спаду сигнала ALE, т.к. в дальнейшем линии порта P0 используются как шина данных, через которую байт данных принимается из памяти при чтении или выдается в память данных при записи. При этом чтение стробируется сигналом RD, а запись - сигналом WR. Схема подключения внешней памяти данных к ОМЭВМ показана на рис.11.

Пространства внутренней и внешней памяти данных не пересекаются, т.к. доступ к ним осуществляется с помощью разных команд. Т.о. в системе могут одновременно присутствовать внутренняя память данных с адресом 00H-FFH и внешняя память данных с адресом 0000H-FFFFH. Обращение к ячейкам ВПД осуществляется только с использованием косвенной адресации по регистрам R0 и R1 активного банка регистров внутреннего ОЗУ или по регистру специальных функций DPTR. Соответственно в первом случае будет формироваться 8-разрядный адрес ВПД.

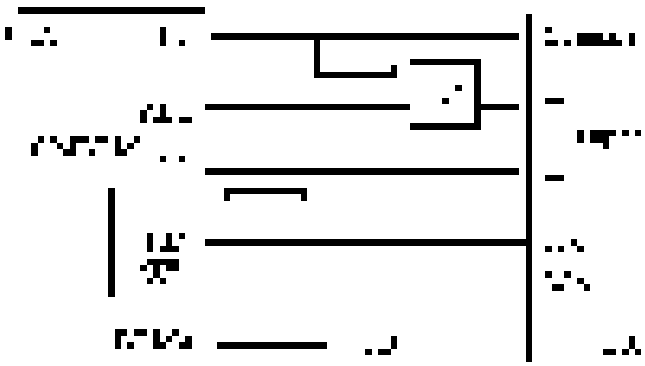


Рис.11. Схема подключения внешней памяти данных к ОМЭВМ

На рис.12а, 12б, соответственно, приведены диаграммы циклов чтения и записи при работе ОМЭВМ с внешней памятью данных.

DPL, DPH - соответственно младший и старший байты регистра указателя данных DPTR, который используется в качестве регистра косвенного адреса. R0 - регистр R 0 текущего банка, который используется в качестве регистра косвенного адреса.

P2SFR - защелка порта P2.

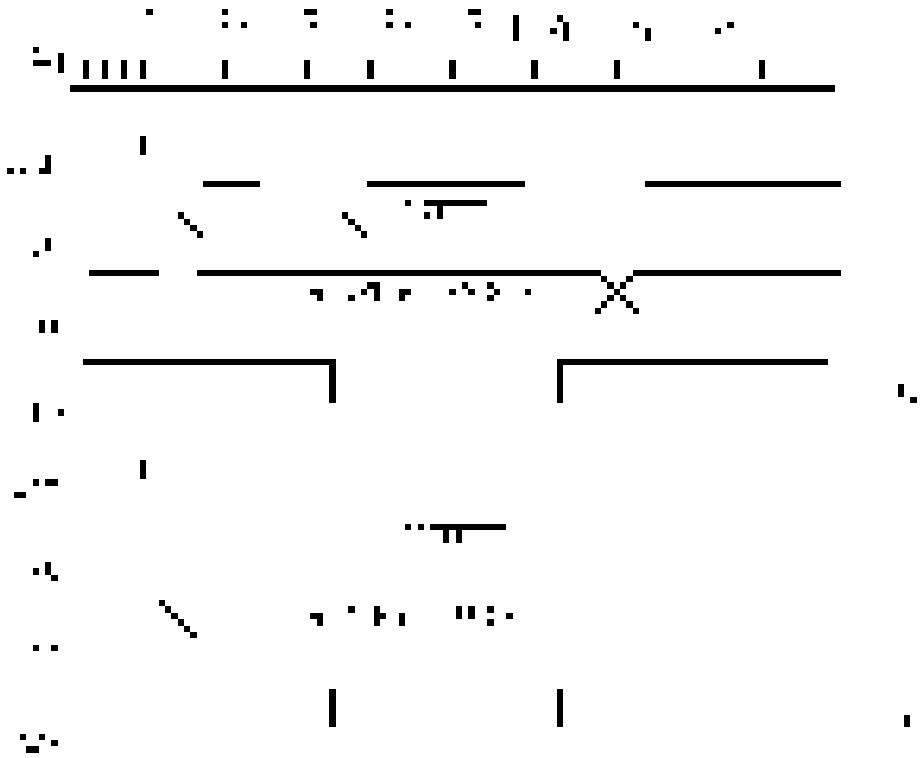


Рис.12. Диаграммы циклов чтения и записи при работе ОМЭВМ с внешней памятью данных

Память программ. Память программ предназначена для хранения кодов программ и имеет отдельное от памяти данных адресное пространство объемом до 64 Кбайт, причем для БИС 1816ВЕ51, 1816ВЕ75 и 1830ВЕ51 часть памяти программ с адресами 0000H-0FFFH расположена на кристалле ОМЭВМ. Если на вывод DEMA подано напряжение Ucc , то обращение к ВПП происходит автоматически при выработке счетчиком команд адреса,

превышающего 0FFFH.

Если на вывод DEMA подан "0", внутренняя память программ отключается и начиная с адреса 0000H все обращения выполняются только к внешней памяти программ.

Чтение из внешней памяти программ стробируется сигналом ОМЭВМ XOR(PME). При работе с внутренней памятью программ сигнал XOR(PME) не формируется.

При обращении к ВПП всегда формируется 16-разрядный адрес, младший байт которого выдается через порт P0, а старший - через порт P2. При этом байт адреса, выдаваемый через порт P0, должен быть зафиксирован во внешнем регистре по спаду сигнала ALE, т.к. в дальнейшем линии порта P0 используются в качестве шины данных, по которой байт из внешней памяти программ вводится в ОМЭВМ.

Функциональная схема включения ОМЭВМ МК51 с ВПП показана на рис.13.

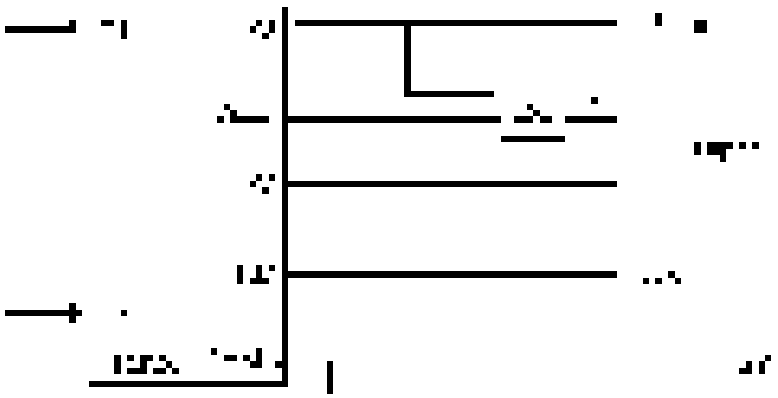


Рис.13. Функциональная схема включения ОМЭВМ МК51 с ВПП

Порт P0 работает как мультиплексированная шина адрес/данные: выдает младший байт счетчика команд, а затем переходит в высокоимпедансное состояние и ожидает прихода байта из ППЗУ программ. Когда младший байт адреса находится на выходах порта P0, сигнал ALE защелкивает его в адресном режиме RG. Старший байт адреса находится на выходах порта P2 в течение всего времени обращения к ППЗУ.

Сигнал XOR(PME) разрешает выборку байта из ППЗУ, после чего выбранный байт поступает на порт P0 МК51 и вводится в ОМЭВМ.

Диаграммы, показывающие формирование соответствующих сигналов при работе ОМЭВМ с ВПП, приведены на рис.14.

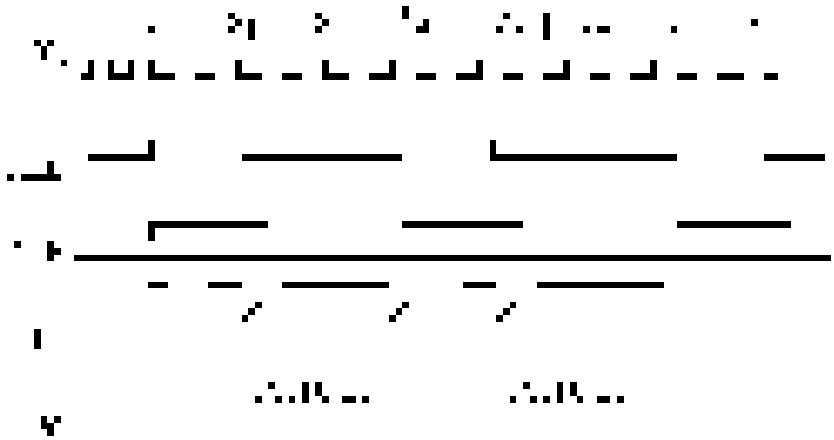


Рис.14. Диаграммы, показывающие формирование соответствующих сигналов при работе ОМЭВМ с ВПП

На рис.14. использованы следующие обозначения:

- PCL OUT - выдача младшего байта PC;

- PCH OUT - выдача старшего байта PC;

-INPUT - данные на шине P0.

Как видно из диаграмм, при работе с ВПП сигнал PME формируется дважды в каждом машинном цикле независимо от количества байт в команде. Если второй выбираемый байт в текущей команде не используется, он игнорируется ОМЭВМ. В дальнейшем, при переходе к выполнению следующей команды этот байт будет введен вторично.

Структура микроконтроллеров семейства MCS-x96.

Семейство микроконтроллеров MCS-x96 предназначено специально для построения высокопроизводительных контроллеров, реализующих алгоритмы управления исполнительными двигателями постоянного и переменного тока.

Обобщенная структурная схема микроконтроллера семейства MCS-x96 изображена на рис. 16. В его состав входят процессор, память, набор периферийных устройств и контроллер памяти. К микроконтроллеру можно подключить внешнюю память.

Процессор содержит арифметико-логическое устройство (ALU) и регистровое оперативное запоминающее устройство (RRAM). Отличительная особенность ALU - отсутствие регистра-аккумулятора. При выполнении арифметических и логических операций в качестве источника первого операнда и приемника результата может использоваться любой регистр в RRAM , при этом операнд и результат могут иметь разные адреса. ALU обращается к RRAM непосредственно или через контроллер памяти.

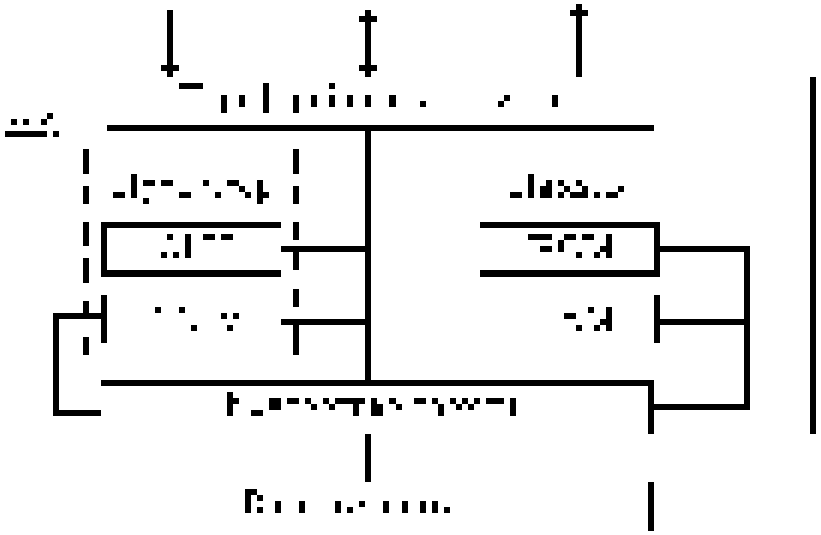


РИС.18. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СЕМЕЙСТВА MCS-X96

Внутренняя (Internal) память микроконтроллера содержит постоянное (IROM) и оперативное (IRAM) запоминающие устройства. Первое из них используется для хранения команд программы, констант и специальных данных. Выпускаются микроконтроллеры, в которых IROM отсутствует (в этом случае его функции возлагают на запоминающее устройство, входящее в состав внешней памяти).

IRAM используется для хранения данных и команд программы. При этом открывается возможность модифицировать команды в процессе выполнения программы. В микроконтроллерах некоторых типов IRAM отсутствует.

Общее число адресов в адресном пространстве микроконтроллера равно 64К, а у микроконтрллеров подсемейства NT может быть увеличено до 1М.

Контроллер памяти управляет процессом обращения к внутренней и внешней памяти, при этом обеспечивается опережающая выборка кодов команд с образованием их очереди.

В таблице 3. указана емкость RRAM, IROM и IRAM микроконтроллеров разных типов, а также указаны интегрированные на кристалле микроконтроллера периферийные устройства. Буква X в обозначении типа заменяется цифрой 0, если микроконтроллер не имеет IROM, цифрой 3, если он имеет IROM масочного типа, и цифрой 7, если микроконтроллер содержит программируемое постоянное запоминающее устройство с возможностью стирания записи путем ультрафиолетового облучения (EPROM). При отсутствии окна в корпусе микросхемы возможно лишь однократное программирование IROM (OTPROM).

Таблица 3

МИКРОКОНТРОЛЛЕР	**8XC196KB**	**8XL196KD**	**8XC196NT**	**8XC196MC**	**8XC196MD**
RRAM БАЙТ	**232**	**1000**	**1000**	**488**	**488**

IROM КБАЙТ	8	32	32	16	16
IRAM БАЙТ	-	-	512	-	-
P	5	5	8	7	8
I/O	40	40	56	53	64
SLP	-	-	+	-	-
SP	+	+	+	-	-
SSIO	-	-	+	-	-
HSIO	+	+	-	-	-
EPA	-	-	+	+	+
ADC	8	8	4	13	14
PWM	1	3	-	2	2
WG	-	-	-	+	+
FG	-	-	-	-	+
PTS	-	+	+	+	+
OFD	-	-	+	-	-

Периферийные устройства микроконтроллеров семейства MCS-x96.

Расположенные на кристалле микроконтроллера периферийные устройства предназначены для приема и выдачи данных, ввода и вывода событий и аналоговых сигналов, обслуживания запросов прерывания и контроля правильности работы микроконтроллера. В таблице 3 приведены данные о наличии определенных периферийных устройств у микроконтроллеров разных типов и даны некоторые характеристики этих устройств.

Для приема и выдачи данных в параллельном коде используются параллельные порты. Микроконтроллеры разных типов имеют разное число таких портов, при этом разные порты могут иметь разное число разрядов. В графе P таблицы указано число параллельных портов у микроконтроллеров разных типов, а в графе I/O - суммарное число их разрядов.

Для обмена данными между микроконтроллером и центральным процессором в иерархической микропроцессорной системе предназначен процессорный порт (SLP - Slave Port), который подключают непосредственно к системной магистрали центрального процессора. В качестве SLP используется один из параллельных портов, который переводится в соответствующий режим путем программирования.

Для приема и выдачи данных в последовательном коде используется последовательный порт (SP). Он позволяет увеличивать число параллельных портов микроконтроллера путем подключения внешних сдвигающих регистров, обмениваться данными с другими устройствами по последовательному каналу связи (например, по интерфейсу RS - 232) и создавать простейшие локальные сети микроконтроллеров.

Для обмена данными в последовательном коде между двумя микроконтроллерами предназначен синхронный последовательный порт (SSIO). При этом могут использоваться две, три или четыре соединительные линии.

Все микроконтроллеры семейства MCS-x96 оснащены специальным периферийным устройством, предназначенным для приема и регистрации входных событий и формирования и выдачи выходных. Событием является изменение значения сигнала. Различают единичные события (замена нулевого значения единичным) и нулевые (замена единичного значения нулевым). Прием и регистрация входного события заключается в запоминании времени появления события определенного типа на определенном входе микроконтроллера. Это позволяет определять временные параметры входных импульсных последовательностей (период следования и длительность импульсов и т.д.).

При формировании и выдаче выходного события в определенное, заранее заданное время появляется событие определенного типа на определенном выходе микроконтроллера (внешнее выходное событие) или в определенной точке внутри микроконтроллера (внутреннее выходное событие). Это позволяет формировать импульсные последовательности заданной формы (например, широтно-модулированный сигнал) и реализовывать временные задержки.

Для работы с событиями в микроконтроллерах подсемейств КВ и КС используется блок быстрого ввода-вывода (HSIO), а в микроконтроллерах подсемейств KR, NT, MC - блок процессоров событий (EPA). В HSIO имеется определенное число входных и выходных каналов, в EPA - универсальные модули, каждый из которых может быть запрограммирован для работы с входными или выходными событиями.

Для ввода аналоговых сигналов используется многоканальный аналогово-цифровой преобразователь (ADC). Значение аналогового сигнала представляется восьми- или десятиразрядным двоичным кодом. Число каналов в преобразователе указано в графе ADC.

Микроконтроллеры подсемейств КВ, КС, MC имеют широтно-импульсный модулятор (PWM) с программируемым значением скважности импульсной последовательности. Использование этого модулятора совместно с внешним интегрирующим устройством позволяет осуществлять цифроаналоговое преобразование.

Микроконтроллеры подсемейства MC содержат трехфазный генератор (WG - Waveform Generator), который может быть использован для управления трехфазными электродвигателями переменного тока, вентильными электродвигателями постоянного тока, шаговыми двигателями, а также для преобразования постоянного тока в переменный.

В микроконтроллерах 8XC196MD имеется генератор меандра (FG-Frequency Generator) с программируемой длительностью импульсов и периодом их следования.

Все микроконтроллеры семейства MCS-x96 имеют систему управления прерываниями. С ее помощью осуществляется переход от выполнения текущей программы к выполнению прерывающей, составленной программистом и записанной в память микроконтроллера. Для обслуживания прерываний

микроконтроллеры подсемейств KC, KR, NT, MC имеют, кроме того, периферийный сервер транзакций (PTS - блок обслуживания групповых операций).

Обслуживание запроса прерывания с использованием PTS заключается в выполнении вместо очередной команды текущей программы определенной микропрограммы, заложенной в специальную память микроконтроллера при его изготовлении. Программист выбирает для обслуживания запроса прерывания подходящую микропрограмму из набора имеющихся и настраивает ее для выполнения в каждом конкретном случае путем записи группы кодов в RRAM.

В число операций, которые могут быть выполнены под управлением PTS при обслуживании запроса прерывания, входят одиночная и групповая пересылки и чтение результатов аналого-цифрового преобразования. Кроме того, микроконтроллеры подсемейства KC могут выполнять операции, связанные с регистрацией входных и формированием выходных событий, микроконтроллеры подсемейств KR, NT-операции, связанные с формированием широтно-модулированных сигналов, а подсемейства MC - операции, реализующие функции последовательного порта.

Для контроля правильности работы все микроконтроллеры оснащены сторожевым таймером, сбрасывающим их в исходное состояние при появлении сбоя в ходе программы. Микроконтроллеры подсемейств KR, NT, кроме того, содержат детектор падения частоты (OFD), который переводит их в состояние сброса при катастрофическом снижении тактовой частоты.

Лекция 10.

Преимущества регистр-регистровой архитектуры

При построении большинства микропроцессоров и микроконтроллеров (например, серии 8-разрядных микроконтроллеров MCS-51) используется традиционная, так называемая *аккумуляторная архитектура,* когда один из регистров специального назначения *аккумулятор* по умолчанию является источником одного из двух операндов и одновременно приемником результата операции, выполняемой в *арифметико-логическом устройстве* (АЛУ). Такой подход позволяет существенно уменьшить формат команды за счет адресации в поле операндов только одного из операндов.

Для выполнения какого-либо действия в процессорах «классической» аккумуляторной архитектуры в общем случае кроме собственно команды, пример, сложения, требуются по крайней мере еще две операции пересылки данных: загрузка первого операнда в аккумулятор и через него в один из портов арифметико-логического устройства (АЛУ), а также пересылка результата операции из аккумулятора по месту назначения уже после завершения операции (рис.17) при этом второй операнд извлекается из оперативной памяти непосредственно в процессе выполнения операции. Также в процессе

выполнения операции результат помещается в аккумулятор.

По мере развития микропроцессорной техники аккумуляторная архитектура стала тормозом в повышении производительности центрального процессора и уступила место *т*ак называемой *регистр-регистровой архитектуре.* Основным отличием регистр-регистровой архитектуры от аккумуляторной является то, что любые ячейки интегрированной на кристалл микроконтроллера сверхбыстродействующей оперативной памяти, *регистрового ОЗУ,* могут рассматриваться либо как операнды-источники, либо как аккумулятор для приема результата операции. При таком подходе любая из команд процессора может быть трехоперандной и необходимость в дополнительных операциях пересылки данных из аккумулятора и обратно отпадает. Естественно, что регистр-регистровая архитектура требует более сложного формата команды. Наряду с полем кода операции в формате команды будут присутствовать поля адресов операндов-источников и операнда-приемника.

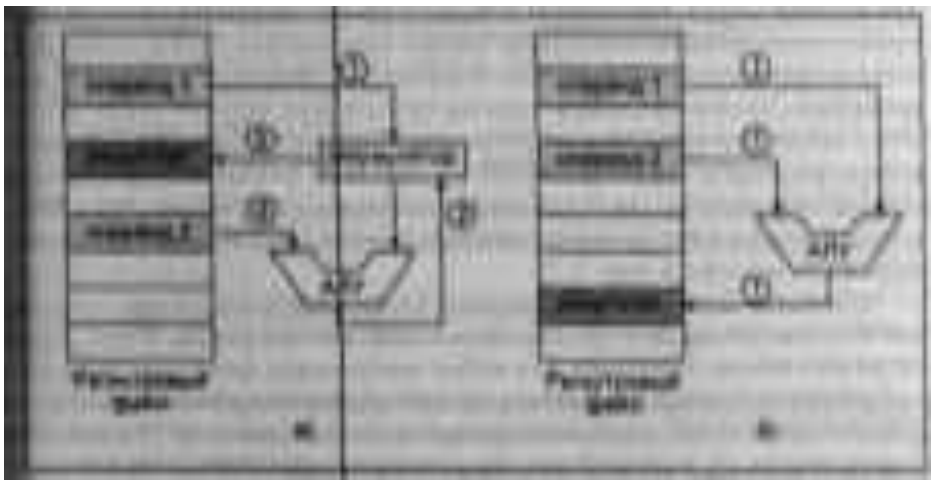


РИС. 17. СРАВНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ (А) И РЕГИСТР-РЕГИСТРОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ (Б)

Таким образом, любая *ячейка регистрового файла,* внутренней сверхоперативной памяти, может выполнять функцию как источника данных, так и приемника данных.

Главные преимущества регистр-регистровой архитектуры:

• Отсутствует необходимость в предварительной загрузке одного из, операндов в аккумулятор перед выполнением операции.

• Содержимое источников данных в результате выполнения операции может оставаться неизменным, либо модернизироваться по желанию программиста. В последнем случае источник данных одновременно будет и приемником результата операции.

• Резко уменьшается число операций по пересылке данных и возрастает скорость вычислений.

• Появляется возможность расширения системы команд трехоперандными высокопроизводительными командами.

Совокупность перечисленных выше факторов вместе с главным преимуществом - возможностью выполнения операций непосредственно над 16-разрядными операндами, приводит к повышению производительности 16-разрядных микроконтроллеров *в несколько раз* по сравнению с 8-разрядными контроллерами, работающими на тех же тактовых частотах.

Блок-схема микроконтроллера MCS-196.

Микроконтроллеры семейства MCS-196 являются однокристальными микроЭВМ с интеграцией на кристалл центрального процессора, оперативной памяти (ОЗУ), постоянной памяти (ПЗУ) и заданного спецификой применения микроконтроллера, набора периферийных устройств. Все микроконтроллеры построены по модульному принципу и содержат базовый блок, имеющий единую архитектуру для всех изделий серии MCS-196, а также блок периферийных устройств. Рассмотрим архитектуру микроконтроллеров серии MCS-196 на примере специализированных микроконтроллеров для управления двигателями 8xC196MC/MD/MH. которые имеют одну из самых широких номенклатур встроенных периферийных устройств (рис. 18).

Устройства, относящиеся к базовому блоку микроконтроллера, общему для всех изделий серии MCS-196, выделены на рис. 18 фоном. К ним относится ядро микроконтроллера или модуль центрального процессора, встроенный генератор тактовой частоты и система управления питанием, интегрированное на кристалл постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), которое в зависимости от модификации микроконтроллера может отсутствовать. контроллер прерываний (Interrupt Controller), а также сервер периферийных транзакций (PTS) — специализированный контроллер прерываний, обеспечивающий быстрый обмен данными между периферийными устройствами и памятью практически без участия центрального процессора.

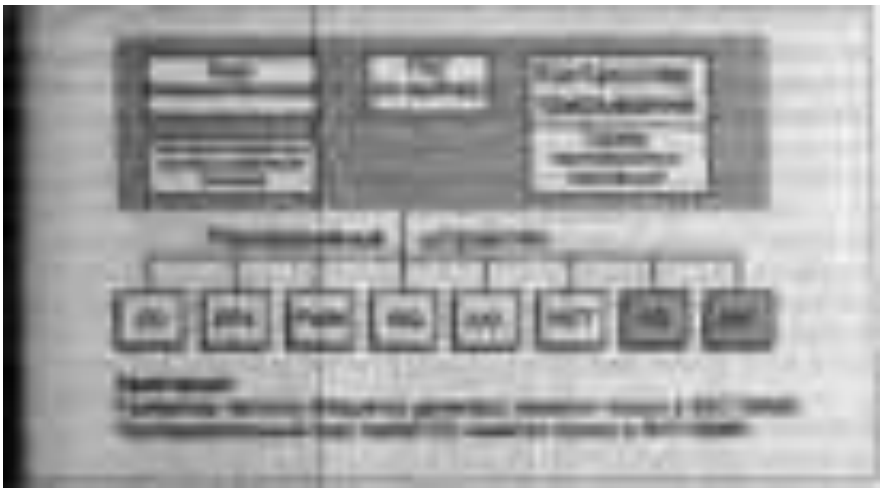


Рис. 18. Типовая архитектура микроконтроллеров семейства MCS-196 на примере микроконтроллеров для управления двигателями 8xC196MC/MD/MH.

В набор интегрированных на кристалл периферийных устройств для микроконтроллеров 8xC196MC/MD/MH входят:

порты ввода/вывода (I/O);

процессор событий (EPA);

генератор широтно-импульсных сигналов (PWM);

многоканальный генератор периодических сигналов (WG);

аналого-цифровой преобразователь (A/D);

сторожевой таймер (WDT);

генератор частоты (FG1;

последовательные порты ввода/вывода данных (SIO).

Набор встроенных периферийных устройств меняется в зависимости от типа микроконтроллера и определяет область его преимущественного применения.

Модуль центрального процессора. *Модуль центрального процессора* обеспечивает выполнение программы пользователя и состоит из *центрального процессора* (ЦПУ) Central Processing Unit (CPU) и *контроллера памяти* Memory Controller (рис. 19). В состав центрального процессора входят *регистровый файл* Register File и *регистровое арифметико-логическое устройство* (Register Arithmetic-Logic Unit) или сокращенно РАЛУ (RALU).

Внутренняя 16-разрядн4я шина связывает центральный процессор с контроллером памяти и *контроллером прерываний* (interrupt controller), а также со всеми встроенными на кристалл периферийными устройствами. Дополнительная внутренняя 8-разрядная шина используется для непосредственной передачи байтов команды из контроллера памяти в *регистр команд* (instruction register), расположенный в РАЛУ.

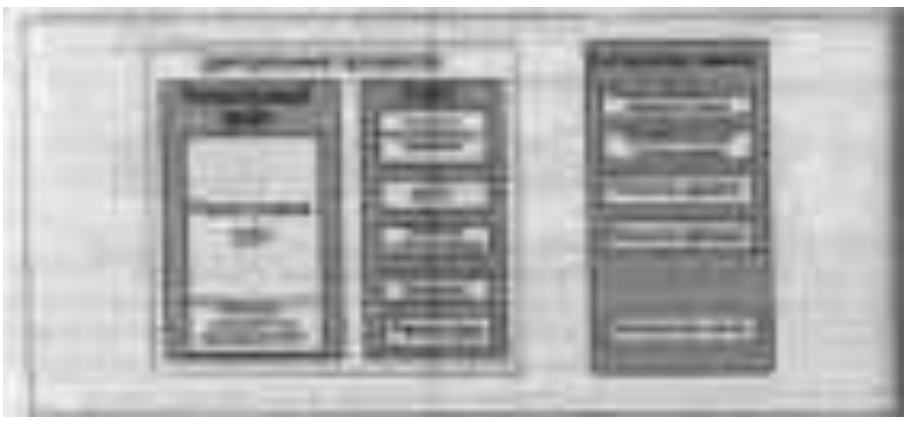


РИС. 19. СТРУКТУРА МОДУЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА

В состав центрального процессора входит *устройство микропрограммного управления* (microcode engine), предназначенное для приема от контроллера памяти кода очередной команды, *дешифрации кода* и генерации последовательности управляющих команд, подаваемых на регистровое арифметико-логическое устройство, и необходимых для выполнения операций над байтами, словами и длинными словами, расположенными в 256-байтовом *нижнем регистровом файле.* Использование механизма адресации операндов через *вертикальное окно* в нижнем регистровом файле, позволяет выполнять в РАЛУ также и операции с данными, расположенными в верхнем регистровом файле, а в новейшей серии микроконтроллеров MCS-296 — даже во внешней памяти.

Центральный процессор связывается с внутренней кодовой и внешней памятью (программ и данных) через *контроллер памяти.* Исключение составляет регистровый файл, доступ к которому обеспечивается непосредственно. В состав контроллера памяти входят несколько устройств: *вспомогательный счетчик команд* (Slave PC), 4-байтовая *очередь* из предварительно выбранных из памяти и готовых для выполнения кодов команд (Queue), *контроллер шины* (Bus Controller), *регистры адреса* (Adress Register) и *данных* (Data Register).

Запрос на доступ к памяти может поступить как от центрального процессора при выполнении текущей команды, например, для получения операнда из внешней памяти по косвенному адресу, расположенному в одном из регистров-слов внутреннего ОЗУ, так и от диспетчера очереди предварительно выбранных кодов команд. Механизм предварительной выборки команд существенно повышает производительность центрального процессора так как к моменту завершения выполнения текущей команды следующая команда уже считана из памяти и готова для немедленного выполнения. Центральный процессор получает коды команд из 4-байтовой *очереди команд* (Prefetch Queue по специальной 8-разрядной шине. Код текущей исполняемой инструкции всегда находится в *регистре команд* РАЛУ. За выполнение программы пользователя в правильной последовательности отвечает *основной счетчик команд* (Master Program Counter), содержимое которого указывает на адрес очередной, подлежащей выполнению команды. Содержимое основного счетчика команд автоматически увеличивается в зависимости от длины текущей команды встроенной схемы инкрементирования.

Как отмечено выше для ускорения выборки кодов команд из внешней или внутренней кодовой памяти используется *вспомогательный счетчик команд* (Slave PC), содержимое которого задает адрес команды, подлежащей выборке из памяти. Выбранная команда поступает в очередь на выполнение. Как только очередная команда считывается из очереди и передается на дешифрирование в устройство микропрограммного управления центрального процессора, диспетчер очереди формирует запрос в *контроллер шины Bu*s Controller) на считывание очередной команды. Контроллер шины входит в состав контроллера памяти и обеспечивает формирование необходимых управляющих сигналов как для считывания данных из внешней, внутренней памяти или внешнего периферийного устройства, так и для записи данных во внешнее ОЗУ или в периферийное устройство. Таким образом, контроллер шины обеспечивает считывание кодов машинных команд и запись/считывание данных. Запрос на считывание очередной инструкции поступает от диспетчера очереди, а запрос на запись/считывание данных (операндов) - от центрального процессора. Запрос от диспетчера очереди имеет более высокий приоритет.

Если линейная последовательность выполнения команд программы нарушается, например, вследствие выполнения команды условного или безусловного перехода или вызова подпрограммы, значение вспомогательного счетчика команд перезагружается текущим значением основного счетчика команд и очередь ранее выбранных команд аннулируется (очищается). Перезагрузка вспомогательного счетчика команд и извлечение первого байта

кода инструкции из памяти занимает 4 машинных такта.

Замечание. Если при отладке микропроцессорной системы Вы пользуетесь логическим анализатором, то имейте в виду, что команды из памяти выбираются с опережением. В данный момент выполняется команда, которая уже была считана ранее

Регистровое АЛУ имеет достаточно сложную внутреннюю структуру. В его состав помимо собственно 16-разрядного арифметико-логического устройства, регистра команд и устройства микропрограммного управления входят несколько вспомогательных регистров:

• Регистры старшего и младшего слова, предназначенные для использования в командах с 32-разрядными операндами в качестве регистров временного хранения данных. Они имеют собственные устройства сдвига, что ускоряет выполнение команд сдвига, нормализации, умножения и деления.

• Регистр второго операнда АЛУ, используемый в двухоперандных командах. в частности, для хранения множителя или делителя в операциях умножения, деления, соответственно.

• 6-разрядный счетчик числа циклов для организации сдвига операнда на заданное число разрядов со схемой автоматического декрементирования.

• Регистр селектирования заданного бита, который позволяет автоматически генерировать необходимую маску при выполнении команд тестирования бита по номеру бита, указанному в команде.

• Регистры констант (0, 1, 2), необходимых для ускорения типовых операций в АЛУ.

После завершения любой операции в АЛУ результат анализируется и соответствующие *признаки результата* (нуля, переноса, переполнения и т.д.) выставляются в *слове состояния программы* Program Status Ward (PSW). Признаки результата операции используются в командах условной передачи управления для организации ветвлений в программе.

Регистровый файл

Различные типы микроконтроллеров отличаются количеством ячеек памяти в регистровом файле, так называемом *регистровом* ОЗУ (РОЗУ). Естественно, что чем больше объем сверхоперативной регистровой памяти, тем более сложные вычисления и с большим быстродействием могут быть организованы в микропроцессорной системе на базе данного микроконтроллера.

Первые 256 ячеек регистрового файла имеют короткие байтовые адреса и относятся к *нижнему регистровому файлу,* а все остальные — 16-разрядные адреса и относятся к *верхнему регистровому файлу.* Наибольшим быстродействием обладают команды с прямой регистровой адресацией операндов в нижнем регистровом файле. При этом используются байтовые адресные поля и команды имеют предельно короткий формат и наименьшее время выполнения. Для доступа к операндам за пределами нижнего

регистрового файла (в том числе и к внешней памяти) используются специальные способы адресации, в частности косвенная, базово-индексная, а также адресация через специальные вертикальные окна.

Младшие 24 байта нижнего регистрового файла относятся к *регистрам специального назначения центрального процессора* (CPU special-function registers - SFRs). Здесь расположен также *указатель стека* (Stack Pointer SP). Вся остальная область регистрового ОЗУ, в том числе область верхнего регистрового файла, является оперативной памятью общего назначения и может использоваться программистом по своему усмотрению. Доступ производится к байтам, словам или двойным словам. Набор регистров специального назначения отличается в микроконтроллерах разных типов. Эти регистры позволяют управлять системой прерываний, селектировать вертикальные окна и выполнять целый ряд дополнительных функций.

Особенность организация памяти микроконтроллеров MCS-196

Типичная схема организации памяти 16-разрядных микроконтроллеров Intel на примере 8XC196KC и 8XC196KD приведена на рис. 20.

Нижняя область встроенного регистрового ОЗУ (OOOOH-0017H) жестко закреплена за *регистрами специального назначения центрального процессора (CPU SFRs),* через которые осуществляется управление системой прерываний, механизмом селектирования горизонтальных и вертикальных окон, а также встроенными периферийными устройствами (для некоторых типов микроконтроллеров).

Начиная с адреса 0018H располагается *область регистрового* 03У (Register RAM), объем которой различен для разных контроллеров и варьируется как правило, в диапазоне от 232 байт до 1 Кбайта.

Следующий сектор памяти объемом несколько меньше 8 Кбайт используется для адресации *внешней памяти и/или внешних периферийных устройств* В конце этой области памяти располагается еще одна область регистров специального назначения - *регистров специального назначения периферийных устройств* SFR (в данном случае регистров портов ввода/вывод 10PORT3 и 10PORT4). Размер этой области определяется объемом интегрированной на кристалл периферии и, например, у контроллеров 8XC196MC/MD/MH достигает 256 байт (1FEOH-1FFFH).

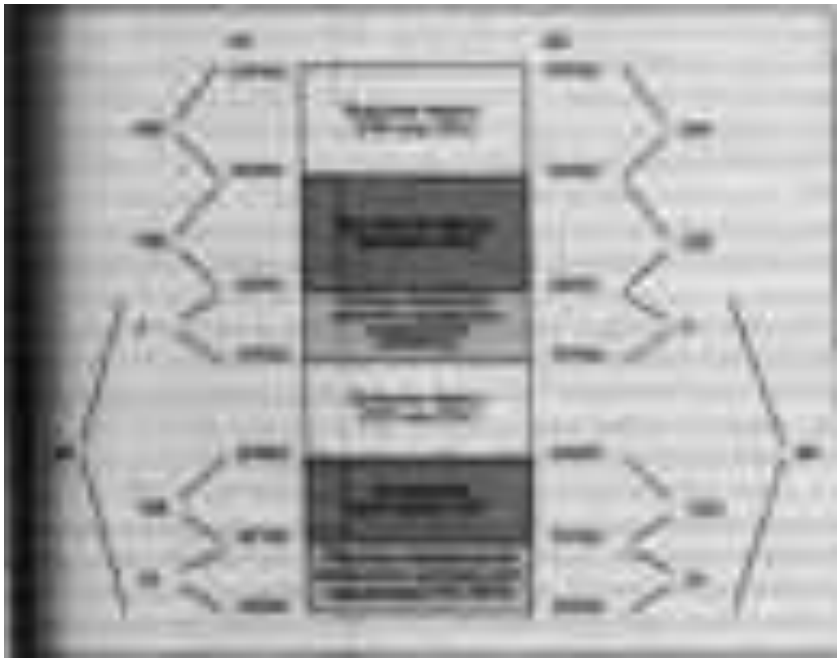


Рис 20. Карта распределения памяти для микроконтроллеров 8xC196KC/KD

Дело в том, что в микроконтроллерах с большим количеством интегрированных на кристалл периферийных устройств начальной области памяти 24 байта оказывается недостаточно для размещения всех регистров специального назначения периферийных устройства для их размещения отведена специальная область памяти. При этом в начальной области памяти остаются только регистры специального назначения центрального процессора.

Начиная с адреса 2000H располагается секция *внутреннего, интегрированного на кристалл ПЗУ.* Это может быть как однократно-программируемое ПЗУ так и масочно-программируемое ПЗУ объемом от 8 до 32 Кбайт, в зависимости от типа микроконтроллера. В том случае, если микроконтроллер не имеет встроенного ПЗУ, эта область памяти будет относиться к области внешней памяти.

Характерной особенностью процессоров Intel является возможность задать в начале рассматриваемой области памяти не только желаемую *конфигурацию микроконтроллера и микропроцессорной системы,* в том числе *цикл работы внешней шины,* но и дополнительные *коды секретности,* которые полностью исключают возможность несанкционированного чтения или записи содержимого внутренней памяти и тем самым — возможность несанкционированного тиражирования изделия со встроенной системой микроконтроллерного управления. Последнее обстоятельство обеспечивает защиту вложений, сделанных заказчиком в разработку программного продукта, что особенно важно, так как доля этих затрат непрерывно растает и по некоторым оценкам уже приближается к 80% стоимости всего проекта. В начальной области кодовой памяти располагаются также вектора переходов на подпрограммы обслуживания прерываний.

Первым адресом, по которому процессор обращается для выполнения программы пользователя, является адрес 2080H. Сюда передается управления и

после сброса системы по сигналу RESET. Расположенная вслед за внутренним ПЗУ память, вплоть до адреса FFFFH может рассматриваться как *внешняя память программ и/или данных и/или о*бласть адресации *внешних устройств ввода/вывода пользователя. Нек*оторые самые современные микроконтроллеры, например, 8XC196NP, 8XC196NU, 80C296SA, предназначенные для высокопроизводительной обработки больших массивов информации в реальном времени имеют 'возможности *расширенной адресации памяти.* В этом случае *объем прямоадресуемой памяти* возрастает до 1 Мбайта, 6 Мбайт и даже до 16 Мбайт. При этом внутренняя шина адреса микроконтроллера вместо 16-разрядной становится 24-разрядной, а во вне выводятся дополнительно 4 или 8 старших разрядов адресной шины.

Возможности подключения внешней памяти и внешних устройств ввода/вывода

На стадии разработки и отладки микропроцессорной системы приходится использовать *внешнюю память программ* и только затем, когда алгоритмы и программное обеспечение полностью оттестированы и начинается серийный выпуск изделия , программное обеспечение «прошивается» в внутреннюю память микроконтроллера. Кроме того, в ряде применений требуется *внешняя память данных,* часто энергонезависимая, для хранения промежуточных массивов информации, результатов тестирования работоспособности оборудования, текущих настроек системы управления, циклограмм управления оборудованием в функции времени и т.д.

В системах встроенного управления, где часто приходится изменять алгоритмы управления и программное обеспечение, единственной альтернативой оказывается применение в качестве внешней памяти программ так называемой *флэш-памяти.* Эта память, впервые анонсированная фирмой Intel в 1988 г., бурно развивается и на сегодняшний день сочетает в себе достоинства ОЗУ и ПЗУ, являясь энергонезависимой памятью с высокой плотностью хранения информации, высоким быстродействием, малым потреблением энергии, исключительной надежностью и помехоустойчивостью. Она допускает более 100 тысяч циклов перезаписи.

Вместе с тем, несмотря на большое количество интегрированных на кристалл периферийных устройств, их часто оказывается недостаточно для решения конкретной задачи. В этом случае приходится дополнительно использовать *внешние периферийные устройства:* программируемые порты ввода/вывода данных, контроллеры прерываний, контроллеры последовательного ввода/вывода данных и т.д.

Встроенный контроллер внешней шины обеспечивает корректное подключение к микроконтроллеру внешней памяти и внешних периферийных устройств, а также формирование необходимых сигналов управления ими. Большинство микроконтроллеров MCS-196 имеют *мультиплицированную шину* адреса/данных, а самые совершенные из них могут работать и с *мультиплицированной шиной адреса/данных,* что повышает

производительность системы и упрощает интерфейс с внешней памятью и периферией.

В зависимости от разрядности используемой внешней памяти и периферии шина может работать в нескольких режимах:

Стандартном — как 16-разрядная мультиплицированная шина (вся внешняя память и периферия 16-разрядные). *8-разрядном* — когда вся внешняя память и периферия 8-разрядные. *Динамически переключаемом* между 8- и 16-разрядным режимами в зависимости от типа внешнего устройства, к которому в данный момент происходит обращение.

Кроме того, наличие специального входа готовности Ready допускает расширение сигналов чтения RD# и записи WR# для подключения медленно-действующей памяти и устройств ввода/вывода (например, жидкокристаллического дисплея). Более того, изменяя программно *байты конфигурации микроконтроллера,* можно задать требуемое число тактов ожидания для оптимального сопряжения микроконтроллера с внешними устройствами.

Лекция 11.

Применение микропроцессоров в приводах мехатронных систем. Примеры МП приводов современных систем.

Пример МК-системы на основе ОМЭВМ семейства МК51.

В данном разделе рассматривается пример построения МК-системы на основе ОМЭВМ МК51, который может быть использован для приобретения навыков программирования и отладки программ для МК51, а также рассматриваться в качестве макета реальной системы управления для отладки ее прикладного программного обеспечивания совместно с объектом управления в реальном масштабе времени.

Проектируемый отладочный модуль должен содержать следующие средства:

- постоянную память с программой Монитор, обеспечивающей управление всей системой и прежде всего взаимодействие с оператором;

- оперативную память для занесения программ, данных и создания буферов Монитора;

- простейшую клавиатуру для загрузки кодов и взаимодействия с оператором: 16 цифровых клавиш (цифры от 0 до F), 8 управляющих клавиш, в том числе и клавиша "сброс" - системного сброса;

- простой дисплей, обычно однострочный (на основе семисегментных индикаторов), который используется для визуального контроля вводимой информации и отображения данных;

- расширитель ввода-вывода на основе ППА КР580ВВ55.

Кроме того, отладочный модуль может иметь собственный источник

электропитания и (в некоторых случаях) дополнительное место на печатной плате ("слот") для монтажа пользовательских средств связи с объектом управления. Функциональная схема отладочного модуля, удовлетворяющего поставленным требованиям, приведена на рис.15. Как видно из приведенной схемы, память МКС имеет две физически- разделенные области для хранения данных и программ: ВПД и ВПП.

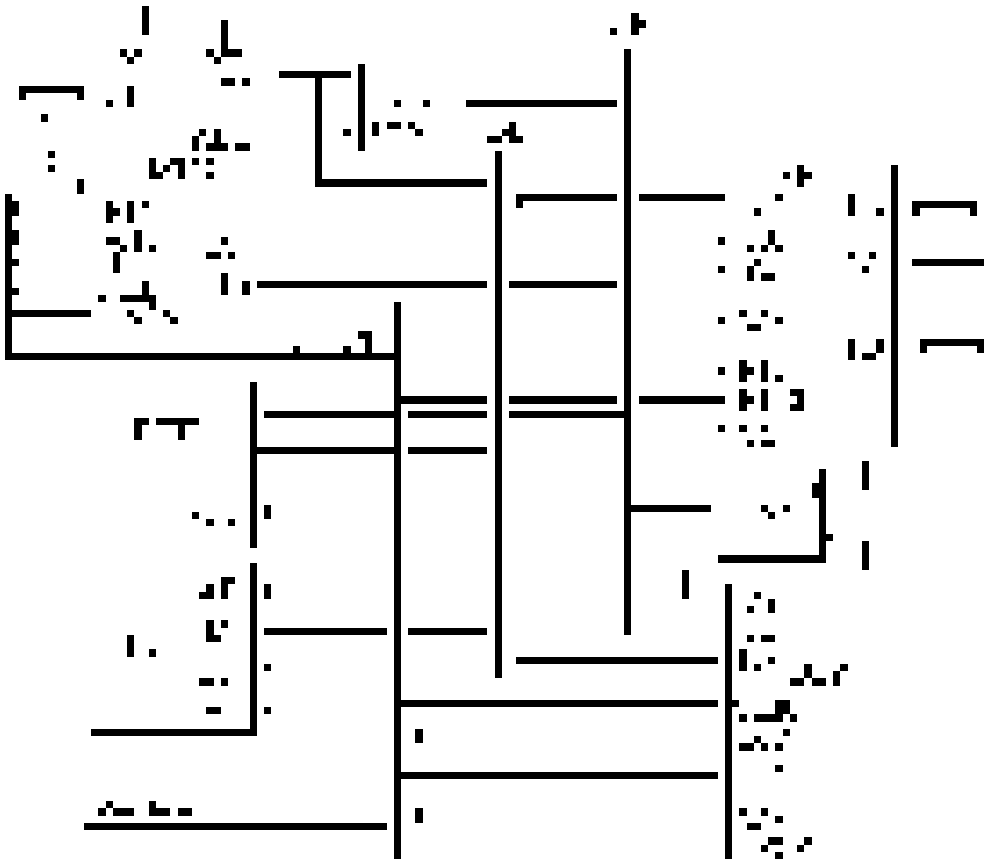


Рис.15. Функциональная схема отладочного модуля

Обращение к ним стробируется сигналами RD, WR и PSEN, соответственно. Программа Монитор расположена в ВПП. Адресное пространство ВПД включает в себя следующие области: буферную область Монитора; память данных; область, отведенную для подключения интерфейсных БИС (ППА, ККД).

Контроллер клавиатуры - дисплея (ККД) закрывает адресные пространства ВПД размером в 4 ячейки. Выбор кристалла ККД осуществляется дешифратором ДС, при установке соответствующих адресов (указанных 4-х ячеек).

Обмен данными МК с ККД осуществляется через порт P0. Для синхронизации работы ККД используется сигнал с выхода ALE. Выход сигнала прерывания из ККД (IRQ) соединен со входом запроса прерываний МК. Это позволяет достаточно просто обнаруживать факт нажатия клавиш, а также выполнять переход из программы пользователя в Монитор по прерыванию от клавиатуры.

Для управления внешним объектом от МК используется порт P1 и

оставшиеся не задействованными 5 линий порта P3. Для сопряжения МК с объектом, имеющим большое число входов/выходов, можно расширить резидентную систему ввода/вывода, подключив к МК необходимое количество внешних портов. Такое расширение может быть выполнено двумя способами: с использованием стандартного расширителя ввода/вывода (КР580ВР43) или интерфейсных БИС (КР580ВВ55, КР580ВВ51). На приведенной схеме показан вариант расширения ввода/вывода с использованием параллельного периферийного адаптера (ППА) КР580ВВ55. Порты адаптера адресуются как ячейки ВПД, при этом младшие разряды (А0, А1) шины адреса используются для выбора порта, а старшие (А10 ÷ А3) с помощью дешифратора DC формируют сигнал выбора микросхемы ППА.

Ввод/вывод данных стробируется сигналами WR/RD - записи/чтения ВПД. Системный сброс МКС осуществляется нажатием на клавишу "сброс".

Унифицированная структура силовой части статических преобразователей частоты для широкого класса приводов переменного тока.

Современный этап технической революции характеризуется бурным развитием не только управляющей, но и силовой электроники. успехи которой позволяют по новому взглянуть на ряд проблем, которые раньше не решались либо ввиду непомерной стоимости проекта либо сложности его реализации на имеющейся элементной базе.

Известно, что в большинстве промышленно развитых стран около 70-80% всей вырабатываемой электроэнергии используется для преобразования в механическую работу с помощью различных электродвигателей. При этом до последнего времени наиболее массовым типом электропривода был нерегулируемый привод с асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Это объясняется простотой двигателя и возможностью его непосредственного подключения к трехфазной сети переменного тока с помощью так называемых пускателей - простейшей коммутационной и защитной аппаратуры.

Применение нерегулируемых электроприводов сопровождается значительными непроизводительными затратами электроэнергии и в условиях резкого подорожания энергоносителей и, соответственно, электроэнергии, экономически невыгодно. Поэтому, доля регулируемых электроприводов, в том числе частотно-регулируемых электроприводов переменного тока постоянно растет. При этом в ряде стран приняты специальные государственные программы ускоренного развития энерго- и ресурсосберегающих технологий на базе экономичного регулируемого электропривода с широкими интерфейсными возможностями, дозволяющими одновременно с экономией электроэнергии решать и задачи комплексной автоматизации производства в целях оптимизации параметров технологических процессов и улучшения качества выпускаемой продукции.

Увеличение стоимости энергоносителей привело к еще одной проблеме - удорожанию цветных металлов и к увеличению стоим ости электрических машин традиционных конструкций. Эта проблема способствовала быстрому прогрессу электрических машин новых типов с малыми затратами меди и

алюминия («малообмоточных»): реактивных и индукторных, которые к тому же более технологичны, так как имеют не распределенные, а более простые в изготовлении сосредоточенные обмотки.

В отличие от асинхронных двигателей эти двигатели не могут работать непосредственно от сети переменного тока и требуют питания от *инвертора напряжения или тока* с регулируемой выходной частотой. Особенно эффективна работа таких машин в режиме *автокоммутации,* когда переключение фаз выполняется по сигналам установленного на вал двигателя (встроенного) датчика положения. Такой двигатель называется *вентильным* или *бесконтактным двигателем постоянного тока* и допускает управление по двум каналам: каналу напряжения на якоре и каналу угла коммутации. По прогнозам специалистов вентильные двигатели в начале следующего века вытеснят с рынка как традиционные коллекторные двигатели постоянного тока, так и асинхронные двигатели.

Большинство современных систем привода переменного тока со статическими преобразователями частоты строится по хорошо известной классической схеме: «Неуправляемый выпрямитель - Звено постоянного тока - Автономный инвертор напряжения с ШИМ-модуляцией - Двигатель» (рис.16). Для трехфазных двигателей (асинхронных, синхронных, вентильных или вентильных индукторных) инвертор напряжения выполняется по стандартной 6-и ключевой схеме. Для двигателей с другим числом фаз, например, для четырехфазных индукторных двигателей инвертор строится на базе полумостовых или мостовых схем.

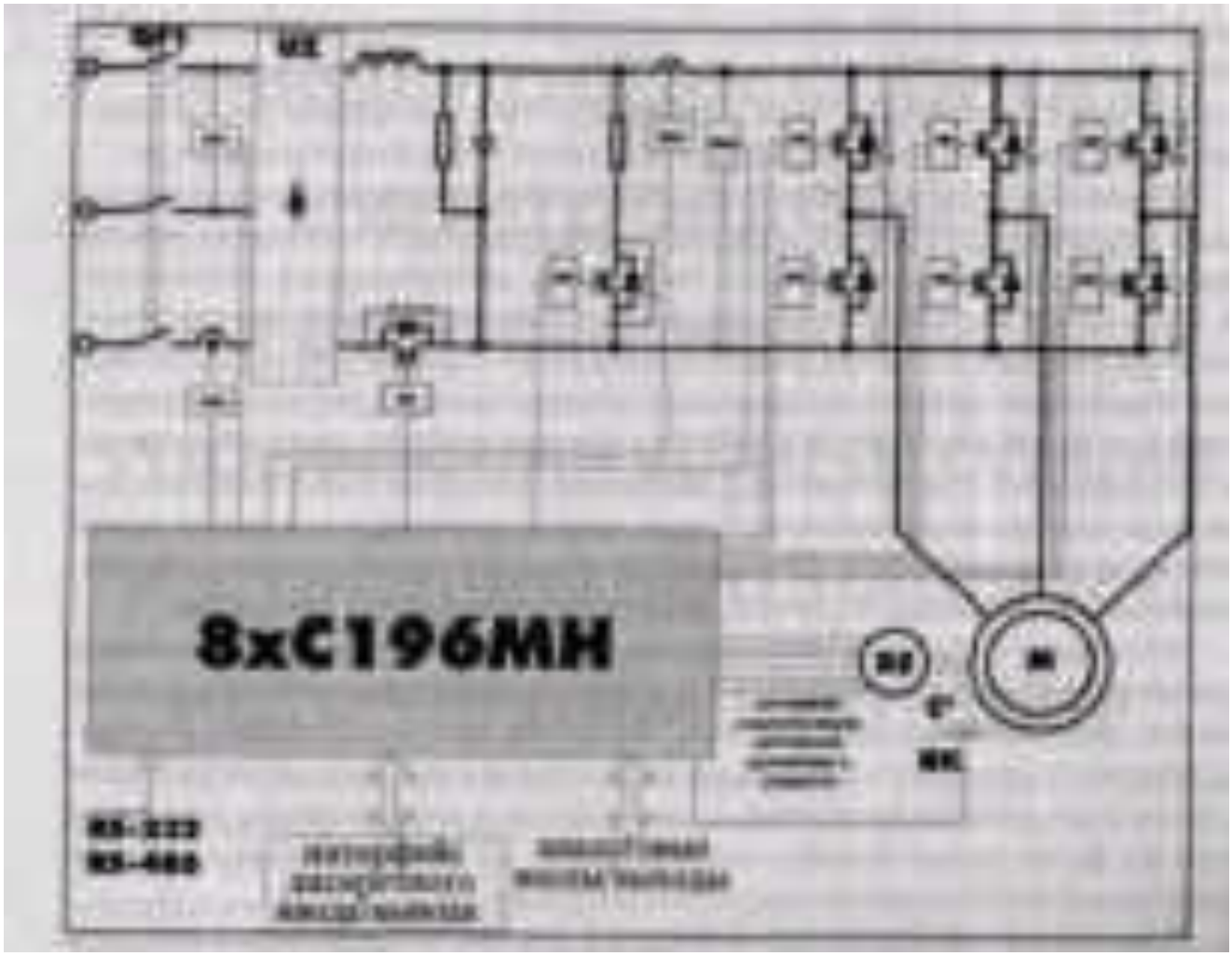


РИС. 16. ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Силовой преобразователь состоит из неуправляемого выпрямителя UZ, подключаемого к однофазной или трехфазной сети переменного тока и автономного инвертора напряжения, работающего, как правило, в режиме синусоидальной широтно-импульсной модуляции. К выходу инвертора подключен двигатель М (асинхронный или вентильный постоянного тока). В последнем случае на вал двигателя дополнительно устанавливается датчик положения BS.

Инвертор может быть построен с использованием *биполярных транзисторов с изолированным затвором* IGBT. В широком диапазоне токов и напряжений рядом фирм выпускаются как отдельные силовые транзисторы, так и стойки, моду; и и даже интеллектуальные модули, имеющие встроенные драйверы и элементы защиты, а также интерфейсы, допускающие непосредственное подключение микропроцессорных систем управления. Имеются также и другие необходимые для построения привода компоненты: электролитические конденсаторы на высокие напряжения и токи, диодные модули для построения выпрямителей и т.д.

Мощная, встроенная в преобразователь микропроцессорная система управления должна выполнять функции не только прямого цифрового управления инвертором напряжения, но и всеми дополнительными элементами преобразователя, а именно:

• Цепью возбуждения для синхронных и вентильных двигателей с независимым контуром возбуждения (который физически может располагаться как на роторе, так и на статоре).

• Цепью зашиты преобразователя от перенапряжений при рекуперации энергии (путем управляемого «слива» энергии в дополнительный балластный резистор) для приводов с активной нагрузкой на валу или приводов с высокими требованиями по динамике переходных процессов.

• Цепью заряда батареи конденсаторов в контуре постоянного тока при включении преобразователя в работу.

• Цепью питания электромагнитного тормоза (если он необходим).

Кроме того, встроенная система микропроцессорного управления должна напрямую обрабатывать сигналы ряда датчиков обратных связей, среди которых типовыми являются датчики напряжения и тока в цепи постоянного тока, тока возбуждения двигателя, температуры двигателя и (или) преобразователя, а также датчики положения ротора различных типов (на базе чувствительных элементов Холла, оптических импульсных датчиков положения и т.д.), необходимые для выполнения функций автокоммутации в приводах с вентильными двигателями. Датчики положения или скорости, например, импульсные, могут потребоваться также в приводах с асинхронными двигателями целях более точной компенсации скольжения в функции нагрузки для расширения диапазона регулирования. Таким образом, встроенная микропроцессорная система управления должна иметь развитый интерфейс как с источниками аналоговых сигналов, так и с источниками импульсных сигналов.

Отметим, что современная встроенная система управления преобразователем частоты не будет конкурентоспособной без интерфейса с системами более высокого уровня управления (последовательного интерфейса RS-232 или 485), а также интерфейса с пультом оперативного управления, предназначенным для организации интерактивного взаимодействия с оператором для настройки параметров преобразователя, выбора нужного режима работы, наблюдения за координатами привода и технологическими переменными и тj.

Сотни различных фирм, среди них такие известные как ABB, Siemens, Alien Bradley, Dan bss и др., выпускают преобразователи частоты и комплектные электропривода на их основе в диапазоне мощностей от 100 ВА до 100 кВА, работающие с высоким коэффициентом полезного действия до 96% и коэффициентом мощности до 0.9.

Серьезный научный потенциал, накопленный в России в области теории автоматического управления и теории электропривода, теории синхронных, шаговых и вентильных двигателей, вместе с доступностью современных микроэлектронных компонент (как силовых, так и управляющих), позволяет быстро выполнять необходимые разработки и запускать в производство отечественные серии преобразователей, основные технические характеристики которых соответствуют мировому уровню.

Приведем результаты проектирования универсального микропроцессорного контроллера для систем встроенного управления широкой гаммой приводов переменного тока со статическими преобразователями частоты, а также стабилизированными источниками питания.

Универсальный контроллер для встроенных применений

На рис. 17. показана блок-схема системы управления для использования в частотно-регулируемых электроприводах с асинхронными, синхронными, вентильными и шаговыми двигателями, а также в системах вторичного стабилизированного питания. Диапазон применений системы управления широк: от приводов насосов-дозаторов жидких сред до двухпроцессорных систем векторного управления приводами стержней ядерных реакторов.

При проектировании система управления была принята концепция совмещения функций прямого цифрового управления элементами преобразователя частоты и технологическими переменными, значение которых изменяется при регулировании скорости привода. Таким образом, в систему непосредственного управления встроены функции промышленного программируемого контроллера средней производительности, реализующего заданный алгоритм управления технологическим процессом (ПИД-регулятор). Такой подход позволяет отказаться от дополнительных устройств, создавая своеобразные узлы автоматизации, способные самостоятельно управлять как двигателями, так и технологическими переменными (давлением, расходом, подачей и т.д.).

Концепция интеллектуальных распределенных систем управления с каждым годом завоевывает все больше сторонников. Это связано с общей тенденцией переноса все больших вычислительных ресурсов непосредственно к месту, где установлено исполнительное устройство и соответствующий рабочий орган.

В состав системы управления входят следующие изделия.

• Одноплатный универсальный контроллер (в формате E2).

• Пульт оперативного управления с двухстрочным жидкокристаллическим дисплеем и клавиатуре ft 4x4, выпускаемый как в виде встраиваемого изделия, так и виде автономного изделия, подключаемого к контроллеру плоским кабелем.

• Интерфейсная плата релейного ввода/вывода дискретных сигналов «сухим» контактом (8 входов и 8 выходов).

• Интерфейсная плата ввода/вывода импульсных сигналов, обеспечивающая сопряжение с 2-,3 -, 4-, 6-фазными датчиками положения, а также ввод реперных сигналов идентификации начальной позиции. Для работы контроллера необходим внешний источник питания 5 В (1А). Встроенная схема мониторинга питания обеспечивает постоянный контроль уровня внешнего питания и формирование запроса на прерывание процессора при раннем обнаружении падения напряжения ниже допустимого уровня.

В качестве центрального процессора выбран один из самых современных и

высокопроизводительных 16-разрядных микроконтроллеров для управления двигателями Inte 18xC196MH, обеспечивающий функции прямого цифрового управления инверторами напряжения в режиме центрированной синусоидальной ШИМ-модуляции на частотах несущей до 20 кГц с возможностями программного регулирования «мертвого времени» для защиты инвертора от сквозного тока в диапазоне от 0 до 125 мкс.

Все выходы ШИМ-генератора могут дополнительно буферироваться преобразователями уровня TTL-MOS (опция), что позволяет применять в силовой части привода драйверы различных фирм, в том числе с изолированными источниками питания ключей. Допускается подключение внешних источников питания для преобразователей уровня с диапазоном напряжений от 5 до 24 В. Предусмотрены программно-аппаратные средства безопасной инициализации при подаче напряжения питания на контроллер или при сбросе системы, исключающие случайное формирование отпирающих управляющих сигналов на драйверы силовых ключей в течение переходных процессов в цепях питания.

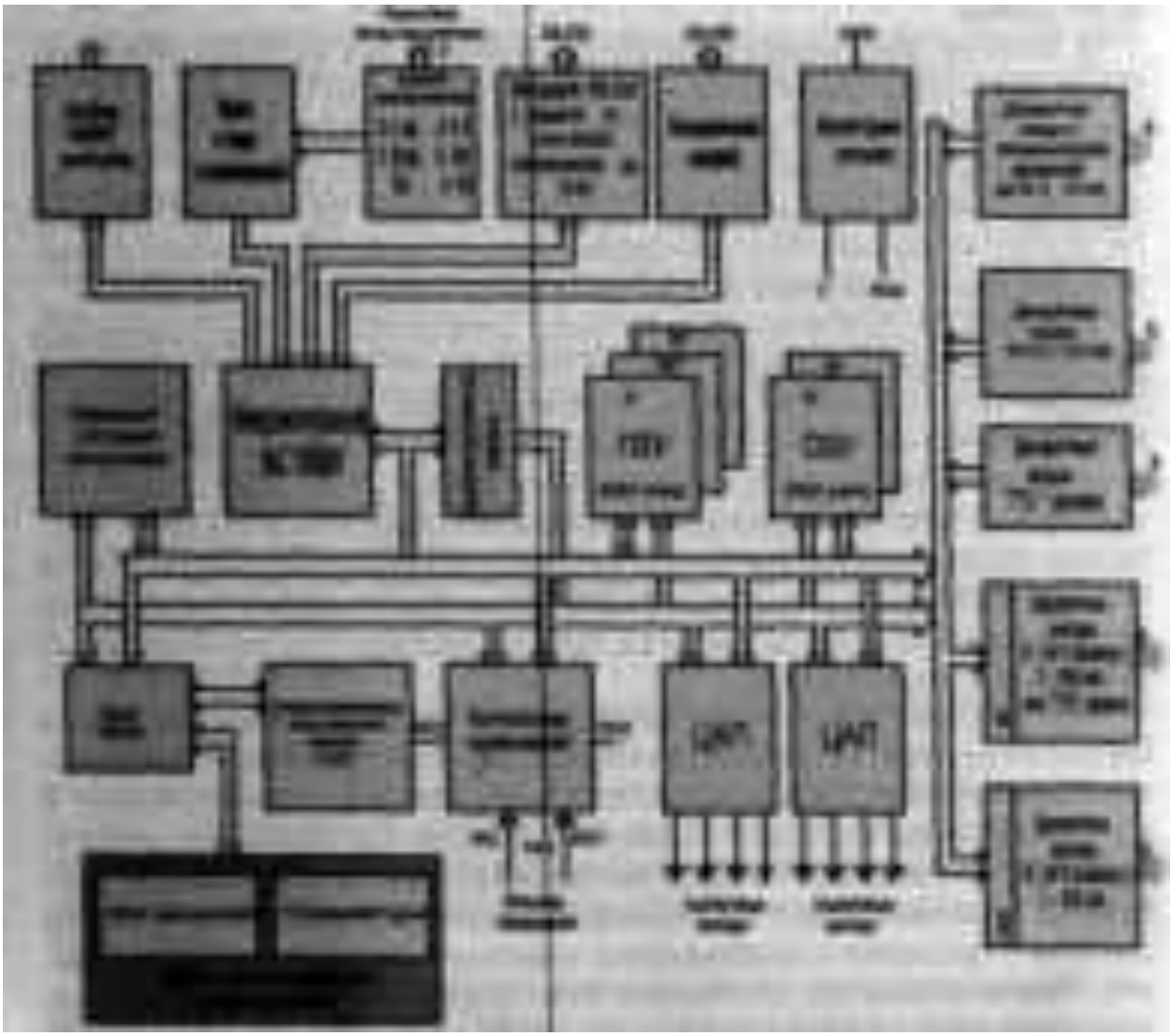


РИС. 17. БЛОК-СХЕМА УНИВЕРСАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Программное обеспечение располагается либо во внутренней памяти микроконтроллера 87С196МН (при поставке базового комплекта программного обеспечения), либо но внешней памяти объемом от 8 до 32 Кбайт. В последнем случае исполняется микроконтроллер 80С196МН без встроенного ПЗУ. Это позволяет оперативно модифицировать программное обеспечение в соответствии с требованиями заказчика и выполнять привязку системы управления к особенностям технологического процесса, например, изменять структуру регуляторов технологических переменных, вводить новые алгоритмы адаптивного управления и т.д.

Имеется также встроенная защита программного обеспечения от несанкционированного доступа.

Модуль памяти комплектуется различными типами внешней оперативной памяти:

• Статическим ОЗУ объемом от 8 до 32 Кбайт.

• Энергонезависимым ОЗУ объемом от 8 до 32 Кбайт с гарантированных сроком хранения данных до 10 лет.

Статическое ОЗУ используется исключительно для временного хранения промежуточных результатов, а также для ведения оперативного протокола с целью наблюдения за текущими значениями регулируемых переменных в приводе (мощность, ток и т.д.), а также за параметрами технологического процесса (давление в магистрали, расход, концентрация и т.д.).

Энергонезависимой ОЗУ используется для хранения параметров привода, преобразователя, Заводских уставок, а также заданных циклограмм управления технологическими переменными в функции времени (часовые, суточные, недельные, месячные, годовые циклы). Для реализации программного управления координатами привода или технологическими переменными в состав контроллера включены *часы реального времени.*

Контроллер имеет Унифицированный интерфейс с различными источниками аналоговых сигналов в большинстве промышленных стандартов: 0-5В, 0-10В, +/-5В,+/-10В,4-20мА,0-5мА, внешний резистор 10 кОм и обеспечивает подключение в общей сложности до 8 таких сигналов (5 из них внутренние - датчики тока, напряжения и т.д., 3 внешние, — задание скорости, обратная связь по скорости, Задание технологической переменной, обратная связь по технологической переменной, возмущающее воздействие). Точность АЦП составит 10 разрядов, время одного преобразования 10 мкс, максимальная абсолютная погрешность не более +/-3 единиц младшего разряда.

Модуль ввода аналоговых сигналов имеет встроенный высокостабильный источник опорного напряжения, а также наборное поле, позволяющее выбрать нужный тип входа. Функциональное назначение каждого из аналоговых входов программно настраивается в процессе конфигурирования системы управления.

Модуль вывода аналоговых сигналов позволяет выводить во вне до 8 аналоговых сигналов с разрешением 1/256 в диапазоне 0-5 В или -5,+5 В. Этот модуль может быть использован для управления шаговыми двигателями в

режиме электрического дробления шага (до 4-х осей одновременно от одного контроллера) или для индикации скорости привода или текущих значений технологических переменных на стрелочных или других аналоговых индикаторах.

Для сопряжения с системами верхнего уровня предусмотрены два интерфейса RS-232 и RS-485. Первый обеспечивает подключение к преобразователю любого компьютера или промконтроллера, в том числе «на ходу».

Эта возможность позволяет выполнить настройку преобразователя или диагностику оборудования с использованием портативных компьютеров в качестве переносных пультов оперативного управления. Второй позволяет подключить к одному каналу связи до 32-х преобразователей частоты и организовать не только управление преобразователями в реальном времени от системы верхнего уровня, но и сбор информации о состоянии привода и локально-контролируемого технологического оборудования.

Последовательные каналы связи дополнительно могут использоваться для подключения удаленных датчиков технологических переменных: температуры, уровня жидкости и т.д.

Контроллер имеет мощную встроенную систему ввода/вывода дискретных сигналов. что позволяет подключать кнопочные станции, командо-аппараты, датчики состояния технологического оборудования и т.д., а также выводить управляющие воздействия дискретного типа и информационные сигналы о состоянии привода.

Входные дискретные сигналы могут быть трех типов: ТТЛ-уровня, 15В и 24 В. Для входных сигналов напряжением 15 В предусмотрена дополнительная защита от помех триггерами Шмитта. Дискретные входы 24 В имеют встроенную гальваническую развязку. Выходные дискретные сигналы могут быть нескольких типов: ТТЛ, с регулируемым выходным напряжением в диапазоне от 5 до 24 В за счет подсоединения внешнего источника питания.

Если по условиям эксплуатации необходимо использовать релейные входы или выходы, те к контроллеру подключается дополнительная интерфейсная плата на 8 входов, 8 выходов.

Система прерываний микроконтроллера 8xC196MH расширена с помощью дополнительной БИС контроллера прерываний, что позволяет вводить по прерываниям ряд дискретных сигналов с датчиков, например, теплового перегрева инвертора, двигателя и т.д.

Возможности системы управления позволяют вводить (и выводить) также импульсные сигналы, например с импульсных датчиков положения, причем с автоматической идентификацией процессором скорости двигателя в широком диапазоне (вплоть до 10000 об/мин.). Измерение скорости производится с автоматическим программным переключением диапазонов с целью получения максимальной точности в каждом диапазоне. Это позволяет применять частотно-регулируемые асинхронные привода в точных замкнутых системах управления. Имеется также ряд дополнительных возможностей по организации

синхронной работы нескольких приводов, по организации управления группой шаговых двигателей (до четырех осей) с автоматическим контролем выпадения двигателей из синхронизма.

Набор программного обеспечения зависит от типа привода. Комплект программного обеспечения для асинхронного привода реализует функции автоматического регулирования выходного напряжения в функции текущей выходной частоты, задатчика интенсивности, блока ограничения резонансных частот, выбора заданного типа торможения, технологического регулятора и т.д. Разумеется реализованы и функции защиты двигателя и преобразователя: максимально-токовая, время-токовая, от сквозных токов, от обрыва и перекоса фаз, от недопустимого отклонения напряжения сети и другие.

В состав программного обеспечения входят драйверы дисплея и клавиатуры пульта оперативного управления, драйверы последовательных каналов связи, программе -монитор и другое системное программное обеспечение.

Выводы

• Рассматриваемая в качестве примера версия системы управления преобразователями частоты открывает богатейшие возможности по автоматизированной настройке параметров преобразователя в процессе пусконаладочных работ, по автоматической адаптации режима работы привода к условиям эксплуатации, по решению различных задач оптимального управления. Она сочетает в себе возможности качественного прямого цифрового управления инвертором с возможностями управления те отологическими переменными.

• Пользователь вместе с преобразователем получает и встроенный промконтроллер средней производительности, приобретая возможность создавать узлы локальной автоматизации, которые затем, при необходимости, можно легко подключить по каналу связи к системе управления более высокого уровня, с целью как удалённого управления, так и наблюдения за регулируемыми переменными и состоянием привода.

• Унифицированные интерфейсы позволяют использовать одну и ту же систему управление для приводов различных типов: постоянного тока, синхронных, шаговых, асинхронных и вентильных.

• Управляющие воздействия можно вводить через аналоговые входы, дискретные входы; или по одному из каналов последовательной связи. Гибкая система настройки конфигурации системы управления позволяет выполнять программную перенастройку функционального назначения входов системы управления оптимальным образом.

• Русифицированный дисплей пульта оперативного управления позволяет создавать дружественное программное обеспечение с интуитивно понятной мнемоникой. Возможно конфигурирование системы управления, настройка и местное управление с использованием портативного компьютера, подключенного к системе по последовательному каналу связи.

• При переходе к массовому производству изделий с встроенными системами управления аппаратная часть унифицированного контроллера может быть легко минимизирована в соответствии с требованиями конкретной задачи.

• Использование перспективных систем встроенного управления преобразователями частоты насосов холодного и горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий позволяет экономить до 50% электроэнергии и до 15% воды. При этом срок окупаемости преобразователя не превышает одного года. В условиях начавшейся в России коммунальной реформы, актуальность работ в этом направлении не вызывает сомнений.

Лекция 12.

Мультипроцессорные системы управления. Транспьютеры - элементная база мультипроцессорных систем

Основные особенности транспьютеров

Концепция параллелизма давно привлекала внимание специалистов своими потенциальными возможностями повышения производительности и надежности вычислительных систем. В нашей стране с 60-х годов выполнялись теоретические, экспериментальные и промышленные разработки в этом направлении. Именно с подобными системами связывается в настоящее время перспектива дальнейшего наращивания производительности. Исторически первой промышленной разработкой, ориентированной на массово-параллельные системы стали транспьютеры.

Транспьютер - это микрокомпьютер с собственной внутренней памятью и линками (каналами) для соединения с другими транспьютерами. Термин "транспьютер", произошедший в результате объединения слов "транзистор" и "компьютер", отражает основную область его применения - массово-параллельные вычислительные системы, в которых он играет роль базового вычислительного элемента. Некоторые специалисты понимают термин "транспьютер" как название конкретного продукта фирмы Inmos, другие трактуют его как обобщенное наименование микропроцессоров со встроенными межпроцессорными интерфейсами. Используется также термин "транспьютеро-подобный микропроцессор", чтобы, с одной стороны, подчеркнуть, что речь идет не о продукте фирмы Inmos, а, с другой стороны, указать, что микропроцессор имеет встроенные линки для образования параллельных систем. Вполне возможно, что стремительное развитие микроэлектроники не позволит термину "транспьютер" устояться, и он будет поглощен более общим -микропроцессор, так как отличительный признак транспьютера - встроенные межпроцессорные интерфейсы - появятся в том или ином виде у всех микропроцессоров.

Первый транспьютер - Т414 - был представлен фирмой Inmos, Inc. (Бристоль, Великобритания) в 1983 г. Его основные характеристики:

• разрядность - 32 бит;

• объем внутренней памяти - 2 Кбайта;

• число коммуникационных каналов (линков)- 4;

• скорость обмена по линку - 5, 10, 20 Мбит/с;

• тактовая частота - внешняя - 5МГц, внутренняя - 15 МГц;

• производительность - 10 MIPS.

Широкую доступность и известность транспьютеры получили с 1985 г. Были выпущены модификации с большим объемом памяти (4 Кбайт) и более высокой тактовой частотой - семейство Т-4: Т424, Т425 - 20, 25 и 30 МГц, 16-разрядные модификации - семейство Т-2: Т212, Т222, транспьютеры со встроенным устройством выполнения операций с плавающей точкой - семейство Т-8: Т800, Т801, Т805. Производительность этих микропроцессоров достигает 30 MIPS и 4,3 MFLOPS. Выпускается ряд периферийных устройств транспьютерных семейств, к числу которых относятся микросхемы: М212 - контроллер НЖМД стандарта ST506, G412 - графический RGB-контроллер, С004 - программируемые 32-канальные коммутаторы и др.

Высокая степень "функциональной самостоятельности" транспьютера, простота интеграции и наличие периферийных устройств позволяют в короткие сроки создавать системы на их основе. Коммуникационные каналы транспьютера могут осуществлять обмен данными одновременно с вычислениями, практически не снижая производительности процессора. Благодаря этому качеству транспьютеров системы на их основе обладают хорошей масштабируемостью и высоким значением показателя эффективности - производительность/стоимость.

Архитектура и структура транспьютеров фирмы Inmos

Архитектура семейств Т-2, Т-4, Т-8

Транспьютеры относятся к классу RISC- процессоров. Система команд транспьютеров ориентирована на поддержку языка высокого уровня -ОККАМ (OCCAM). Это язык параллельного программирования, позволяющий задавать параллельные вычисления в соответствии с моделью взаимодействующих последовательных процессов (CSP). Программа на языке ОККАМ представляет собой совокупность асинхронных совместно протекающих взаимодействующих процессов, выполняющихся асинхронно и параллельно. Под процессом понимается ход исполнения программного кода некоторой программы или фрагмента программы. Взаимодействие между процессами реализуется путем обмена данными по принципу "рандеву". В транспьютере данная модель параллельных вычислений поддерживается благодаря наличию аппаратно-реализованного диспетчера, обеспечивающего выполнение параллельных процессов в режиме квантования времени. Причем количество одновременно выполняемых процессов не ограничено.

Мультипроцессорная система на базе транспьютеров представляет собой совокупность транспьютеров, соединенных линиями связи (непосредственно или через коммутатор).

Существенно упростить программирование мультипроцессорных ВС на базе транспьютеров позволяет тот факт, что одинаковая модель параллельных вычислений поддерживается как внутри отдельного транспьютера, так и в рамках мультитранспьютерной системы в целом. Благодаря этому программа, разрабатываемая для мультипроцессорной системы, может быть создана и отлажена на одном единственном процессоре, а затем перенесена на сеть транспьютеров без существенных преобразований. Исключение составляет ограничение числа каналов связи процесса с процессами, протекающими на другом транспьютере. Это ограничение преодолено в транспьютере Т-9000.

Обобщенная структура транспьютера Т800 приведена на рис. 76. На этом же рисунке показаны архитектурные регистры процессора, управляющие структуры процессов и распределение их рабочих областей памяти.

В зависимости от модели, транспьютер состоит из 32- или 16-разрядного центрального процессора, интерфейса внешней памяти, 2 или 4 дву-направленных каналов - линков, программируемого блока событий (Event), таймера, внутреннего ОЗУ емкостью 2 или 4 Кбайт, блока режимов работы линков, блока системных функций. Некоторые модели могут содержать 64-разрядное устройство операций с плавающей точкой и (или) интерфейсные схемы внешних устройств, такие как НЖМД, ЭЛТ, сетевой адаптер. (Контроллеры внешних устройств обычно выполняются на кристалле вместо двух линков).

Центральный процессор

32-разрядный центральный процессор транспьютера работает на тактовой частоте до 30 МГц, формируемой из опорной внешней тактовой частоты 5 МГц внутренней схемой умножения. Внутренняя структура центрального процессора показана на рис. 77.

Аппаратный планировщик (диспетчер) центрального процессора организует одновременное (в режиме разделения времени) выполнение нескольких процессов. Каждому процессу в момент его создания в адресном пространстве транспьютера выделяется выровненная по границе слова рабочая область памяти и устанавливается приоритет. В транспьютере реализована двухуровневая схема приоритетов: 0 - высокий приоритет процесса, 1 - низкий приоритет. Объединение адреса рабочей области и приоритета образует дескриптор процесса.

Центральный процессор содержит два регистра-таймера, для низко- и высокоприоритетных процессов. Высокоприоритетный регистр инкрими-нируется каждую 1 мкс, низкоприоритетный - каждые 64 мкс.

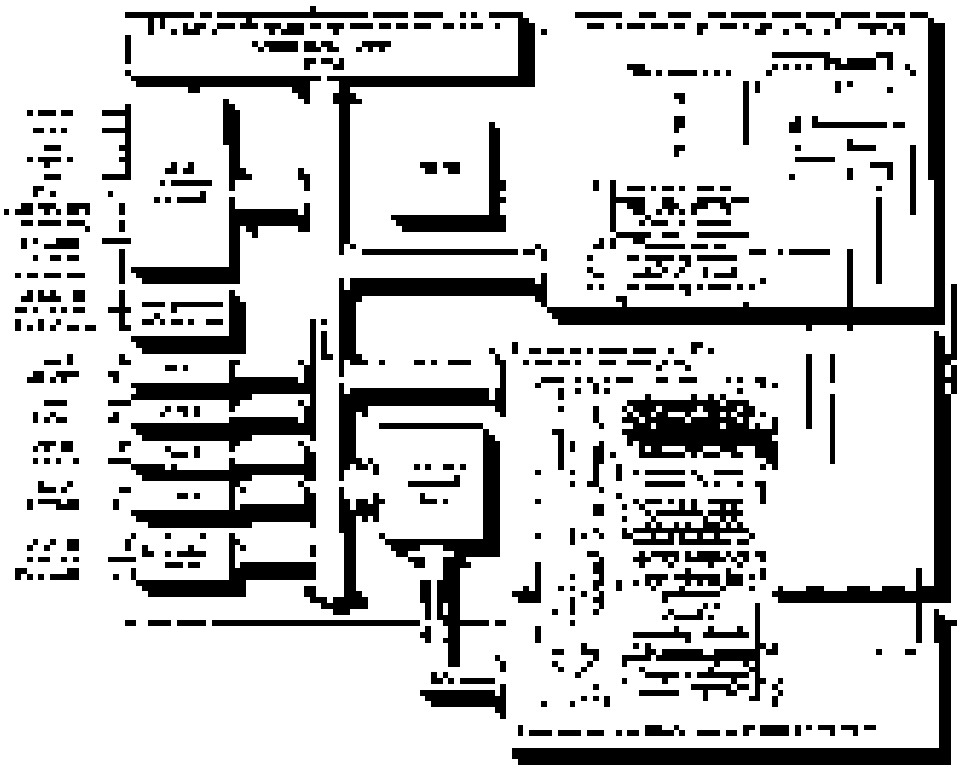


РИС. 76. СТРУКТУРА ТРАНСПЬЮТЕРА T800

Регистр W транспьютера указывает на рабочую область процесса, а в регистре указателе команды находится адрес следующей выполняемой команды.

Регистры общего назначения A, B, C, образуют регистровый стек ss память с дисциплиной доступа FIFO. АЛУ выполняет логические и арифметические операции над операндами, содержащимися в регистровом стеке. Операнды помещаются в стек через его вершину - регистр А. При загрузке данных в А его содержимое переносится в В, содержимое В в С, а содержимое последнего теряется. Результаты операций также формируются в регистре А, при этом содержимое регистра С "выталкивается" в регистр В и становится неопределенным.

Система команд транспьютера

Все команды транспьютера однобайтовые и выполняются за один такт процессора. Структура команды показана на рис. 76. Старшие 4 разряда -код команды, младшие *4* разряда используются для формирования операнда команды или кода команды в регистре операнда - О.

Операции, реализуемые командами транспьютера, подразделяются на первичные и вторичные. 13 наиболее употребительных первичных операций, такие, например, как сложение с константой со значением в диапазоне 0 -15, безусловный переход, загрузка (запись) слова и т.п. Еще 3 команды (мнемокоды pfix, nfix, opr) используются для реализации вторичных операций. Код вторичной операции формируется командами pfix, nfix и opr в регистре О, а операнды содержатся в регистрах.

Выполнение команд

Команды выбираются из памяти транспьютера и помещаются в буфер команд центрального процессора. За один такт выбирается 2 команды в Т-414 и 4 команды в Т-800.

Выполнение большинства команд осуществляется в три этапа:

1. Операнд команды помещается в младшие 4 разряда регистра операнда- О;

2. Выполняется операция, задаваемая кодом команды. Содержимое регистра О интерпретируется как операнд.

3. Очищается регистр операнда - О.

Исключение составляют команды pfix, nfix и opr.

Команда pfix на этапе 2 осуществляет сдвиг содержимого О на 4 разряда влево и не очищает регистр О на этапе 3. Команда nfix выполняется так же, как и pfix, но перед сдвигом О помещает туда арифметическое дополнение его содержимого.

Поскольку после выполнения команд pfix и nfix содержимое О не очищается, последовательность команд pfix и nfix позволяет формировать в регистре О операнды с разрядностью до 32. Требуемая последовательность команд минимальной длины формируется компилятором.

Команда opr интерпретирует содержимое О как код вторичной операции. В этом случае операнды содержатся в регистрах процессора. Код вторичной операции, таким образом, задается как операнд первичной операции opr и может иметь до 2^{32} различных значений. В существующих на сегодняшний день моделях транспьютеров используется около сотни вторичных операций.

Использование сопроцессора

В случае наличия у транспьютера встроенного сопроцессора, выполняющего операции с плавающей точкой, распознавание команд и передача их на выполнение осуществляются аппаратно в центральном процессоре, там же выполняется вычисление адреса операндов и их загрузка в регистры FPU.

Модуль операций с плавающей точкой, как показано на рис. 77, состоит из двух блоков: блока мантиссы и блока порядка со своим набором регистров (два регистровых стека). Все команды с плавающей точкой подразделяются на два класса: полностью самостоятельные команды, никак не влияющие на состояние центрального процессора, и команды, пересылающие результаты выполнения операции в центральный процессор.

После передачи команды на исполнение в сопроцессор центральный процессор продолжает выполнение потока команд, если это команда относится к первому классу, или ожидает получения результата, если это команда второго класса.

Распределение памяти транспьютера

Транспьютер может адресовать до 2^{32} байт (4 Гбайт). Особенностью транспьютера является начало адресов в области отрицательных значений. Младший адрес в дополнительном коде соответствует значению (80000000…).

Структурно (конструктивно) вся оперативная память подразделяется на внутрикристальную и внешнюю. Объем внутрикристальной памяти составляет 4 (2) Кбайт (в зависимости от модели транспьютера). Архитектурно (с точки зрения программиста) вся память транспьютера, как внешняя, так и внутрикристальная, равнодоступна и имеет единую адресацию. Внутрикристальной памяти соответствуют младшие адреса, а внешней памяти - старшие.

Поскольку внутрикристальная память имеет меньшее время доступа (один такт процессора), в нее обычно помещаются программистом часто используемые данные и подпрограммы. Пример распределения памяти показан на рис 76.

Несколько слов в младших адресах памяти используется для специальных целей: для слов состояния аппаратных каналов - линков, блока Event, регистров таймера, в качестве рабочих областей памяти диспетчера.

Диспетчеризация процессов

Каждый из процессов в конкретный момент времени может быть выполняемым, активным (готовым к выполнению в очереди соответствующего приоритета), ожидающим сигнала таймера (в очереди к таймеру соответствующего приоритета), ожидающим ввода-вывода.

Для выполняемого процесса регистр I содержит адрес следующей команды, регистр W содержит его дескриптор.

Для организации очереди процессов на выполнение (очередь активных процессов) в диспетчере используются пары регистров FptrO, BptrO, Fptrl, Bptrl, указывающие на начало и конец очереди высоко- и низкоприоритетных процессов соответственно. В качестве элементов очередей используются рабочие области процессов, содержащие помимо данных процесса, управляющую информацию, требующуюся для сохранения и восстановления состояния процессов на этапе диспетчеризации (в том числе ссылку на рабочую область следующего процесса в очереди).

Низкоприоритетные процессы выполняются в течение не более чем 32 периодов низкоприоритетного таймера, после чего процесс (если он еще способен к выполнению) помешается в конец очереди активных низкоприоритетных процессов, а диспетчер планирует выполнение следующего процесса. Сначала просматривается очередь высокоприоритетных процессов, затем - низкоприоритетных.

Высокоприоритетный процесс не прерывается и выполняется до тех пор, пока это возможно (до завершения или до момента ожидания ввода-вывода, сигнала таймера или сигнала внешнего события, выдаваемого блоком Event). Если высокоприоритетный процесс становится активным (например, получает сигнал таймера) в момент выполнения процесса с низким приоритетом, последний прерывается, его состояние сохраняется в области зарезервированных адресов памяти транспьютера и инициируется выполнение прервавшего высокоприоритетного процесса. После его выполнения

возобновляется прерванный низкоприоритетный процесс.

Ввод-вывод

Ввод-вывод для процессов в транспьютере организуется одинаковым образом как в случае использования аппаратных линков (внешний ввод-вывод), так и в случае использования виртуального линка (обмен между процессами одного транспьютера). В обмене всегда участвуют только два процесса: один вводит данные, другой выводит.

В момент выполнения команды описания канала и после завершения каждого обмена слово состояния канала (ССК) инициализируется константой Minint. Процесс, первым выполняющий команду обмена, приостанавливается и проверяется содержимое канала. Если оно Minint, то в ССК заносится дескриптор процесса, а в рабочую область процесса помещаются значение W и адрес передаваемых данных, после чего управление передается диспетчеру для планирования выполнения других процессов.

Если содержимое ССК не Minint, значит данный процесс "пришел" на "рандеву" вторым. В этом случае содержимое ССК - дескриптор процесса, используя который находятся данные в случае ввода или буфер для данных в случае вывода.

Обмен по линкам осуществляется аналогично, с той разницей, что **ССК** имеют фиксированные адреса в памяти 80000000 - 8000001C,g, и в процессе обмена данные не пересылаются между областями памяти, а передаются по линии связи в стартстопном режиме с квитированием байтов.

При выполнении ввода-вывода от центрального процессора требуется лишь инициализация обмена. По команде ввода-вывода вся требуемая информация об операции обмена - адрес и длина данных - помещается во внутренние регистры линка, после чего центральный процессор освобождается для дальнейших вычислений, а линк транспьютера самостоятельно управляет обменом данными.

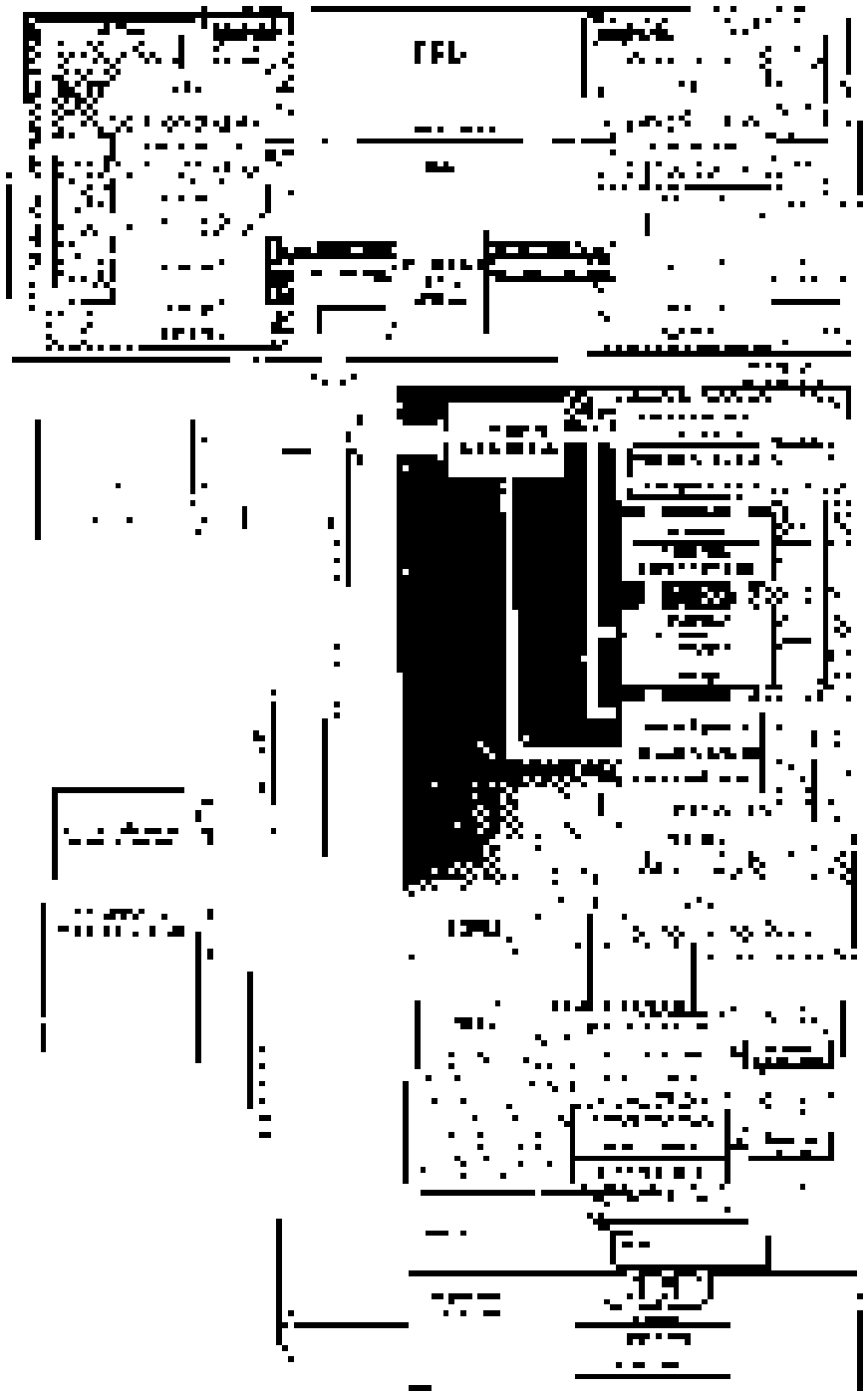


РИС. 77. ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ТРАНСПЬЮТЕРА

Передача данных по линку

Все семейства транспьютеров Т-2 (Т-212, Т-222, Т-225), Т-4 (Т-414, Т-400, Т-425), Т-8 (Т-800, Т-801. Т-805) используют один и тот же протокол передачи данных по линкам. Взаимодействие между транспьютерами осуществляется посредством обмена сообщениями, состоящими из последовательности байтов. Данные передаются по одному проводу из пары проводов. По другому проводу пары передаются подтверждения приема каждого байта.

Байт передается в обрамлении служебных битов, начиная со стартового бита, далее следует управляющий бит, а затем 8 информационных битов и столовый бит. Таким образом, на 8 информационных битов приходится 3 управляющих,

поддерживающих протокол передачи. На рис. 78. показан пример передачи по линку.

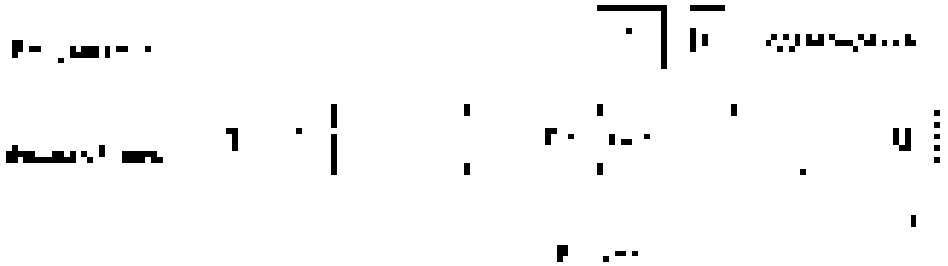


РИС. 78. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ЛИНКУ ТРАНСПЬЮТЕРА

После передачи байта отправитель ждет подтверждения, которое состоит из стартового и управляющего бита. Причем если при передаче информационного байта управляющий бит равен 1, то в подтверждении он равен 0. При этом байты данных и подтверждения для переданных в противоположном направлении байтов данных передаются по одному проводнику. Подтверждения имеют приоритет перед байтами данных. Можно установить режим, при котором подтверждения начинают передаваться сразу после получения стартового и управляющего битов, что приводит к передаче байтов без задержки между ними.

Если один из обменивающихся через линк процессов не готов к приему данных, байты накапливаются в регистре данных линка. При заполнении регистра подтверждение после получения очередного байта не выдается, и передающий линк приостанавливает передачу до приема данных процессом и освобождения регистра линка.

При инициации передачи первого байта сообщения существует задержка на настройку каналов прямого доступа в передающем и приемном транспьютерах, что обусловливает разную скорость при передаче коротких (от единиц до нескольких десятков байтов) и длинных (несколько тысяч байтов) сообщений. В первом случае скорость составляет 2-4 Мбит/с, во втором - максимально возможную 10-20 Мбит/с, в зависимости от настройки передающего и принимающего транспьютеров.

Передача по линку асинхронна, приемный транспьютер не чувствителен к фазе принимаемых сигналов. Единственное, что требуется - точный кварцевый генератор 5 МГц для задания тактовых сигналов транспьютеров.

Блок режимов работы линков позволяет задавать скорость передачи по линкам транспьютера (5, 10, 20 Мбит/с), причем для нулевого линка скорость устанавливается независимо от остальных. Установка осуществляется подачей соответствующих уровней на входы LinkSpecial, LinkOSpecial, Linkl23Special.

Обмены по линку программируются раздельно в передающем и принимающем транспьютерах. В передающем транспьютере программируется команда передачи по линку заданного числа байтов. В принимающем транспьютере программируется команда приема из линка задаваемого числа байтов. Реализация обмена происходит, если программы в передающем и принимающем транспьютерах выходят на команды передачи и приема. Если один транспью-

тер вышел на соответствующую команду, то он ждет, пока другой выйдет на свою команду обмена. Неправильно запрограммированный обмен ведет к бесконечному ожиданию. Кроме того, бесконечное ожидание возможно, если заданы разные значения количества передаваемых и принимаемых байтов.

Ожидание сигнала от блока событий

Блок событий (Event) выполняет преобразование внешних логических уровней на входе блока в байтовое сообщение со значением 0 или 1, передаваемое по внутреннему каналу. Поэтому программно блок Event воспринимается как специальный канал, отличием которого от обычного канала является то, что из этого канала можно только "читать". ССК для блока Event имеет фиксированный адрес 80000020 Ожидать ввода из канала Event может одновременно только один процесс в транспьютере.

Обычно Event используется для регистрации внешних прерывании в транспьютерной системе. Сигнал прерывания подается на вход транспьютера EventReq. Подтверждение приема сигнала прерывания (чтение из канала Event) выдается в виде уровня 1 по линии EventAck.

Ожидание сигнала от таймера

Программно таймер воспринимается как канал только для чтения, выдающий либо содержимое регистра таймера с соответствующим приоритетом, либо сигнал наступления ожидаемого момента времени.

Все процессы, ожидающие наступления некоторого момента времени (истечения временного интервала) помещаются в очередь к таймеру, соответствующему их приоритету. Очередь процессов отсортирована в порядке наступления ожидаемого момента времени и организована с помощью ссылок между служебными словами в рабочей области процессов. Адрес первого процесса в очереди соответствующего приоритета содержится в служебных словах транспьютера (TPtrLocO, TPtrLocI), в младших адресах памяти. При достижении ожидаемого момента времени диспетчеру передается дескриптор соответствующего процесса для его перевода в конец очереди активных процессов.

Инициализация системы после включения питания

Транспьютер и его ОЗУ построены по КМОП-технологии и не сохраняют своего состояния после отключения питания. Поэтому после включения питания для начала функционирования в транспьютер необходимо загрузить некоторый минимум программного обеспечения. Транспьютер может быть загружен как из внешнего ПЗУ, так и из любого линка. Для указания режима начальной загрузки используется вывод BootFromROM. Если уровень BootFromROM равен 1, то управление передается по адресу FFFFFFFE, по которому обычно содержится команда безусловного перехода на программу начальной загрузки.

Если BootFromROM равен 0, то производится загрузка из линка. После включения питания транспьютер переходит в состояние ожидания приема данных по линкам. Первый байт, принятый по любому из линков, управляет

дальнейшим режимом работы транспьютера. Если его значение больше 1, то он интерпретируется как длина кода программы, принимаемой следом за ним. Принимаемые данные записываются в память транспьютера начиная с адреса MemStart, с него же и начинается выполнение программы. Как правило, первой загружается программа начальной загрузки транспьютера, которая обеспечивает загрузку остального программного обеспечения.

Если первый принятый управляющий байт равен 0 или 1, то транспьютер переходит в режим управления памятью.

Управляющий байт, равный 0, заставляет транспьютер интерпретировать следующие 4 байта как адрес памяти, по которому в память будет записано слово, поступившее как следующие 4 байта. После этого транспьютер снова переходит в режим управления памятью, из которого его может вывести лишь прием управляющего байта со значением, большим 1.

Если управляющий байт равен 1, следующие 4 байта задают адрес слова памяти, которое будет считано и передано как 4 байта по тому же линку, из которого поступили в противоположном направлении предыдущие 4 байта. После этого транспьютер остается в режиме управления памятью.

Режим управления памятью используется обычно для целей отладки.

Управление системой

Появление уровня 1 на входе Analyze переводит транспьютер, работающий по программе, в режим управления памятью. Как уже было сказано выше, в этом режиме может быть считано и изменено состояние памяти транспьютера.

Обработка ошибок

Программные ошибки, такие как арифметическое переполнение, деление на 0, выход за границы массива, вызывают установку в транспьютере флага error и появление сигнала на выходе Error. Флаг режима обработки ошибок транспьютера - HaltOnError - позволяет определять поведение транспьютера в случае ошибки (установки флага error): если был задан режим остановки (HaltOnError 1), то в случае возникновения ошибки устанавливается еденица на выходе Error и транспьютер останавливается; если была выполнена установка HaltOnError=0, то в случае ошибки устанавливается в еденицу флаг error, однако транспьютер продолжает работать.

В мультипроцессорных системах выводы Analyze, Reset, Error, Errorin всех транспьютеров обычно соединены согласно схеме, представленной на рис. 79. При такой схеме соединения появление сигнала Error на выводе любого транспьютера переводит всю систему в режим управления памятью. Соответствующие программы в хост-машине позволят определить состояние системы и пути преодоления ошибочной ситуации.

РИС. 79. СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ЛИНИЙ СИСТЕМНОГО СЕРВИСА В МУЛЬТИТРАНСПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Лекция 13.

Транспьютер Т9000

Архитектурные и структурные особенности

На момент своего появления транспьютеры семейства Т-8 были самыми быстродействующими 32-разрядными микропроцессорами. Попытка фирмы Inmos сохранить лидерство перед американскими производителями микропроцессоров воплотилась в разработку транспьютера Т9000. Его основные технические характеристики:

- производительность - 200 MIPS, 25 MFLOPS;
- объем внутрикристальной памяти - 16 Кбайт;
- число коммуникационных каналов - 4;
- скорость обмена по линку - 100 Мбит/с.

Основными особенностями архитектуры данного транспьютера являются аппаратная поддержка механизма виртуальных каналов и аппаратный группировщик команд, повышающий загрузку параллельно функционирующих устройств процессора.

Однако фирма Inmos не смогла выдержать обещанные сроки поставки Т-9000, а также достичь объявленной производительности. Поэтому, хотя образцы Т-9000, работающие на пониженной, по сравнению с объявленной, тактовой частоте были выпущены, коммерческого успеха они не имели.

Виртуальные линки

Механизм виртуальных линков позволяет вести по одному физическому линку обмен между произвольным числом пар процессов, протекающих в разных транспьютерах.

Управляет обменом встроенный в Т-9000 процессор виртуального канала (VCP). Сообщение, передаваемое от процесса-отправителя к процессу-получателю, VCP делит на пакеты, каждый из которых содержит 32 байта данных (последний пакет - от 1 до 32 байт), заголовок пакета и концевик (дам последнего пакета - признак конца сообщения, для остальных - признак конца

пакета). При получении пакета, VCP в принимающем транспьютере передает подтверждение в виде пустого пакета содержащего только заголовок и признак конца пакета. VCP, используя информацию, содержащуюся в заголовке пакета, осуществляет маршрутизацию пакетов и сшивку сообщения. Таким образом, обмен данными для процессов выглядит так же, как и в случае транспьютеров прежних поколений, что способствует преемственности программного обеспечения.

"Прозрачность" для процессов маршрутизации сообщений в сети транспьютеров T9000 полностью устраняет различие между обменом в рамках одного транспьютера и обменом в транспьютерной сети. Этот свойство существенно упрощает разработку программы для мультитранспьютерной системы и повышает ее эффективность, поскольку не требуется дополнительных расходов на организацию маршрутизации и коммутации.

В целях увеличения числа физических связей транспьютера T9000 разработан программируемый коммутатор C 104, осуществляющий передачу сообщения с любого из 32 входов на любой из 32 выходов в соответствии с их заголовком.

Для возможности использования в системе T9000 совместно с транспьютерами предшествующих поколений разработана микросхема C 100, выполняющая согласование электрических характеристик и преобразование формата передаваемых по линкам данных.

Группировщик команд

В T-9000 полностью сохранена система команд предыдущих поколений транспьютеров. Увеличение производительности достигается за счет одновременного исполнения группы, в которую входит до 8 команд.

В T-9000 реализован аппаратный группировщик команд. Образование групп команд преследует цель достижения высокой загрузки устройств процессора.

Процессор за один такт извлекает из памяти 4 команды. В силу того, что некоторые команды требуют для исполнения более чем 1 такт, в процессоре может быть накоплено количество команд, достаточное для формирования 5 групп по 8 команд каждая, что соответствует полной загрузке устройств процессора.

Транспьютероподобные микропроцессоры серии "Квант"

Примером отечественной разработки транспьютероподобных процессоров являются микропроцессоры серии "Квант". Это семейство 32-разрядных микропроцессоров с оригинальной архитектурой, сочетающей RISC-подход с методикой длинного командного слова. Семейство характеризуется высокой степенью внутреннего параллелизма процессов обработки, конвейерным выполнением команд, Гарвардской архитектурой памяти, наличием последовательных коммуникационных каналов -линков. Были выпущены две модификации микропроцессора:

- "Квант-10" по технологии 2,5 мкм на трех полузаказных матричных

кристаллах 1537 ХМ2, спроектированных в НИИ "Квант" и изготовленных в НИИ точной технологии, г. Зеленоград;

• "Квант-20" по технологии 1,5 мкм на одном кристалле типа U1700 фирмы ZMD (ФРГ, Дрезден), спроектированном в НИИ "Квант" и изготовленном фирмой ZMD. Структура микропроцессора показана на рис. 80. Микропроцессор работает с внешними раздельными кэш-памятями команд и данных и может использовать сопроцессор. Память данных микропроцессора содержит только данные, тогда как память команд может содержать как команды, так и данные (такая архитектура памяти получила название модифицированной Гарвардской).

Устройство управления

Процессор выбирает из памяти команд 32-разрялные команды и помещает их сначала в первый, а затем во второй регистры команд, далее декодирует команды и формирует управляющие сигналы для всех функциональных блоков процессора. Блок управления прерываниями обеспечивает приоритетную схему обработки 10 типов внешних и внутренних прерываний. Блок ПДП прямого доступа в память позволяет выполнять вычисления одновременно с обменом данными по 4 коммуникационным каналам. Блок защиты данных предназначен для защиты фрагментов памятей команд и данных, выделяемых под операционную систему.

Рис. 80. Структура микропроцессора "Квант"

Адресное устройство

В процессоре реализована концепция разнесенной" (decoupled) архитектуры, в соответствии с которой все вычисления адресов выполняются отдельным адресным устройством, что предоставляет возможность одновременной обработки данных в арифметическом устройстве и вычисления адресов в адресном устройстве.

Адресное устройство содержит в программном счетчике адрес следующей команды, поддерживает в памяти стек адресов возврата из подпрограмм (обработчиков прерываний), выполняет все вычисления адреса в 16-разрядном адресном сумматоре. Файл адресных регистров (АР) содержит 8 16-разрядных АР для МП "Квант-10" и 4 16-разрядных АР для МП "Квант-20".

Арифметическое устройство

Арифметический блок способен выполнять 16 логических и 14 арифметических операции, в том числе байтовые, пошаговое умножение 32-

разрядного множимого на два разряда множителя. Логический блок может выполнять логические операции параллельно с арифметическими. Все операции выполняются над 32- разрядными операндами за один такт.

Универсальный сдвигатель способен выполнять за один такт логический, арифметический или циклический сдвиг 32-разрядного слова влево или вправо на 0 - 31 разряд, а также осуществлять циклические сдвиги внутри байтов, тетрад, пар. Схема маскирования арифметического устройства позволяет маскировать результаты любой операции содержимым одного из регистров общего назначения. Файл регистров общего назначения (РОН) используется для хранения операндов, результатов, масок, адресов данных. В регистр флагов заносятся признаки по результатам выполнения операций в арифметическом устройстве.

Системное устройство

Системное устройство обеспечивает связь с 4 аналогичными процессорами по независимым каналам. Обмен осуществляется побитно блоками слов. В начале каждого блока задается количество передаваемых слов и адрес в памяти, в который будет записываться сообщение. В процессе передачи осуществляется контроль по четности для каждого передаваемого байта данных. В случае ошибки при передаче вырабатывается соответствующее прерывание.

Регистр зашиты памяти позволяет запрещать запись в любой блок памяти длиной 4 Кслов.

Конвейер процессора

В процессоре реализован трехстадийный конвейер выполнения команд. На первой стадии осуществляется выборка команды из памяти команд, на второй стадии производится формирование адреса данных для последующего обращения в память и модификация регистров адреса, на третьей стадии выполняются ввод-вывод данных из памяти по предварительно вычисленному адресу и операции арифметики. Действия на каждом этапе выполняются за один такт, что позволяет при обеспечении высокой степени загруженности конвейера выполнять команды в среднем за один такт.

Система команд

Команды процессора подразделяются на простые и комплексные. Первые выполняют одно действие, тогда как вторые задают трехадресную арифметическую операцию над данными в регистрах одновременно с операцией обмена данными с памятью и (или) модификацией адресных регистров.

При обращении к памяти используются следующие виды адресации:

базовая по содержимому АР, базовая по содержимому РОНа, автоинкрементная или автодекрементная адресация по любому АР, базово-индексная адресация по двум АР. В МП "Квант-20" добавлена базово-индексная адресация с 8-разрядным смещением, задаваемым в поле команды.

Для упрощения устройства управления и обеспечения большей гибкости в программах в микропроцессоре реализована следующая схема выполнения

условных и безусловных переходов. В случае условного перехода специальная команда проверяет соответствие флага признаков результата арифметической операции одному из 16 возможных условий перехода. Если имеет место соответствие, то следующая команда не выполняется, а как бы подменяется пустой операцией (NOP). Причем проверка условия осуществляется на фоне выполнения арифметических операций.

Чтобы не нарушить работу конвейера (избежать пропуска конвейерных циклов), безусловный переход выполняется но принципу "отложенного перехода". В конвейере сначала отрабатывается команда следующая за командой перехода, а затем выполняется переход, Так же выполняется и обращение к подпрограммам.

Конвейеризация внутренних процессов в осуществляется во времени выполнения операций в различных функциональных устройствах микропроцессора позволяют выполнять до четырех команд за один такт.

Производительность микропроцессора.

Гибкая система команд микропроцессор способствует его эффективному применению как на задачах счётного характера, так и на задачах логической и символьной обработки. Коммуникационные возможности процессора позволяют строить на его базе масштабируемые системы с MPP-архитектурой.

Уникальная архитектура процессора серии "Квант" позволила обеспечить лучшее значение производительности по сравнению с транспьютерами фирмы Inmos. Производительность микропроцессора "Квант-10" с тактовой частотой 4 МГц соответствует производительности транспьютера Т-800 с частотой 20 МГц. Производительность микропроцессоров "Квант-10" и "Квант-20" может быть оценена как 12-15 Моп/с и 25-30 Моп/с.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____С.А. Упоров

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания по дисциплине

Б1.В.09.09 ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Специальность -

21.05.04 Горное дело

Специализация -

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Автор: Зубов В.В., к.т.н., Адас В.Е.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 08.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

Самостоятельная работа студентов — это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того, самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как вне, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса: *для овладения знаниями:*

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- *просмотр обучающих видеозаписей. для закрепления и систематизации знаний:*
- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам. *для формирования навыков и умений:*
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- *просмотр обучающих видеозаписей. для закрепления и систематизации знаний:*
- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам. *для формирования навыков и умений:*
- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям: *для овладения знаниями:*

- изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
- изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами. *для закрепления и систематизации знаний:*
- составление плана проведения эксперимента;
- составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
- аналитическая обработка результатов экспериментов. *для формирования навыков и умений:*
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами. *для закрепления и систематизации знаний:*
- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки. *для формирования навыков и умений:*
- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией — это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя: *для овладения знаниями:*

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них. *для формирования навыков и умений:*

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту): *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест — это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов, выбрать правильные (их может быть несколько), на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам.

В процессе выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практик ориентированные задания.

Теоретический вопрос - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность

одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание - средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практикоориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.09.10 ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Специальность -
21.05.04 Горное дело
Специализация -
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрены на заседании кафедры		Рассмотрен методической комиссией факультета
Информатики		Горно-механического
(название кафедры)		*(название факультета)*
Зав. кафедрой	Председатель	Председатель
(подпись)		*(подпись)*
Дружинин А.В.		Осипов П.А..
(Фамилия И.О.)		*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 26.09.2023		Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)		*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. АБСТРАКТНЫЕ ТИПЫ ДАННЫХ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ 6

2.ПРИМЕРЫ АБСТРАКТНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ 9

3. ОБЗОР СРЕДСТВ ОПИСАНИЯ КЛАССОВ 11

3.1. Классы и члены 11

3.2. Конструктор и деструктор 12

3.3. Встроенные (inline) функции 14

3.4. Класс vector 17

3.5. Перегрузка операторов 19

3.6. Указатель this 21

3.7.Дружественные функции-операции 22

3.8. Класс очередь que. Шаблон класса 22

3.9. Наследование. Производные классы 24

4. ОБРАБОТКА ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ 27

4.1. Необходимость обработки исключений 27

4.2. Общие принципы обработки исключительных ситуаций в C++ 29

4.3. Возбуждение ситуации 30

4.4. Обработка исключений 32

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕРОВ 34

5.1. Класс полином 34

5.2. Класс таблица 36

6. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ 39

ЛИТЕРАТУРА 41

ВВЕДЕНИЕ

Язык С++ предоставляет гибкие и эффективные средства определения новых типов. Используя определения новых типов, отвечающих понятиям проблемной области (приложениям), программист может разбивать разрабатываемую программу на части, легко поддающиеся контролю.

Новый тип создается пользователем для определения понятия, которому среди встроенных типов нет соответствия. Гораздо легче понять программу, в которой создаются типы, отвечающие понятиям проблемной области. Хорошо определенные типы делают программу ясной и короткой. Кроме того, компилятор может обнаружить недопустимое использование данных.

Такой метод построения программ называют абстракцией данных. Информация о типах содержится в объектах, тип которых определяется пользователем. Программирование с применением объектов называют объектно-ориентированным [1,2].

Язык С++ является языком объектно-ориентированного программирования (ООП). Автор языка создавал его с целью поддержки абстракции данных и объектно-ориентированного программирования. Родоначальниками языков такого типа являются языки Smalltalk и Simula 67.

Объектно-ориентированный язык – это язык программирования, на котором программа задается описанием поведения совокупности взаимосвязанных объектов. Объектно-ориентированное программирование имеет дело с объектами.

Объектно-ориентированные языки включают следующие основные черты: инкапсуляция данных, полиморфизм, наследование.

Объекты могут включать закрытые (private) данные и правила их обработки, доступные только объекту, защищенные (protected), доступные объекту и его наследникам, а также общие (public) данные и правила, которые доступны объектам и модулям в других частях программы. Важной чертой ООП является наследование, то есть возможность создавать иерархическую последовательность объектов от более общих к более специфическим объектам.

Методические указания содержат четыре основных раздела.

В первом разделе обсуждается взаимосвязь абстрактных типов данных и объектно-ориентированного программирования.

Во втором разделе приводится список примеров, в которых вводится понятие, являющееся абстракцией.

В третьем разделе дается краткий обзор средств языка C++, необходимых для реализации абстрактного понятия, причем вводимые средства показываются на конкретных примерах. Для определения нового (пользовательского) типа вводится понятие класс. С понятием класс непосредственно связаны понятия конструктор и деструктор. В этом же разделе рассматриваются простейшие средства для реализации производных классов.

Четвертый раздел посвящен обработке исключительных ситуаций, возникающих в процессе работы программ.

Пятый раздел представляет собой реализацию конкретных абстрактных понятий, а именно, реализацию полинома и таблицы.

В шестом разделе представлены задания для практических занятий.

1. АБСТРАКТНЫЕ ТИПЫ ДАННЫХ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

В языках высокого уровня можно выделить следующие категории средств определения данных:

– встроенные типы данных (integer, real, character, boolean);

– средства структурирования составных объектов (array, record, union);

– средства определения новых типов данных – это абстракция данных;

– средства отображения иерархии типов данных.

Понятие абстрактного типа [1] пришло в программирование из математики. Абстрактный объект – это то, что является предметом математического рассуждения, состоящего из определений, допущений (или постулатов) и утверждений, выводимых из определений и допущений по общепонятным правилам логического вывода (например, хорошо знакомые математикам: множества, функции, последовательности и рекурсивные структуры).

Организация данных в языках программирования базируется на понятии *типа*. К особенностям понятия типа следует отнести следующие:

1) тип определяет класс значений, которые могут принимать переменная или выражение;

2) каждое значение принадлежит одному и только одному типу;

3) тип значения константы, переменной или выражения можно вывести либо из контекста, либо из вида самого операнда, не обращаясь к значениям, вычисляемым во время работы программы;

4) каждой операции соответствует некоторый фиксированный тип ее операндов и некоторый фиксированный тип результата;

5) для каждого типа свойства значений и элементарных операций над значениями задаются с помощью аксиом;

6) при работе с языком высокого уровня знание типа позволяет обнаруживать в программе бессмысленные конструкции и решать вопрос о методе представления данных и преобразования их в вычислительной машине.

Абстракция – это инструмент познавательной деятельности человека, позволяющий лучше отразить суть дела и приводящий к абстрактным понятиям. Поэтому имеет смысл говорить о средствах абстракции в языках программирования, которые сами являются средством понимания и построения алгоритмов и обмена мыслями и результатами между программистами.

Абстрактный тип данных в языках программирования – это определение некоторого понятия в виде класса объектов с некоторыми свойствами и операциями. Такое определение оформляется как специальная синтаксическая конструкция, которая называется *классом* в языке C++.

В определение абстрактного типа данных входят следующие четыре части.

1) Внешность, содержащая имя определяемого типа (понятия), имена операций с указанием типов их аргументов и значений.

2) Абстрактное описание операций и объектов, с которыми они работают, средствами некоторого языка спецификаций.

3) Конкретное описание операций и объектов средствами языка программирования.

4) Описание связи между (2) и (3), объясняющее, в каком смысле часть (3) корректно представляет часть (2).

Внешность – это видимая часть определения, его интерфейс. Отметим, что спецификация определяет то, что важно для пользователя. А для пользо-

вателя существенным является «поведение», то есть «то, что делается», а несущественным – «то, как это делается» [1].

Главное достоинство абстракции через спецификацию состоит в несущественности способа реализации, что позволяет изменять реализацию без внесения изменений в программу.

Основные особенности средства абстракции данных:

1) инкапсуляция описания и представления объектов определяемого типа и описания операций над объектами;

2) защита инкапсулированной информации, так что детали представления не доступны вне определения абстрактного типа.

Средства абстракции данных в языке C++ включают классы, механизм управления доступом, конструкторы и деструкторы, совместное использование операций (перегрузка операций), преобразование типов, полиморфизм, обработку исключительных ситуаций.

Средства отображения иерархии классов непосредственно связаны с объектно-ориентированным программированием, для поддержки которого в языке C++ введены производные классы и виртуальные функции.

2.ПРИМЕРЫ АБСТРАКТНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ

Спецификация абстрактных типов данных может быть выполнена на специальном формализованном языке [1]. Приведем примеры абстрактных типов данных, используя неформальный язык.

Пример 1. Опишем понятие стек (stack). Стек представляет собой последовательность элементов некоторого типа, которая характеризуется свойством: "последний вошел – первый вышел" (Last In - First Out) и над которой выполняются следующие операции:

– создать стек;

– положить в стек;

– проверить, пуст ли стек;

– проверить, переполнен ли стек;

– взять элемент, находящийся в вершине стека, удаляя его из стека;

– показать элемент, находящийся в вершине стека, т.е. взять элемент, находящийся в вершине стека, не удаляя его из стека.

Пример 2. Опишем понятие очередь (Query). Очередь представляет собой последовательность элементов некоторого типа, которая характеризуется свойством: "первый вошел – первый вышел" (First In - First Out) и над которой выполняются следующие операции:

– создать очередь;

– послать в очередь;

– проверить, пуста ли очередь;

– проверить, переполнена ли очередь;

– взять элемент.

Пример 3. Опишем понятие вектор (vector). Вектор представляет собой последовательность из n элементов со следующими операциями:

– создать вектор с заданным количеством элементов;

– добавить вектор;

– вычесть вектор;

– присвоить вектор вектору;

– показать вектор.

Пример 4. Опишем понятие полином (polynom). Полином – это алгебраическое выражение вида

$$y = a_0 \cdot x^n + a_1 \cdot x^{n-1} + \ldots + a_{n-1} \cdot x + a_n$$

Это значит, что полином определяется степенью n и последовательностью из n+1 коэффициентов. Над полиномом предусматриваются следующие операции:

– создать полином по заданной степени и коэффициентам;

– прибавить заданный полином;

– вычесть заданный полином;

– взять наибольшую степень полинома;

– взять коэффициент полинома при заданной степени;

– вычислить полином по заданному значению аргумента;

– выдать полином.

Пример 5. Опишем понятие таблицы. Таблица – это последовательность элементов заданной структуры со следующими операциями:

– создать таблицу с заданным количеством элементов;

– выбрать элементы таблицы по условию;

– сортировать таблицу по различным полям;

– показать таблицу.

3. ОБЗОР СРЕДСТВ ОПИСАНИЯ КЛАССОВ

В определении нового типа главное – отделить внешность, которая существенна для его правильного использования, от конкретной реализации, связанной с форматом данных для хранения объекта типа и операций над объектом. Доступ к таким типам ограничен заданным множеством операций (функциями доступа).

Средством определения нового типа в C++ является понятие класса.

3.1. Классы и члены

Класс – это определяемый пользователем тип. Класс специфицирует данные, необходимые для представления объекта этого типа, и множество операций для работы с объектами.

Определение класса имеет две части: закрытую часть (private), содержащую информацию для разработчика, и открытую часть (public), являющуюся интерфейсом для пользователя.

Доступ к объектам класса ограничивается множеством функций, которые описываются в интерфейсной части класса. Такие функции называются *функциями – членами***.** Пользователь может обращаться только к этим функциям.

Опишем тип стек (stack) (пример 1 в разделе 2). Стек будем располагать в динамической памяти. Поэтому элемент стека – это структура, состоящая из информационной части и ссылки на следующий элемент.

```
class  STACK
{  private:
        struct sp
```

```
            {  int inf;
               struct sp *next;
            };
     sp *s;
    public:
CREATE();           //  создать стек
int top();          //  показать элемент
push(int x);        //  добавить элемент
int  pop();         //  взять элемент
int empty();        //  проверить, пуст ли стек
int full();         //  проверить, переполнен  ли стек
};
```

Для того чтобы пользоваться объектом стек, его нужно описать:

```
STACK  st;
```

Объект st создаётся и инициализируется функцией-членом CREATE(), специально описанной для этой цели. При этом пользователь должен не забыть вызвать функцию CREATE():

```
st.CREATE();
```

Но в языке C++ есть более удобный подход, а именно, определяется специальная функция, предназначенная для инициализации объекта. Эта функции называется *конструктором*.

3.2. Конструктор и деструктор

Конструктор – это предписание, как создавать значение данного типа. Конструктор распознается по тому, что имеет то же имя, что и сам класс. Поэтому в примере роль операции создать стек CREATE() выполняет специальная функция STACK(). Функция вызывается автоматически при объявлении объекта типа STACK.

Определяемый пользователем тип всегда имеет конструктор, так как необходимы выделение памяти и инициализация объектов.

Для обеспечения уничтожения объектов используется специальная функция класса, называемая *деструктором*. Когда закончена работа с объектом, автоматически вызывается деструктор.

Деструктор имеет такое же имя, как и класс, только перед ним ставится знак тильды (~).

Для класса STACK деструктором является ~STACK() .

Опишем объект стек с использованием конструктора и деструктора, а также выполним реализацию функций-членов.

Вариант 1.

```
class  STACK
{  private:
     struct sp
        {   int inf;
            struct sp *next;
        };
     sp *s;
    public:
       STACK()  { s=0;}
      ~ STACK()
        { while (s!=0) delete s;}
       int top()
        { return s->inf;
        }

       push(int x)
        { sp *p;
          p=new sp;  p->inf=x; p->next=s;
          s=p;
         }

       int  pop()
       { sp *p;   p=s;
         int r=p->inf; s=p->next;
         delete p;
         return r;
       }
      int empty()
```

```
        { return s==0;
        }
       int full()
        {  sp *p;
           p=new sp;
           if (p!=0)
              {  delete p; return 1; }
             else return 0;
        }
};
```

3.3. Встроенные (inline) функции

Функции-члены, реализованные в классе, являются встроенными (inline). Это значит, что после компиляции в объектном коде программы пользователя вместо вызовов функций-членов будут подставлены уже преобразованные тела функций, т.е. произойдёт макроподстановка. Другими словами нет затрат на вызов функции.

Удобно реализацию функций-членов выполнять вне класса. Но в этом случае описатель inline должен быть указан явно. Следует отметить, что описатель inline эффективно использовать для коротких операций (таких, как в нашем случае со стеком).

Для того чтобы вне класса был доступ к членам класса, используется операция :: разрешения области видимости. Операнд в левой части операции :: должен быть именем класса.

Вариант 2.

```
class  STACK
{  private:
     struct sp
       { int inf;
         struct sp *next;
       };
     sp *s;
```

```
    public:
  STACK()  { s=0;}
  ~STACK()
    { if (s!=0) delete s;}
  int top();
  push(int x);
  int  pop();
  int empty();
  int full();
};

inline int STACK :: top()
 { return s->inf;
 }

STACK :: push(int x)
 { sp *p;
   p=new sp;  p->inf=x; p->next=s;
   s=p;
 }

inline int STACK :: pop()
{ sp *p;
  p=s;
  int r=p->inf;s=p->next;
  delete p;
  return r;
}

inline int STACK :: empty()
{ return s == 0;
};

inline int STACK :: full()
 {  sp *p;
    p=new sp;
    if (p!=0)
       {  delete p; return 1; }
    else return 0;
  };
```

Конструктор и деструктор тоже можно определять вне класса.

Следует отметить, что конструктор не может иметь тип возвращаемого значения. Нельзя вызывать функцию–конструктор в явном виде.

Приведем программу, в которой используется класс стек для решения следующей задачи: проверить правильность расстановки круглых скобок в арифметическом выражении.

Алгоритм анализа скобок заключается в следующем:

– если встретилась левая скобка, то она заносится в стек;

– если встретилась правая скобка, то она выталкивает из стека левую скобку в случае, если стек оказался не пуст, иначе устанавливается ошибочная ситуация;

– если по окончании просмотра арифметического выражения стек пуст, то проверка прошла успешно, иначе устанавливается ошибочная ситуация.

Будем предполагать, что класс STACK находится в заголовочном файле stack.h. Описание этого класса соответствует варианту 1 или варианту 2 с той лишь разницей, что информация в стеке будет символьного типа.

Программа:

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <iostream.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include “stack.h”
void main()
{ STACK  a;
 char x;
 int n, i, B;
 char *s;
 cout << "\n vvod  str";
 cin >> s;
 n=strlen(s);
 i=0;  B=1;
while (B && (i<n))
```

```
    {  if (s[i]=='(')  a.push(s[i]);
       if (s[i]==')')
            if (a.empty()) B=0; else x=a.pop();
       i++;
    }
 if  ((B) && (i=n) && (a.empty()) )   cout <<"\n yes";
   else cout <<"\n no";
  getch();
}
```

3.4. Класс vector

Конструктор аналогично другим функциям может иметь параметры. Кроме того, класс может иметь несколько конструкторов.

Рассмотрим класс vector с точки зрения использования различных конструкторов.

Когда объект создается, бывает необходимо присваивать элементам объекта конкретные значения. Это достигается передачей значений в качестве параметров. В классе STACK использовался конструктор без параметра. Конструктор без параметра называется конструктором по умолчанию, конструктор с параметром называется конструктором инициализации. Конструктор с параметром, который имеет тип класса называется копирующим конструктором (*copy–конструктор*). В классе vector используются конструкторы с одним параметром, двумя параметрами и *copy– конструктор*.

```
class vector
  { private:
      int *v;   int s;
    public:
      vector(int s1)
        { s=s1;   v=new int[s];  }
      vector(int _n,int *n);
       vector(const vector &y);
```

```
      ~vector()
          { delete  [ ]v; };
      void   vv_vect();
      void show();
   };

vector::vector(int s1,int *n)
{ s=s1;
  v=new  int[s];
  for(int i=0;i<s;i++)
       v[i]=n[i];
};

vector::vector(const vector &y)
{ s=y.s;
  v=new  int[s];
  for(int i=0;i<s;i++)
   v[i]=y.v[i];
}

void vector::vv_vect()
{ cout<<"\nVvod vectora\n";
  for (int i=0;i<s;i++)
      cin>>v[i];
  cout<<"\nVector vveden\n";
};

void vector::show()
{  for (int i=0;i<s;i++)
          cout<<v[i]<<" ";
};
```

Приведём примеры описания объекта класса vector.

Описание: vector a(n);

К моменту этого описания значение n должно быть определено. Автоматически будет вызван конструктор

vector(int s1);

и вектору a будет выделена память для n значений целого типа.

Описание: vector d(m,y);

Автоматически будет вызван конструктор

vector(int s1,int *n)

и в этом случае вектору d будет выделена память для m значений целого типа и скопированы n значений из области y.

Описание: vector c(a);

Автоматически будет вызван *copy–конструктор*

vector(vector &y)

и элементам вектора c будут присвоены значения элементов вектора a.

Приведем фрагменты использования класса vector.

```
int n,m;
int y[]={6,3,6,5,9};
cout <<"\n  введите  n,m " <<"  ";
cin >> n >> m;
vector  a(n);
a.vv_vect();
a.show();


vector d(m,y);
d.show();
vector c(a);
a.show();
```

3.5. Перегрузка операторов

Определим в классе vector операторы (операции): добавление вектора (символ +), вычитание вектора (символ -) и присваивание вектора (символ =).

```
class vector
    { private:
        int *v;int s;
      public:
```

```
        vector(int s1)
          { s=s1;   v=new int[s];
          }
        vector(int _n,int *n);
        vector( vector &y);
        ~vector()
          { delete []v; };
        void vv_vect();
        void show();
        vector operator+(vector n);
        vector operator-(vector n);
        vector operator=(vector n);

   };
```

Вне класса определим реализацию введённых операторов.

```
vector vector::operator+(vector n)
{
  vector t(s);
  for (int i=0;i<s;i++) t.v[i]=v[i]+n.v[i];
  return t;
};



vector vector::operator-(vector n)
{
  vector t(s);
  for (int i=0;i<s;i++) t.v[i]=v[i]-n.v[i];
  return t;
};

vector vector::operator=(vector n)
{
  if (n.s<s)  s=n.s;
  for (int i=0;i<s;i++) v[i]=n.v[i];
  return *this;
};
```

Приведём фрагмент программы, использующий описанные операторы.

```
a=a-d;
cout<<"\n vect a=a-d  "<<" " ;  a.show();
a=a+d;
cout<<"\n vect a=a+d  "<<" " ;  a.show();
```

Возможно, что для объекта vector естественней было бы использовать вызовы функций, а именно, для операции вычесть a.minus(d), добавить a.add(d).

3.6. Указатель this

Каждой функции–члену передается указатель на объект, для которого она вызвана. Таким указателем является служебное слово this. Доступ к объекту внутри функции – члена производится с помощью этого указателя this.

Служебное слово this используется при перегрузке операций.

Операции сложения и вычитания реализуем, используя указатель this:

```
vector vector :: operator+(vector n)
{ if (n.s<s)  s=n.s;
  for (int i=0;i<s;i++) v[i]= v[i]+n.v[i];
  return *this;
};
vector vector :: operator-(vector n)
{
 if (n.s<s)  s=n.s;
 for (int i=0;i<s;i++) v[i]=v[i]-n.v[i];
 return *this;
};
```

3.7.Дружественные функции-операции

Функции–операции могут быть членами класса или дружественными функциями класса. При объявлении дружественной функции должны передаваться два параметра для бинарных операций и один для унарных операций. Дружественными функциями не могут перегружаться операции присваивания =, индексирования [ ], а также () и –>.

Рассмотрим перегрузку операции сложения + для класса vector с помощью дружественной функции. Описание в классе будет иметь вид:

```
friend vector operator + (vector v1, vector v2);
```

Реализация этой операции вне класса:

```
vector operator + (vector v1, vector v2)
 { int s;
   if  (v1.s<v2.s)   s=v1.s ;   else s=v2.s;
    vector t(s);
    for (int i=0;i<s;i++) t.v[i]=v1.v[i]+v2.v[i];
    return t;
 }
```

3.8. Класс очередь que. Шаблон класса

Средством реализации полиморфизма в языке С++ является шаблон класса. На примере объекта очередь покажем использование шаблона класса: template <class T>.

Это описание указывает на то, что описывается параметризованный тип, имеющий параметром тип Т.

```
template <class T>
```

```
class QUE
{  private:
   struct link
   { T inf;
     link *next;
   };
   link *start,*end;
    public:
   QUE ();
   ~QUE ();
   void add(T elem);
   T get();
   int empty();
};
```

Приведем реализацию введенных операций.

```
template <class T>
QUE <T>:: QUE ()
{  start=end=0;
};
template <class T>
void  QUE <T> :: add(T elem)
{  link *p;
   p=new link;
   p->inf=elem;
   p->next=0;
   if (start==0 && end==0) start=p;
    else end->next=p;
   end=p;
};
template <class T>
T  QUE <T> :: get()
{  link *p;
   T buf;
   p=start;
   buf=p->inf;
   start=start->next;
   delete p;
   return buf;
};
template <class T>
QUE <T>::~ QUE ()
```

```
{  link *p;
   while (start!=0)
      {
       p=start;
       start=start->next;
       delete p;
      };
};
```

Приведем фрагменты программы, использующие класс очередь.

```
QUE <int> ocher;
int x;
scanf("%d",&x);
ocher.add(x);
printf("%d\n",ocher.get());
……
QUE <float> ocher1;
int m;
float y;
scanf("%f",&y);
ocher1.add(y);
printf("%f\n",ocher1.get());
```

Аналогично можно описать параметризованный класс стек или класс вектор.

3.9. Наследование. Производные классы

Наследование является важной особенностью объектно-ориентированных языков. Для того чтобы отобразить иерархические связи, выражающие общность между классами, вводится понятие производного класса.

В языке C++ наследуемый класс называют базовым классом, наследующий класс – производным классом. Производный класс наследует свой-

ства базового класса. Поэтому отношение базовый–производный между классами называется наследованием.

Покажем наследование классов на примере объекта очередь. Пусть нам нужно над последовательностью элементов очереди выполнить дополнительно следующую операцию: определить, есть ли среди элементов нулевые. Основные операции над объектом определены в классе QUE. Это операции: добавить элемент

```
void add(T elem);
```

и взять элемент

```
T get();
```

Для простоты опишем класс очередь QUERY без использования шаблона класса.

```
class QUERY
{  private:
   struct link
   { int inf;
     link *next;
   };
   link *start,*end;
   public:
   QUERY ();
   ~QUERY ();
   void add(int elem);
   int get();
   int empty();
};
```

Для реализации новой операции можно ввести производный класс, ссылаясь на класс QUERY как базовый. Назовем производный класс QUE_0.

```
class   QUE_0 : public  QUERY
 {    public:
      int def_0 ();
 };
```

Вне класса опишем новую операцию:

```
int QUE_0 ::def_0 ()
  { link *p=start;
    while  (p!= end)  and  (p->inf !=0 )
       p=p->next;
    if (p->inf == 0 ) return 1;
    else return 0;
  }
```

Когда один класс наследует другой класс, все элементы, определенные как private в базовом классе, не имеют доступа в производном классе.

Для того чтобы в классе QUE_0 был доступ к данным класса QUERY, необходимо использовать доступ protected. Описание класса QUERY будет иметь вид:

```
class QUERY
{  protected:
   struct link
   { int inf;
     link *next;
   };
   link *start,*end;

   public:
   QUERY();
   ~QUERY();
   void add(int elem);
   int get();
   int empty();
};
```

В нашем примере конструктор базового класса представлен без параметра. В этом случае производный класс может не иметь конструктор.

4. ОБРАБОТКА ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ

4.1. Необходимость обработки исключений

Во время своей работы программа иногда сталкивается с нештатными ситуациями. Например, вызванный метод некоторого объекта может обнаружить у себя внутренние проблемы (неверные значения полей, в результате чего может произойти, например, деление на ноль) или найти ошибки в других объектах или входных данных. Следовательно, необходим некоторый механизм обнаружения и обработки нештатных ситуаций (исключений) в программе.

Когда программа конструируется из раздельных модулей и особенно когда эти модули находятся в независимо разработанных библиотеках, обработка ошибок должна быть разделена на две части:

1) генерация информации о возникновении ошибочной ситуации, которая не может быть разрешена локально;

2) обработка ошибок, обнаруженных в других местах.

Автор библиотеки может обнаружить ошибки времени выполнения, но, как правило, не знает, что делать в этом случае. Пользователь библиотеки может знать, как поступить в случае возникновения ошибок, но не в состоянии их обнаружить (иначе их поиск не перепоручался бы библиотеке). Для помощи в решении подобных проблем в языке C++ введено понятие *исключения*. Фундаментальная идея состоит в том, что функция (метод), обнаружившая проблему, но не знающая, как ее решать, *возбуждает* (throw) исключение в надежде, что вызвавшая её функция (прямо или косвенно) может решить проблему. В функции, которая хочет решать проблемы данного типа, можно указать, что она *перехватывает* (catch) такие исключения.

Такой стиль обработка ошибок предпочтительнее многих традиционных методов. Рассмотрим альтернативы. При обнаружении проблемы, которая не может быть решена локально, программа может:

а) прекратить выполнение,

б) возвратить специальное «ошибочное» значение,

в) возвратить какое-то допустимое значение и оставить программу вненормальном состоянии,

г) вызвать функцию, предназначенную для обработки ошибки.

Вариант а) – прекратить выполнение – это то, что происходит по умолчанию, когда не перехватывается исключение. Библиотечная функция, безусловно завершающая выполнение, не может использоваться в программе, первое требование к которой – надежность.

Вариант б) – возвратить специальное «ошибочное» значение – не всегда выполним, т.к. часто просто нет приемлемого ошибочного значения (например, при возврате целого любое из них может быть приемлемо). Даже когда такой подход применим, он часто неудобен, потому что он вынуждает программиста каждый раз проверять результат на ошибочное значение. Это легко может увеличить размер программы.

Вариант в) – возвратить допустимое значение и оставить программу в ненормальном состоянии – имеет тот недостаток, что вызывающая функция может не заметить, что программа находится в ненормальном состоянии. Например, многие стандартные функции библиотеки С устанавливают значение глобальной переменной errno для индикации ошибки. Однако программы в большинстве случаев не проверяют эту переменную достаточно систематически, чтобы избежать последующих ошибок. Более того, использование глобальных переменных для записи информации об ошибках работает неудовлетворительно при наличии параллельных процессов.

Вариант г) – вызвать функцию, предназначенную для обработки ошибки – возлагает на вызванную функцию решение проблемы одним из перечисленных выше способов.

Механизм обработки исключений предоставляет альтернативу традиционным методам. Он позволяет отделить код обработки ошибок от собственного кода алгоритма, делая программу более понятной и более «чистой». В результате получаем более регулярный способ обработки ошибок, что упрощает взаимодействие между отдельно написанными фрагментами программы.

4.2. Общие принципы обработки исключительных ситуаций в C++

Механизм обработки ситуаций дает способ передачи управления из точки выполнения программы в расположенную выше по управлению точку, в которой определен *обработчик исключений* (exception handler). Главная идея состоит в том, что функция, сталкивающаяся с неразрешимой проблемой, объявит исключительную ситуацию, в надежде на то, что вызвавшая ее (прямо или косвенно) функция может решить проблему. Обработчик ситуации будет вызван только в случае исполнения *выражения-возбуждения-ситуации* внутри так называемого *блока-с-контролем* или в функциях, вызванных из этого блока. В C++ синтаксис возбуждения ситуации выглядит следующим образом:

выражение-возбуждения-ситуации:

throw выражение

Выражение-возбуждения-ситуации в C++ является выражением некоторого типа. *Выражение-возбуждения-ситуации* иногда еще называют точкой возникновения (возбуждения) ситуации (throw-point). О части програм-

мы, в которой исполнилось *выражение-возбуждения-ситуации,* говорят, что в ней возникла ситуация (она возбудила ситуацию).

Рассмотрим, каким образом в C++ можно определить и обработать ошибки диапазона, возникающие в классе Vector.

```
class Vector {
  int* p;
  int* sz;
public:
  class Range { }; // класс ситуаций

  int& operator[] (int i);
  // . . .
};
```

Объекты класса Range предназначены для использования в качестве исключений и возбуждать последние следующим образом:

```
int& Vector::operator[] (int i)
{
  if (0<=i && i<sz) return p[i];
  throw Range();
}
```

В общем случае исключения новых типов следует создавать тогда, когда программист хочет обрабатывать ошибки одного типа и пропускать ошибки других типов.

4.3. Возбуждение ситуации

При возбуждении ситуации управление передается на один из обработчиков ситуации. При этом посылается объект, и тип этого объекта определяет, какой обработчик может перехватить данную ситуацию.

Например, ситуация

```
throw "Help!";
```

может быть перехвачена некоторым обработчиком типа char*:

```
try {
  // . . .
}   catch (const char* p) {
// здесь реакция на ситуацию типа символьной строки
}
```

а ситуация

```
class Overflow {
  // . . .
public: Overflow(char, double, double);
};
void f(double x) {
  // . . .
  throw Overflow('+', x, 3.45e107);
}
```

может быть перехвачена обработчиком

```
try {
  // . . .
  f(1.2);
  // . . .
}   catch (Overflow& oo) {
  // здесь обработчик ситуации типа Overflow
}
```

При возникновении ситуации управление передается на ближайший обработчик соответствующего типа; "ближайший" – тот, в чей *блок-с-контролем* управление попало в последний раз; "соответствующий тип" определяется ниже.

Выражение-возбуждения-ситуации создает временный объект, тип которого статически определяется операндом операции throw, и затем инициализирует им переменную, указанную в описании обработчика.

В C++ *выражение-возбуждения-ситуации* без операнда повторно возбуждает обрабатываемую ситуацию. *Выражение-возбуждения-ситуации* без операнда может появиться только в обработчике исключения или в функции, явно или неявно вызванной из него. Например, код, который нужно выполнить при возникновении какой-либо ситуации, не обрабатывая ее полностью, мог бы быть написан так:

```
  try {
    // . . .
  }
  catch (...) { // перехват ситуации
                // частичная обработка ситуации
    throw;
// передача ситуации некоторому другому обработчику
  }
```

4.4. Обработка исключений

Функция, нуждающаяся в обнаружении возбужденной ситуации, должна поместить вызов функции в *блок-с-контролем* с реакцией на ситуацию. Такой блок имеет следующий синтаксис в C++:

блок-с-контролем:

try { … }

catch (*объявлении-ситуации* 1) { реакция 1 }

catch (*объявлении-ситуации* 2) { реакция 2 }

catch (...) { реакция n }

Например:

```
void f(Vector& v)
 {
  // . . .
  try
  {
    do_something(v);
  }
  catch (Vector::Range)
  {
    // реакция на исключение типа Vector::Range
    // так как do_something() вызвало ситуацию,
    // делаем что-то другое,
    // попадаем сюда только, если обращение к
    // do_something() приводит
    // к вызову Vector::operator[](i) с плохим
    // индексом
  }
    // . . .
}
```

Конструкция

```
  catch (/* . . . */) {  }
```

представляет собой обработчик ситуации. Он может использоваться только сразу за *блоком-с-контролем* или непосредственно за другим обработчиком (если есть несколько обработчиков разных типов).

Многоточие (. . .) в *объявлении-ситуации* дает отождествление для любой ситуации. Обработчик с многоточием, если он есть, должен быть последним в своем *блоке-с-контролем*.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕРОВ

5.1. Класс полином

```
class stp       // Базовый класс
 { protected:
   int n;
   stp(){};
   stp(int st)
     {n=st;}
 };
```

Класс полином poli является производным классом.

```
 class poli: public stp
 { public:
    int *a;
    poli(){};
    poli(int s){ n=s;};
    ~poli()    { delete []a;};
    void cr_poli();
    poli(poli &y);
   int  operator()(int );
   friend poli   operator+ (poli  bb, poli cc);
   poli & operator= (poli bb);
   void prosm();
 };

 poli & poli::  operator= (poli bb)
 { n=bb.n;
   for (int i=0;i<=n;i=i+1) a[i]=bb.a[i];
   return *this;
 };
poli::poli(poli &y)
 { n=y.n;   a=new int[n+1];
    for(int i=0;i<=n;i++)
       a[i]=y.a[i];
 };
```

```
void poli::cr_poli()
 { a=new int[n+1];
   cout<<"введите коэф-ты  "<<n;
    for (int i=0;i<=n;i++)
      cin>>a[i];
  }

int poli:: operator()(int x)
  { int k=n;
    float r;
    r=a[0];
    for (int i=1;i<=k;i=i+1)
      r=r*x+a[i];
    return r;
   }

poli  operator+ (poli bb,poli cc)
  {  int i,k,l;
     k=bb.n; l=cc.n;
     if (k>=l)
      { poli r(k);
        for (i=0;i<=k;i++) r.a[i]=bb.a[i];
        for (i=0;i<=l;i++)
          r.a[k-l+i]=r.a[k-l+i]+cc.a[i];
        return r;
       };
     poli t(l);
     for (i=0;i<=l;i++) t.a[i]=cc.a[i];
     for (i=0;i<=k;i++)
          t.a[l-k+i]=t.a[l-k+i]+bb.a[i];
     return t;
 }
void poli:: prosm()
   { int i;
     for (i=0;i<=n;i++)
        cout <<a[i]<<"  ";
     cout<<"\n";
   } ;
```

5.2. Класс таблица

```
class zap      // Базовый класс
 { protected:
   char fio[31];
   char pr[10];
   int a1;
   public:
   zap(){};
   zap(zap &z)
   { strcpy(fio,z.fio);
     strcpy(pr,z.pr);    a1=z.a1;
   };
    int get(){ return a1;};
    char* get_f()
      { char *s; s=strdup(fio);
        return s;
      };
  void input();
  void output();
 };
 class table : public zap
 {  public:
    zap *a;  int n;
    table(){};
    table(int s){ n=s;};
    ~table()    { delete []a;};
    void cr_table();
    void sort(int t);
    void sort(char t);
    void show();
  };

  void zap:: input()
  {  cout<<"\nVvod fio\n";     cin>>fio;
     cout<<"\nVvod pred\n";    cin>>pr;
     cout<<"\nVvod ball\n";    cin>>a1;
  };

  void zap::output()
  { cout<< fio <<"  "<<pr<<"  "<<a1<<"  ";
```

```
 };
void table :: cr_table()
 { a=new zap [n];
   for(int i=0;i<n;i++)
    a[i].input();
  cout <<"\n таблица создана \n";
 };
void table :: show()
{ int i;
  for(i=0;i<n;i++)
  { a[i].output();
    cout <<"\n ";
  };
};
int SRAVN(int a,int b)
 {  if(a>b) return 1;
    else return 0;
 };
int SRAVN(char a[],char b[])
 { char *u,*v;
   u=strdup(a);v=strdup(b);
   if (strcmp(u,v)>0) return 1;
   else return 0;
 };
void table ::  sort(char t)
{ zap s;  int i,j;
  for (i=n-1;i>0;i--)
  { int k=0;
    for (j=1;j<i;j++)
      if (SRAVN(a[j].get_f(),a[k].get_f()))   k=j;
    s=a[k];a[k]=a[i];a[i]=s;
  }
};
void table ::  sort(int t)
{ zap s;
  int i,j;
  for (i=n-1;i>0;i--)
   { int k=0;
    for (j=1;j<i;j++)
       if (SRAVN(a[j].get(),a[k].get()))   k=j;
    s=a[k];a[k]=a[i];a[i]=s;
   }
```

```
}
```

6. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1) Описать класс «Дробное число со знаком». Число должно быть представлено двумя полями: целая часть – длинное целое число со знаком, дробная часть – беззнаковое короткое целое число. Реализовать арифметические операции сложения, вычитания, умножения, деления и операцию сравнения дробных чисел. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объектов, порожденных от класса.

2) Описать класс «Деньги» для работы с денежными суммами. Денежная сумма должна быть представлена двумя полями: длинное целое число для рублей и беззнаковое короткое целое число – для копеек. Дробная часть денежной суммы (копейки) при выводе на экран должна быть отделена от целой части запятой. Реализовать сложение сумм, вычитание сумм, деление сумм, деление суммы на дробное число, умножение суммы на дробное число, операцию сравнения сумм и преобразование денежной суммы в символьную строку. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объектов, порожденных от класса.

3) Описать класс «Трапеция», поля класса – координаты четырех точек на плоскости: координаты – числа с плавающей запятой. Предусмотреть в классе конструктор и методы: проверка, является ли фигура, образованная четырьмя точками трапецией; проверка, является ли фигура, образованная четырьмя точками равнобедренной трапецией, вычисление длины каждой стороны, вычисление периметра трапеции, вычисление площади трапеции. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объекта, порожденного от класса.

4) Описать класс «Комплексное число», поля класса - действительная и мнимая части комплексного числа являются числами с плавающей запятой и находятся в закрытом разделе класса. Предусмотреть в классе конструктор и методы: присваивание комплексному числу значения, сложение комплексных чисел, вычитание комплексных чисел, умножение комплексных чисел, деление комплексных чисел и преобразование комплексного числа в символьную строку. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объектов, порожденных от класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невская, Е.С. Искусство программирования [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Е.С. Невская, А.А. Чекулаева, М.И. Чердынцева – Москва: Вузовская книга, 2002. - 207 с.

2. Страуструп, Б. Язык программирования C++ для профессионалов [Текст] / Б. Страуструп. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2006. – 568 с.

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. М. Таутер

КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Учебное пособие

Ай Пи Ар Медиа
Москва
2022

Автор:
Таттер В. М. — канд. техн. наук, зав. кафедрой технической механики Уральского государственного горного университета.

Таттер, Виталий Михайлович.

Т23 Конструирование интегральных модулей : учебное пособие / В. М. Таттер ; Уральский государственный горный университет. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 261 с. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-4497-1372-0

В учебном пособии дана классификация современных интегральных модулей и их параметры: назначение, датчиков, реле, аккумуляторов. Приведены общие положения по конструированию интегральных модулей с электронным программированием, описаны базовые конструктивные элементы модулей и методики их расчета.

Подготовлено с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Предназначено для бакалавров обучающихся по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», изучающих дисциплины «Расчет и конструирование интегральных и робототехнических систем», «Датчики интегральных модулей, роботов и их конструирование», аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение», изучающих дисциплину «Основы интегрирования», а также для студентов других технических направлений, специализирующихся проектированию модулей и комплексов для интегрального применения.

Учебное электронное издание

ISBN 978-5-4497-1372-0

© Таттер В. М., 2022
© ООО «Компания «Ай Пи Ар Медиа», 2022

Редактор Ю. В. Сенкевич
Технический редактор, компьютерная верстка Е. В. Лобачевой
Корректор О. А. Абакумова
Обложка С. С. Сахаровский

Подписано в использование 19.08.2021. Объем данных 19 Мб.

Издание представлено в электронно-библиотечных системах
IPR BOOKS (www.iprbookshop.ru),
Библиокомплектатор (www.bibliocomplectator.ru)

Бесплатный звонок по России: **8-800-555-22-39**
Тел.: 8 (8452) 24-77-07, 8 (8452) 24-77-06

Отдел продаж и экспорта (ОЭ)
доб. 208, 213, 344, 143
E-mail: sales@iprmedia.ru

Отдел комплектования (ОК)
доб. 254, 237, 308
E-mail: mail@iprbookshop.ru

По вопросам приобретения изданий обращаться:
доб. 208, 201, 222, 224
E-mail: sales@iprmedia.ru, sales-it@iprmedia.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 7

1. КОНСТРУКЦИИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ... 8
1.1. Основные термины и определения ... 8
1.2. Классификация мехатронных модулей ... 9
1.3. Электромеханические мехатронные модули ... 12
1.3.1. Модули движения ... 12
1.3.2. Мехатронные модули движения ... 24
1.3.3. Интегрированные мехатронные модули ... 41
1.4. Гидравлические мехатронные модули ... 47

2. ДВИГАТЕЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ... 61
2.1. Электродвигатели ... 61
2.1.1. Электродвигатели главного движения ... 61
2.1.2. Электродвигатели линейного перемещения ... 69
2.2. Гидравлические двигатели ... 76
2.2.1. Классификация гидравлических двигателей объемного вытеснения ... 76
2.2.2. Гидравлические двигатели прямолинейного движения ... 77
2.2.3. Гидроцилиндры ... 81

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ... 87
3.1. Определение мощности двигателя ... 87
3.1.1. Общие положения ... 87
3.1.2. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при циклограммных динамических нагрузках ... 89
3.1.3. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при эмпирических динамических нагрузках ... 99
3.1.4. Окончательный выбор силовых элементов ... 71
3.2. Расчет приводных систем движения ... 72
3.2.1. Предварительный выбор передачи по общим критериям ... 72
3.2.2. Особенности расчета приводных систем движения мехатронных модулей ... 80
3.2.3. Цилиндрические зубчатые передачи ... 82
3.2.4. Конические зубчатые передачи ... 87
3.2.5. Реечные передачи ... 89
3.2.6. Червячные передачи ... 94
3.2.7. Планетарные зубчатые передачи ... 99
3.2.8. Волновые зубчатые передачи ... 106
3.2.9. Передачи винт-гайка скольжения ... 110
3.2.10. Шарико-винтовые передачи ... 121
3.2.11. Ременные передачи ... 127
3.3. Люфтовыбирающие механизмы ... 129
3.3.1. Выборы зазоров в зубчатых приводах движения ... 129
3.3.2. Выборы люфтов в винтовых приводах движения ... 144

4. ГИДРОПРИВОД МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 141
4.1. Насосы 141
4.1.1. Классификация насосов 141
4.1.2. Роторно-вытеснительные насосы 142
4.1.3. Аксиально-поршневые насосы 144
4.1.4. Пластинчатые насосы 147
4.1.5. Шестеренные насосы 150
4.2. Клапаны и гидролинии 151
4.2.1. Обратные клапаны 151
4.2.2. Предохранительные клапаны 152
4.2.3. Дроссели и дроссельные (расходные) секторы направляющих гидрораспределителей 154
4.3. Гидрораспределители 156
4.3.1. Общие сведения 156
4.3.2. Золотниковые распределители 160
4.3.3. Крановые и клапанные распределители 163
4.4. Вспомогательные устройства гидроприводов 168
4.4.1. Гидроаккумуляторы 168
4.4.2. Резервуары для рабочей жидкости 170
4.4.3. Фильтры 172
4.5. Методика проектирования гидравлических мехатронных модулей 175

5. УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 177
5.1. Назначение и разновидности управляющих устройств 177
5.2. Механические управляющие устройства 178
5.3. Электромагнитные управляющие устройства 180

6. НАПРАВЛЕНИЕ 192
6.1. Назначение и разновидности направляющих 192
6.2. Направляющие с трением скольжения 192
6.3. Направляющие с трением качения 196
6.4. Шарнирные (М-направляющие 205
6.5. Шарнирно-рычажные направляющие 206
6.6. Расчеты (М- и шарнирно-рычажных направляющих 207
6.6.1. Расчет (М-направляющих на долговечность 215
6.6.2. Расчет шарнирно-рычажных направляющих на долговечность 217
6.6.3. Расчет (М- и шарнирно-рычажных направляющих на статическую грузоподъемность 218

7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 220
7.1. Датчики информации 220
7.2. Датчики положения и перемещения 221
7.3. Датчики скорости 222
7.4. Реле давления и манометры 226
7.5. Движение среды 227

8. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 230
8.1. Общие положения 230
8.2. Функции и структура мехатронного модуля 232
8.3. Совершенствование интегрально-модульных модулей 235

8.4. Оценка затрат на конструирование электронных средств ... 240
8.4.1. Трудоемкость ... 241
8.4.2. Анализ взаимосвязей конструкции электронного модуля с внешним окружением ... 242
8.4.3. Разработка технических требований ... 249
8.4.4. Предварительная конструкторская компоновка электронного модуля ... 253
8.4.5. Разработка вариантов компоновки электронного модуля ... 260
8.4.6. Чертеж общего вида ... 268
8.4.7. Компоновка конструкции ... 270
8.4.8. Чертеж сборочной компоновки ... 271
8.4.9. Техническое задание на разработку конструкторской документации ... 276

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 279

ОБЩИЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ... 280

ВВЕДЕНИЕ

Мехатроника является новой и динамично развивающейся отраслью техники и технологии. Она базируется на знаниях и достижениях в области механики, электроники и компьютерного управления и представляет собой более высокий уровень развития современного машиностроения.

В ряду первых преимуществ мехатронных систем по сравнению с традиционными можно отметить: уменьшение габаритов, снижение энергопотребления, повышение надежности, снижение материалоемкости, повышение производительности и точности.

Современное производство и эксплуатация промышленного оборудования основаны на новых классах компонентов, таких как интеллектуальные, интегрированные, которые включают в себя датчики, исполнительные механизмы и компьютеры, что создает основу для широкого внедрения мехатронных модулей и систем. Любой сектор экономики, от технологических процессов, в которых устройства работают в тяжелых условиях, до потребительских товаров, требует высокой надежности и экономичных продуктов, использующих возможности и эффективности.

В учебном пособии приведены общие положения по конструированию мехатронных модулей с «нуля» и подробно рассмотрены даны основные базовые конструктивные элементы модулей и методики их расчета.

Издание предназначено для бакалавров и магистров направления подготовки «Мехатроника и робототехника», а также может быть полезно студентам других технических направлений, занимающимся проектированием систем и комплексов для автоматизированных производств.

В результате изучения положений и учебного пособия материала обучающийся будет:

– знать структуру, состав и классификацию мехатронных модулей, правила и методы математического моделирования мехатронных модулей и систем, стандартные методы и технические средства, средства автоматики, измерительной и вычислительной техники;

– уметь производить расчеты как отдельных структурных элементов, так и мехатронных модулей в целом и целом;

– владеть навыками составления математических моделей и проектирования мехатронных систем.

1. КОНСТРУКЦИИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Мехатроника — это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими (гидропневматическими, микропроцессорными) и вычислительными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых изделий и систем с интеллектуальным управлением их функционированием движением.

Мехатронный модуль (ММ) — функционально и конструктивно самостоятельное изделие для реализации движений с компьютерным и электронным управлением, имеющее встроенный интерфейс для связи с другими, внешними устройствами физической природы.

К основным *узлам* физической природы относятся:

– механические (преобразователи движения, трансмиссии, винты);

– гидравлические (гидроцилиндры, клапаны, трубки);

– пневматические (пневмоцилиндры, клапаны, трубки);

– электротехнические (двигатели, муфты, электромагнитные муфты);

– подшипниковые (шарик., подшипники, гидромуфты, гидротрансформаторы, гидромагниты);

– вычислительными (платы, контроллеры, компьютеры, чипы, микросхемы);

– датчиковые (сенсорные Power и микропроцессоры);

– информационные (датчики перемещения, линейной и угловой скорости, усилия, момента, температуры, давления и т.п.).

Суть *синергетической концепции* состоит в объединении в единый модуль элементов различной физической природы при сохранении функциональных принципов, выполняемых данным модулем.

Приводом движения — исполнительное устройство, которое развивает заданное управляемое движение и взаимодействует с внешним объектом. В приводах ММ с этой целью применяются ходо- и манипуляционные передачи приводного (редуктора, мультипликатора) и выходного движения, а также передачи различных конструкций.

Интерфейс — устройство, обеспечивающее связь между различными блоками ММ. В зависимости от физической природы носителя и используемого типа интерфейсные блоки могут быть как частью механических (гидравлических, пневматических), так и оптико-электронных интерфейсно-программных комплексов. Примером механического интерфейса является муфта, компенсирующая (преобразующая) движения и динамические (вибрационные) потоки отдельных частей ММ с целью исключения их передачи от одного интерфейсного блока к другому. Электронные интерфейсы располагаются на входах и выходах устройства компьютерного управления и предназначены для его сопряжения с последующими структурными элементами, например, с цифро-аналоговым преобразователем и сетевой обратной связи.

Модуль движения (МД) — конструктивно и функционально законченный узел, включающий в себя механический (гидравлический, пневматический) и электрический (гидростатический, пьезоэлектрический) исполнительный элемент, который можно использовать самостоятельно и в различных комбинациях с другими модулями.

Информационный модуль движения (ИМД) — конструктивно и функционально самостоятельный узел, включающий в себя механический (гидравлический, пневматический), электрический (гидростатический, пьезоэлектрический), информационный (датчик) и вычислительный (электронный) блоки, который можно использовать самостоятельно и в различных комбинациях с другими модулями.

Вычислительный исполнительный модуль (ВИМ) — конструктивно и функционально самостоятельный узел с замкнутой интегральной механической (гидравлической, пневматической), конструктивной (гидростатической, пьезоэлектрической), информационной и вычислительной (электронной) частей, который можно использовать самостоятельно и в различных комбинациях с другими модулями.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

По физической природе составляющих элементов ММ подразделяются на электромеханические, гидромеханические, пневмомеханические и прочие.

В состав электромеханических ММ входят электрическая и (как правило) преобразователь движения. Они распространены наиболее широко и обычно являются базой для применения вариантов по степени проектирования.

Гидравлические ММ содержат гидравлическое звено для преобразования движения. По сравнению с электромеханическими они обладают такими основными качествами, в частности, такими, что не требуют преобразователя движения: малой инерционностью простотой регулирования и его широким диапазоном. К недостаткам их следует отнести применение высокого сложность, необходимость в высокой установке; ограниченность в качестве рабочей жидкости.

Пневматические ММ по принципу действия подобны гидравлическим, а различие между ними определяется особенностями рабочей среды — жидкости воздуха. ММ с пневматическим используются прежде скоростных, должны, менее требовательны к конструкции, основаны движения. Более высокие скорости движения. И то же время их грузоподъемность при равных размерах во две порядка меньше, соответственно ниже КПД, они не в состоянии обеспечить точные перемещения.

К числу причин ММ входят также и комбинированные приводы, например электромеханические, так и с устройствами для преобразования энергии, не описанными в «электро-», гидро- и пневмоприводе.

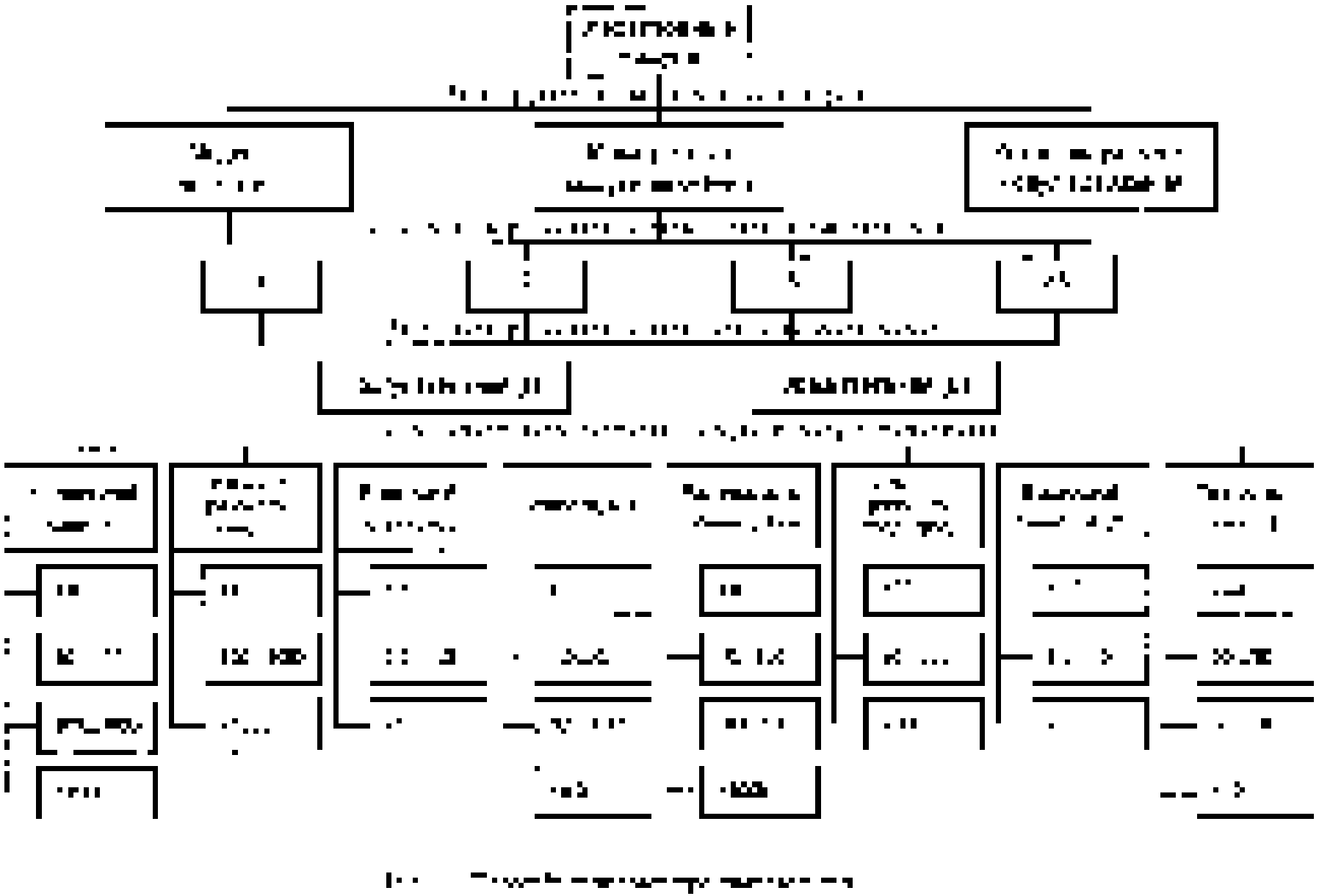
Далее речь пойдет об электрических и гидравлических ММ как наиболее широко применяемых в настоящее время.

Классификация ММ по конструктивным признакам представлена на рис. 1.1.

В силовой мере функциональную определяющее многообразие охватывает позиции ИММ, которые содержат приводную часть (двигатель), информационную часть (датчики) и электронно-интерфейсную компьютерную часть.

Различия в классификации МЦ и МКЦ представляются интересными и логически обоснованными, так как эти типы классов объектов, настраиваемых многократно применяемых проектировании, являются базой для создания ИММ.

Далее ММ будут рассмотрены согласно приведенной классификации.



1.3. ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ

1.3.1. Модули движения

Главным отличительным признаком МД от обычного механического привода является использование вала двигателя в качестве одного из основных механических преобразователей движения. Примеры МД: мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-барабан, электрошпиндель.

Мотор-редуктор объединяет в одно компактный конструктивный модуль электродвигатель и преобразователь движения. Эти конструкции получены в настоящее время широкое распространение. Выпускаются целая линия различных типов мотор-редукторов для различных условий применения, позволяющая найти оптимальное решение каждой конкретной задачи.

Харьков изготовил в России Санкт-Петербургский научно-технологический центр «Редуктор» (НТЦ «Редуктор») выпускает одно-, двух- и трехступенчатые цилиндрические, цилиндро-червячные, червячные планетарные и волновые мотор-редукторы на лапах, фланцевые и с полым выходным валом. Широта линии параметров говорит, что конструктор может подобрать мотор-редуктор по характеристикам часто и крутящий момент на выходном валу и двигателя $n = 1,6–4 000$ и $T_2 = 6–60 000$ Н м соответственно.

Московский научно-технологический центр «Приводная техника» (НТЦ «Приводная техника») выпускает одно- и двухступенчатые червячные, цилиндрические-червячные и цилиндрические волновые мотор-редукторы. Общие диапазоны параметров: $n = 5–10 000$, $T_2 = 3,9–5 966$ Н м.

Многие зарубежные фирмы, например, *MOTOVARIO, TORTEC, MAGUY* выпускают различные мотор-редукторы. Фирма *MAGUY* производит электродвигатели, планетарные и планетарные редукторы и на их основе мотор-редукторы, которые при необходимости снабжаются фрикционно-плавной датчиками, регуляторами и тормозами (перечень таких «фишек» в конце ММД).

Богатое разнообразие состояло приспособление в диапазоне различных типов планетарных и цилиндрических редукторов, а также высокий и приемлемый функциональный датчиков показан на рис. 1.2.

Конструктивное объединение двигателя и преобразователя движения в мотор-редуктор имеет ряд преимуществ по сравнению с отдельной системой соединения двигателя и преобразователя движения через муфту. Это и меньшие

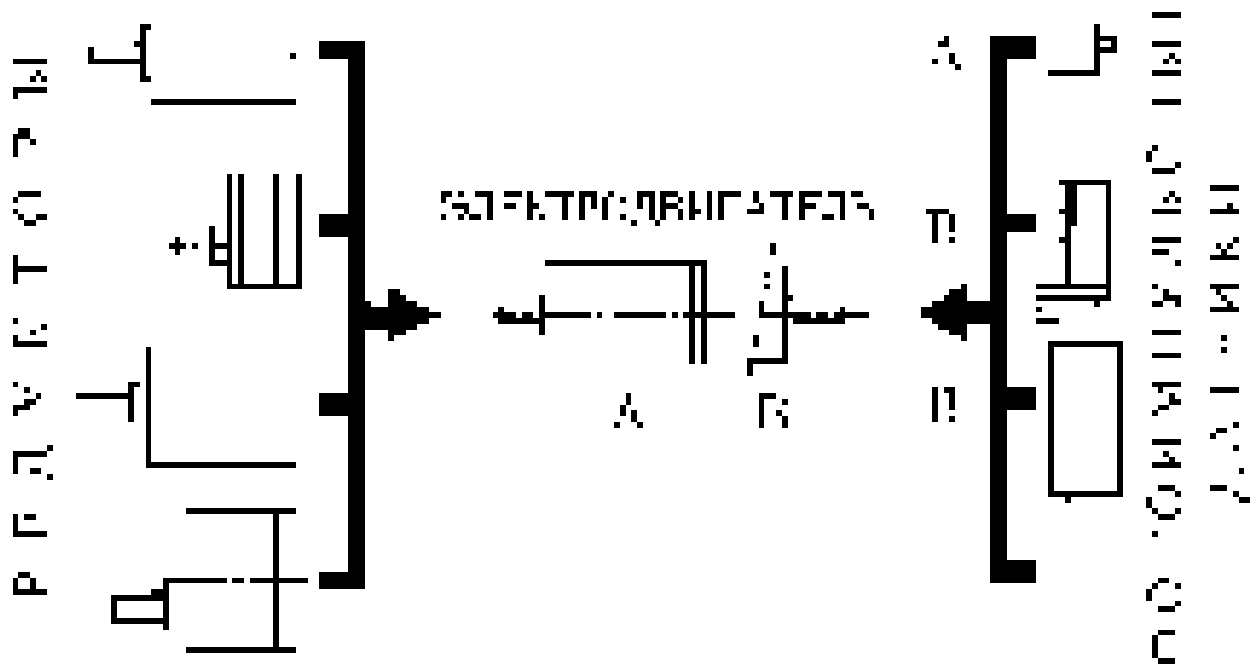

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

Рис. 1.3. Синий двухступенчатый мотор-редуктор:
а — схема; *б* — внешний вид

Рис. 1.4. Червячный мотор-редуктор:
а — схема; *б* — внешний вид

Внешний вид двухступенчатого червячного мотор-редуктора фирмы *MOTOVARIO* показан на рис. 1.3.

В мотор-редукторах наиболее часто используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, регулируемые преобразователи частоты трехфазного тока, синфазные двигатели и двигатели постоянного тока.

В качестве приводных двигателей, как уже было указано, используют публичные закрытые и защищенные, червячные, планетарные, волновые, винт-гайка и т.п. передачи.

Рис. 1.5. Двухступенчатый червячный
мотор-редуктор фирмы [illegible]

Для защиты мотор-редуктора от действия внешних перегрузок в его кинематическую цепь встраивают управляемую муфту. Вариант такого устройства в червячном мотор-редукторе приведен на рис. 1.6.

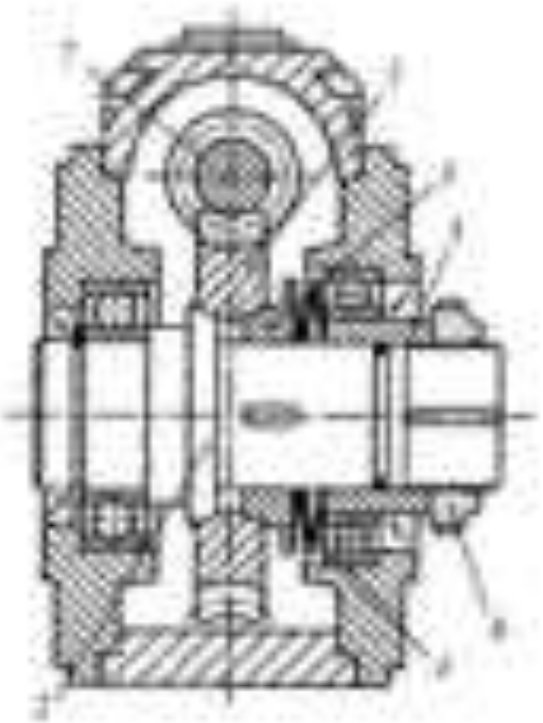


Рис. 1.6. Червячный мотор-редуктор
с управляемой перегрузочной муфтой

Червячное колесо 1 установлено на неподвижный винт 2, выполненный заодно с выходным валом, и подвижный корпус 3, который поджимает червячный круг колеса 4 через подпружиненную втулку 5 при помощи регулировочной гайки 6 с фиксатором. В зависимости от того, на сколько оборотов закручена регулировочная гайка, изменяет соответствующим образом сила сжатия, возникающая вследствие зажатия между втулками и червячным колесом (красавкого передаваемого момента).

При превышении величины крутящего момента на выходном валу 2 его красавкого значения червячное колесо 1 начинает проворачиваться и не передает движение на червяк 7, тем самым предотвращая преобразователь движения и двигатель от повреждения.

Планетарный зубчатый мотор-редуктор изображен на рис. 1.7. Он состоит из электрического двигателя 1 и двухступенчатого планетарного зубчатого преобразователя движения 2, соединенных при помощи винтов 3 в единый корпус.

В преобразователе движения планетарные зубчатые колеса входят первой ступени в зацепление сателлитов второй ступени, которые связаны между собой зубчатыми муфтами. Водило второй ступени выполнено заодно с выходным валом преобразователя движения. Сателлиты первой ступени установлены в водило неподвижно.

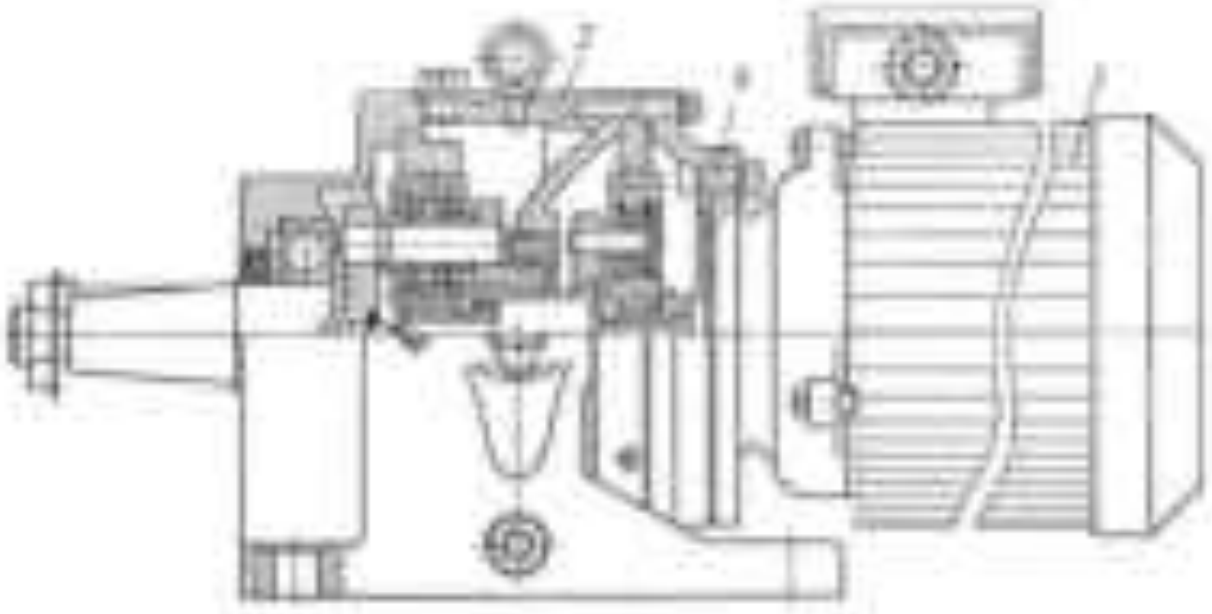


Рис. 1.7. Планетарный двухступенчатый мотор-редуктор

Планетарно-винтовой одноступенчатый мотор-редуктор, состоящий из двигателя 1 и преобразователя движения 2, соединенных в единый корпус винтами 3, представлен на рис. 1.8.

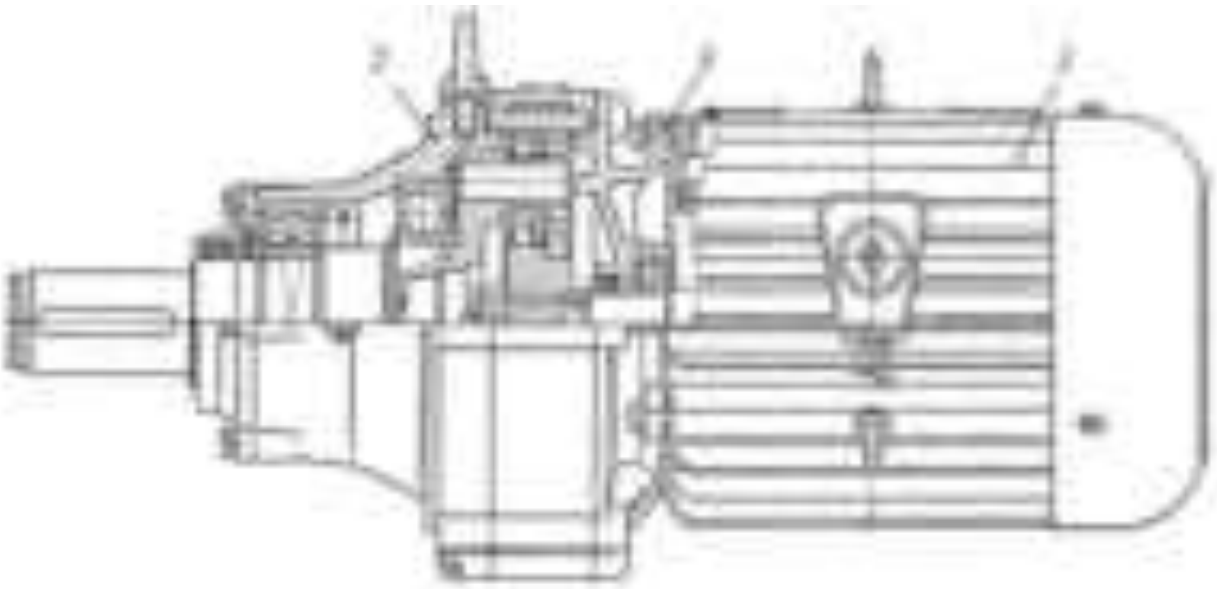


Рис. 1.8. Планетарно-цевочный мотор-редуктор

Мотор-редуктор на основе волнового механизма с электромагнитным генератором волн изображен на рис. 1.9. Он состоит из гибкого колеса 1, электромагнитного генератора волн 2, жесткого колеса 3, гибкого подшипника 4, корпуса 5, зубчатого колеса 6 и выходного вала 7.

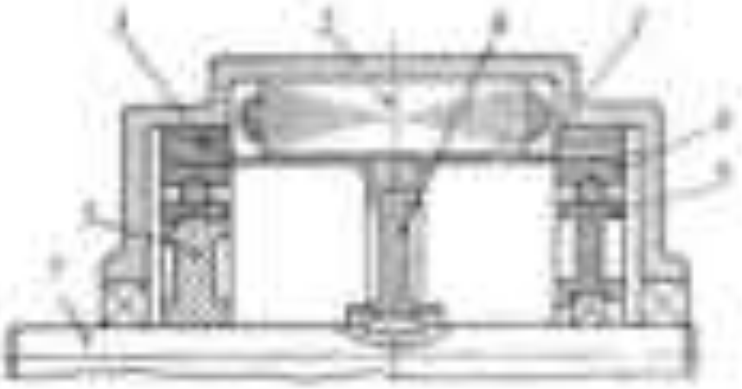


Рис. 1.9. Волновой мотор-редуктор

При работе мотор-редуктора гибкое колесо под воздействием электромагнитного генератора волн входит в зацепление с жестким колесом. При этом гибкое колесо деформируется совместно с вращающимся электромагнитным полем и, взаимодействуя с жестким колесом, прижатым отключателем корпуса, передавая через зубчатое колесо 6 крутящий выходному валу. Кулачки с надетым на них гибким подшипником приходят в движение вместе с гибким колесом. Кулачки можно устанавливать на выходной вал мотор-редуктора

(левый кулачок) или при помощи исполнительных элементов (правый кулачок). Во втором случае обеспечивается различная интенсивность забоя: можно изменять жесткость, увеличивается надежность, долговечность и появляется коэффициент плавности действия модуля давления.

Подробно планетарные, планетарно-цепочные и волновые редукторы будут рассмотрены в главе 3.

Во многих случаях скорость привода выгоднее иметь мотор-редуктора должна быть изменяемой. Реализовать это требование можно применением вариаторов, позволяющих регулировать скорость вращения либо применением электронных устройств, изменяющих скорость вращения двигателя. Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки, и применяют их в зависимости от тех конструктивных и технологических задач, которые необходимо решить. Например, если требуется изменять скорость выходного звена на выходном валу, то целесообразно применение конструкции мотор-редуктора с вариатором. Если же необходимо расширить диапазон регулирования скорости либо сохранить неизменными габариты и массу мотор-редуктора, то практически всегда частоты приближаются скорости.

В мотор-редукторах могут быть использованы различные типы вариаторов. При этом изделие получает название *мотор-вариатор-редуктор*.

На рис. 1.16, *а* представлена общая кинематическая схема мотор-вариатор-редуктора, на рис. 16, *б* — внешний вид мотор-вариатор-редуктора *MOTOVARIO*. Двигатель *1*, вариатор *2* и редуктор *3* соединяют фланцами с помощью валов (болтов) *4*.

а *б*

Рис. 1.16. Мотор-вариатор-редуктор:
а — структурная схема; *б* — внешний вид

ПТЭ «Редуктор» применяют планетарно-фрикционные вариаторы и применяют мотор-вариатор-редукторы червячные, цилиндрическо-червячные, червячные двухступенчатые, планетарные, двухпоточные соосные, волновые.

Характеристики червячных мотор-вариатор-редукторов приведены в табл. 1.1, планетарных — в табл. 1.2, волновых — в табл. 1.3.

Таблица 1.1

Технические характеристики червячных мотор-вариатор-редукторов

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота вращения выходного вала, об/мин		Мощность, двигателя P_1, кВт	
		max	min	max	min
МПР-40	4:1	45–12	7–14	0,18	–
МПР-63	8:1	11–125	1,8–16	0,75	0,25
МПР-80		125–32	1,8–16	1,5	0,37
МПР-100			1,8–20,8	4,0	0,75
МПР-125	6:1		1,8–23,8	7,5	
МПР-160			1,8–27	11,0	1,5
МПР-200	6:1	125–50	2–16		5,0
МПР-250	5:1	125–32	2–4		5,5

Таблица 1.2

Технические характеристики планетарных мотор-вариатор-редукторов

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота вращения выходного вала, об/мин		Мощность, двигателя P_1, кВт	
		max	min	max	min
МПП-25	7:1	4–160	1–80	1,5	0,18
МПП-31,5				3,0	
МПП-35,5				4,0	
МПП-40					
МПП-45				5,5	
МПП-50					
МПП-56				7,5	
МПП-63				11,0	

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота пропускания напряжения сети, гЦ		Мощность рассеяния P_2, кВт	
		мин	мах	мин	мах
АИМ-71	5,1	0-100	1-50	0,2	0,19
АИМ-80					0,33
АИМ-90					
АИМ-100					
АИМ-112					0,37
АИМ-132					

Таблица 1.3

Технические характеристики основных
мотор-вариатор-редукторов

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота пропускания напряжения сети, гЦ		Мощность рассеяния P_2, кВт
		мин	мах	
АИМ-80	3,5; 5,0; 5,0	0-12,5	1,34-0,1	0,06-0,5
АИМ-90				
АИМ-100				
АИМ-112				
АИМ-132				
АИМ-160				
АИМ-200				
АИМ-250				

Применение мотор-редукторов в комплекте с частотными преобразователями скорости позволяет получать плавное изменение скорости привода всех двигателей, устанавливать плавное бесступенчатое регулирование скорости выходного вала с контролем момента.

Подбор типоразмера частотного преобразователя проводят по мощности двигателя. ПТП «Электрон» при комплектации мотор-редукторов применяет частотные преобразователи вместе фирмы *Vonvo, ОБЕЗД ЭЛЕКТРОНИКА Вн, ЭЛЕ ЭЛЕКТРОНИКС ЭЛЕКТРОНИКС, ЭЛЕЛЕС, ГОСУН*, ПТП «Приводная техника».

Конструкция мотор-вариатора на основе планетарно-клиновых преобразователей типа *АЛЛ-Г* представлена на рис. 1.11.

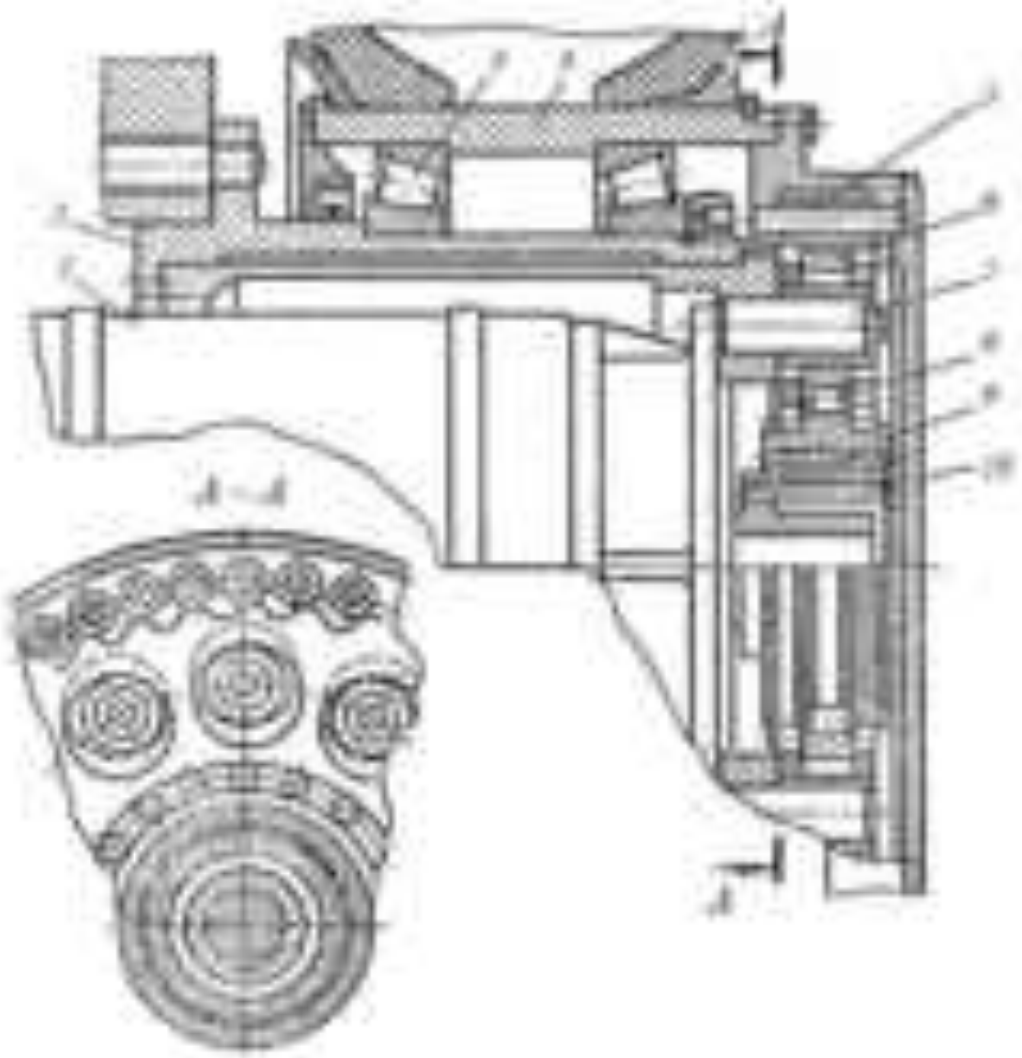


Рис. 1.11. Конструкция интерактивного
механизма клавиатурного тренажера

Эксцентрик 9 связан с валом электродвигателя 7 через двойную зубчатую муфту 10. Для ремня 8 эксцентрик имеет три беговые дорожки. Через сепаратор 6 движение передается шарикам осевому 5 и далее на ступицу колеса 4, которая опирается на два конических радиально-упорных подшипника 3. Шарики перекатываются кулачками 7 установленной в неподвижной ступице 2. Передача является двухступенчатой, причем один из кулачков расточен и расположен симметрично относительно другого, что исключает неравномерность распределения нагрузки по длине каждого колеса 5. Эксцентрик 9 выполнен плавающим и не имеет радиальных опор. Конструкция компактна и достаточно проста в сборке и разборке.

Конструкция мотор-барабана для конвейеров показана на рис. 1.12. Двигатель 1 встроен в барабан 2. Преобразователь движения планетарный двухступенчатый типа 3К с промежуточными колесами вынесен за пределы барабана

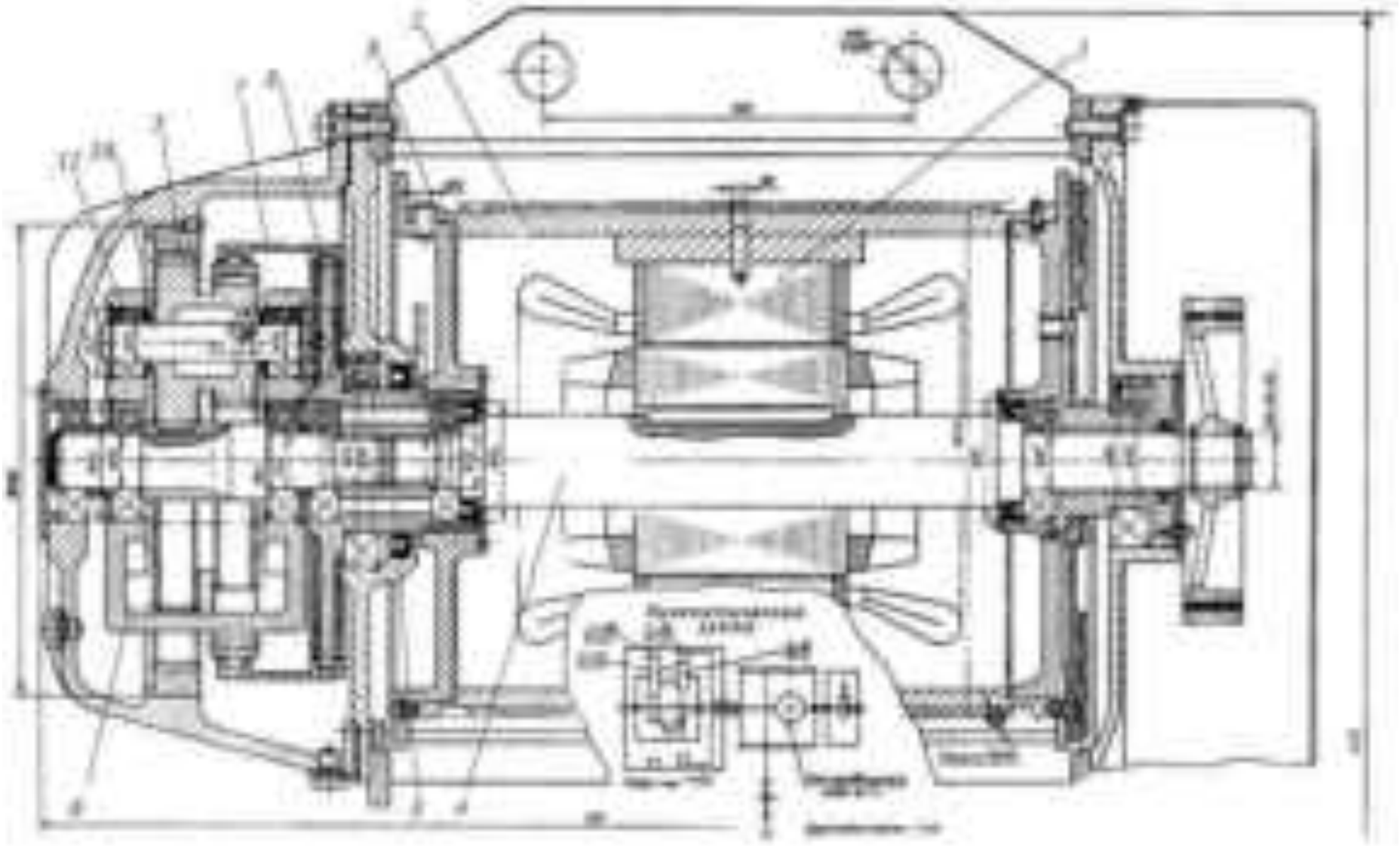
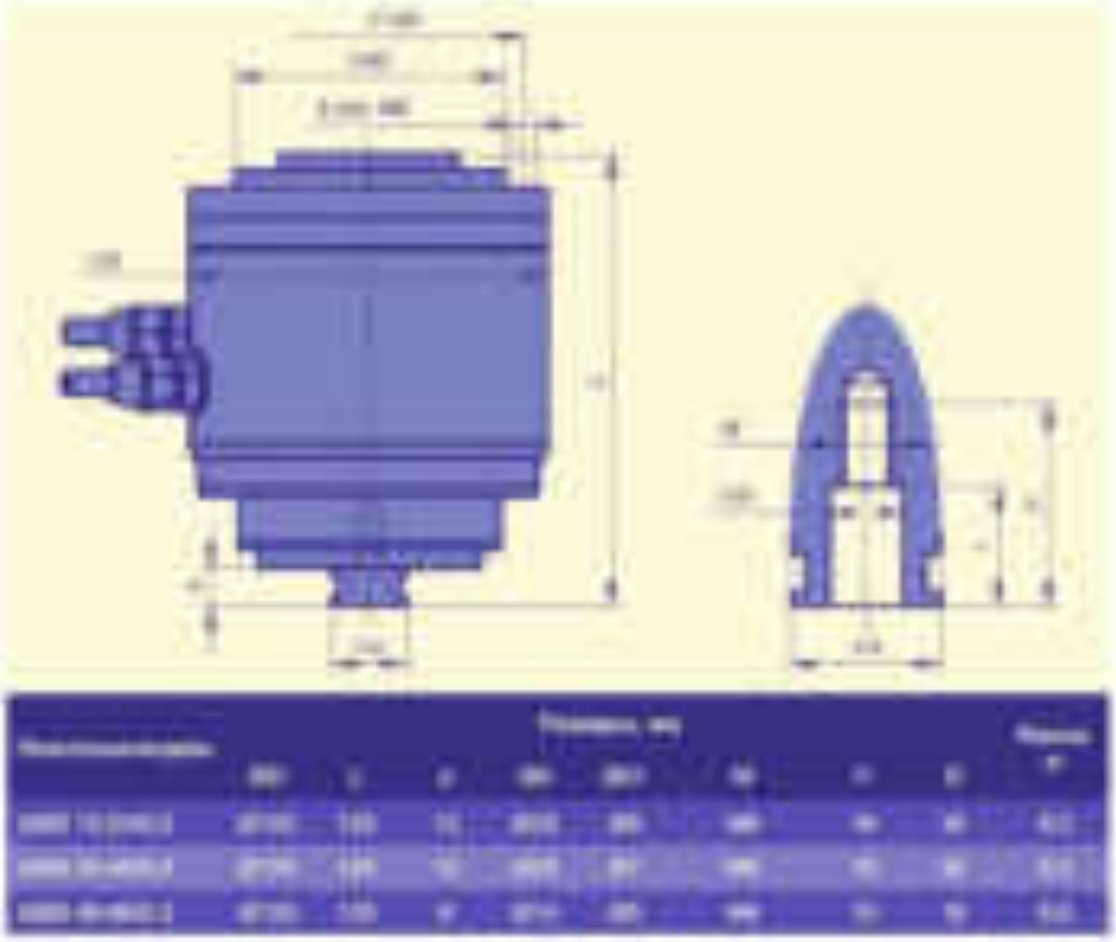


Рис. 1.12. Ножницы-Задайка ножничные

Движение ротора двигателя через зубчатую муфту 3 и входной вал-шестерню 4 преобразователя движения передается блоку 5 сателлитов, который приводит в движение водило 6, жестко связанное с зубчатым колесом 7, зубчатое колесо 8 и через зубчатую муфту 9 сообщает вращение барабану. Блок 5 сателлитов вращается вместе с осью 10 в неподвижных подшипниках 11, установленных в щеках водила 6. Количество сателлитов — три. Передаточное отношение преобразователя редуктора равно 40, при этом скорость ваала 20 об/с.

В настоящее время выпускают широкую номенклатуру высокоскоростных трехфазных электродвигателей с частотой вращения 3 000–250 000 об/мин, предназначенных для обработки различных металлов и неметаллических материалов шлифованием, фрезерованием, сверлением, а также специального назначения, в том числе для промышленных роботов.

В качестве примера может быть приведен электрошпиндель типа ШВП производства ООО «ШПИНДЕЛЬ-Сервис» (рис. 1.13). Этот модель предназначен для скоростной обработки деталей из алюминия и легких сплавов. Конструкция электрошпинделя представляет собой встроенный вентильный двигатель с постоянными магнитами ротора.



Наименование	Размеры, мм								Масса, кг
	ØD	L	d	Ød	Ød1	Ød2	l	l1	
ШВП-12-24/0,2	Ø100	130	12	Ø60	Ø80	Ø85	40	60	4,2
ШВП-16-40/0,4	Ø100	130	16	Ø60	Ø80	Ø85	40	60	4,2
ШВП-20-60/0,6	Ø100	130	20	Ø70	Ø90	Ø95	40	60	4,2

Рис. 1.13. Электрошпиндель типа ШВП

В обучающей задаче число эпизодов является частью процесса и также «обучается» вместе с моделью, через рефлексию — анализируется, через оценку меру — начинает двигаться в сторону.

1.3.3. Междоменные модели движения

Развитие новых платформенных технологий привело к созданию универсальных датчиков и платформенных базисов для обработки их сигналов. Это относится и к MMU, платформенно и инфраструктурно устройства, наличие которых является главным отличительным признаком MMU от МД.

Очевидным преимуществом представляет в ММД такой ряд требований: надёжная точность реализации целенаправленных движений, надёжность, достоверность, независимость работы при наличии различных видов воздействий и к широким диапазонам температур окружающей среды, значительно меньшие массогабаритные показатели по сравнению с обычными электроприводами. Требования к различным условиям, точности и скорости целенаправленных движений диктуются необходимостью автоматизировать операций, а требование минимальных размеров — необходимостью встраивания модуля в ограниченное пространство. Попытка синтеза ММД не обходилась в значительной мере выполнить выполнение может привести к появлению и появлению интерфейсных решений. Первоначальным является проектирование специализированных MMU, наиболее полно отвечающих всем предъявляемым требованиям.

Сложность и противоречивость требований, предъявленных к ММД, обусловливает целесообразность интегрирования подхода к их проектированию. В частности, следование принципу конструктивной интеграции элементов системы приводит к обеспечению высокого уровня качества модуля за счет конструктивного и функционального взаимопроникновения его составляющих, чему по которой является синтезированным и служит в этом первостепенное внимание проектирования и учитывать по возможности обеспечение.

Если предъявленные являются требования обеспечения возможности, то они также быть реализованы этого использования бесконтактных конструкций нашел и их интеграции с преобразователем движения и информационно-измерительной системой. При этом преобразователи движения и датчики не являются отдельными устройствами, а становятся интегрированной составляющей движения. Синергетический эффект достигается также за счет полного или частичного совмещения MMU нескольких функций одновременно.

Такие решения позволяют исключить многие механические интерфейсы, упростить и удешевить конструкцию, устранить необходимость механической защиты и их выключения датчика и двигателя.

ММД является функциональными «клубками», из которых можно компоновать сложные электронные системы.

Примеры ММД: модуль на основе электромагнитной головки и линейного движения и различных профильных движков (винтовых, червячных, планетарных, волновых и т.п.); беспроводные ММД; беспроводная компьютерная мышь.

ММ линейного движения показанного типа изображен на рис. 1.14. Он состоит из электромагнитного двигателя *1* и тяговой катушки *2*, подвижной части, включающей в себя винт *3*, гайку *4*, втулку *5*, соединенную с якорем *2*, направляющий *6*, корпусом защитного электромагнитного экрана *7*, фиксирующего датчика *8* и корпуса *9*.

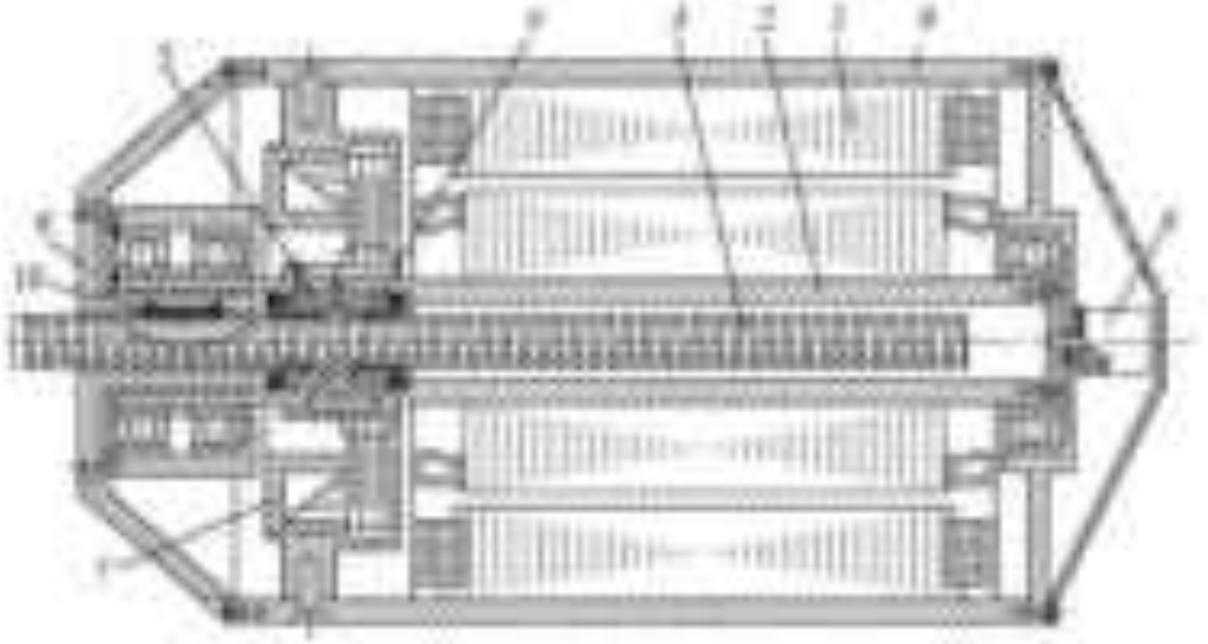


Рис. 1.14. Магнитный модуль линейного движения

При вращении ротора двигателя *1* или *2* вращает гайку *3*, которая через подшипник *4* вызывает поступательное перемещение винта *5*. Для предотвращения кручения и уменьшения трения при перемещении винта *5* в нем сделаны три продольных паза, в которых входят подшипники *10* направляющей *6*. Величину перемещения винта *5* фиксирует фотоинтерпольный датчик *8*. Электромагнитный экран *7*, закрепленный в корпусе *9*, в случае отключения электромагнита срабатывает и останавливает винт.

Двухступенчатый (двухчастотный) МКД показан на рис. 1.11. Модуль состоит из двух двигателей *1* и *2*, волнового преобразователя движения с неподвижным гибким колесом *3*, подвижным жестким колесом *4* и кулачковым генератором волн *5*, двухступенчатого преобразователя движения, состоящего из конечной зубчатой передачи *6–7*, волнового преобразователя движения с неподвижным жестким колесом *9*, подвижным гибким колесом *8* и кулачковым генератором волн *10*, двух фотоимпульсных датчиков *11* и *12*.

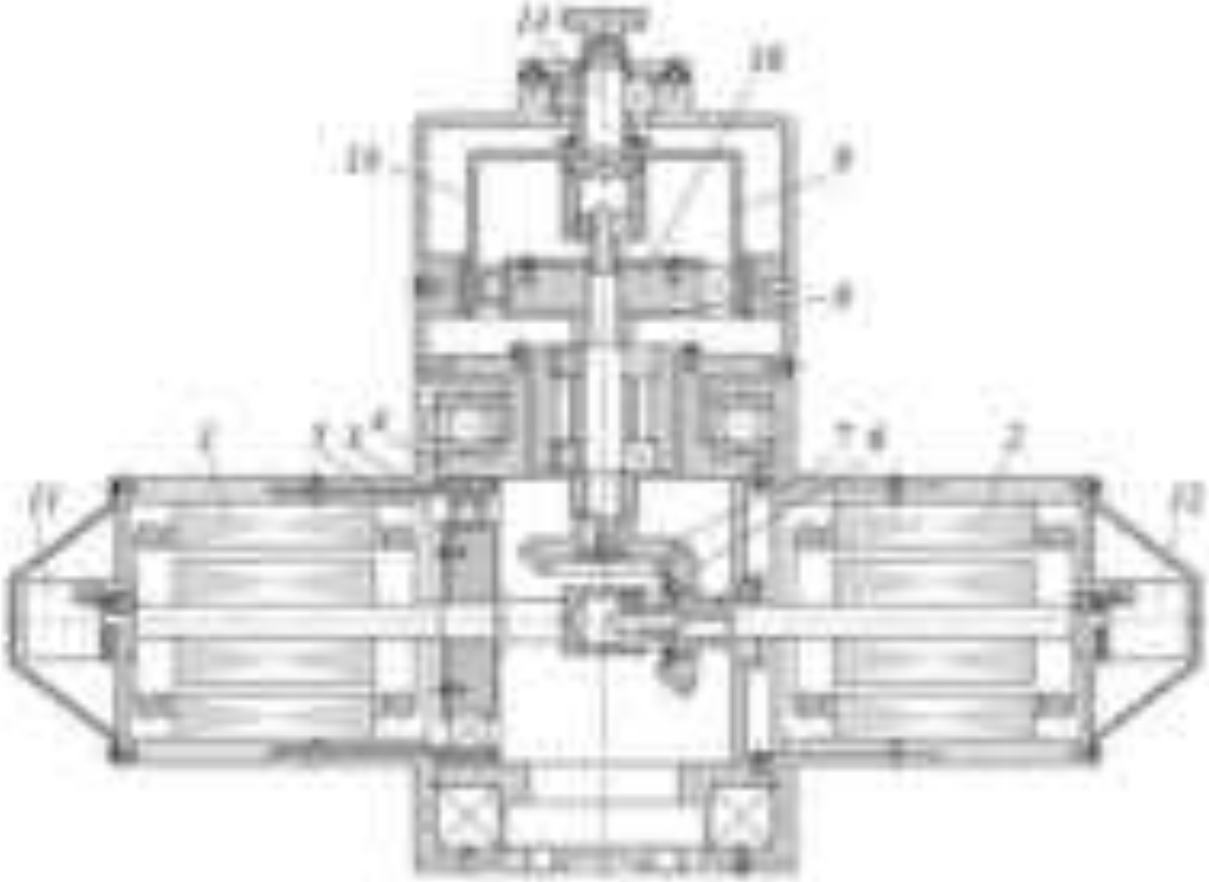


Рис. 1.11. Двухчастотный волновой модуль движения

При включении двигателя *1* генератор волн *5* начинает вращаться и жесткое колесо *4* вместе со звеньями с ним корпусом *13* приходит в движение.

При включении двигателя *2* вращение его вала через пару зубчатых колес *6–7* приходит во вращение генератор волн *10*, и гибкое колесо *8* вместе со звеньями с ним выходным валом *14* приходит в движение.

Фотоимпульсные датчики *11* и *12* предназначены для определения положения и перемещения корпуса *13* и выходного вала *14* соответственно.

МКД фирмы *HARMONY* изображен на рис. 1.16.

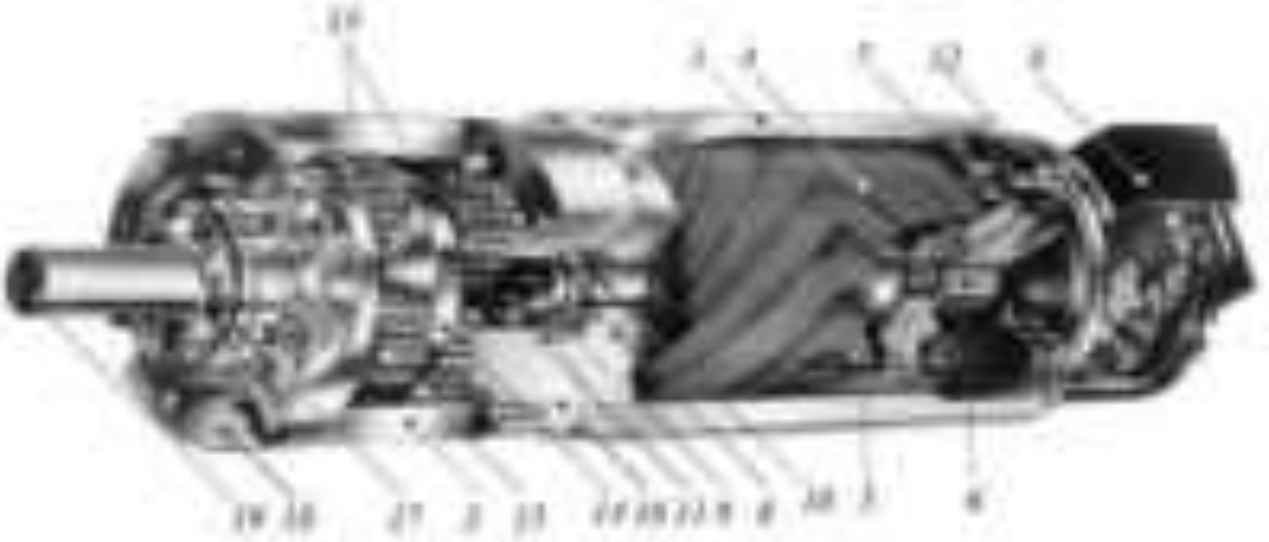


Рис. 1.16. Моторизованный модуль движения фирмы *KUKA*

Он состоит из коллекторного двигателя *1*, двухступенчатого планетарного редуктора *2* и фотоимпульсного датчика положения *3*. Двигатель включает в себя обмотку *4*, магнит *5*, коллектор *6*, щетки *7*, фланец *9*, подшипники *8*, вал *10*, токоизмерительную катушку *12*, и крышку *22*.

Каждая ступень редуктора типа *2K-H* с одним внешним и одним внутренним зацеплением имеет два центральных колеса *11* и *13* (первая ступень), сателлиты *14* и сепаратор *15*. Для установки подшипников *8* имеется специальная ответная часть *16*. Подшипник *17* закреплен на фланце *19* приводимого двигателя, через который проходит выходной вал *18*.

Фотоимпульсный датчик (ФИД) предназначен для определения положения и перемещения выходного вала.

Важнейшим этапом развития МКД стала разработка модулей типа *двигатель — рабочий орган*. Такие конструктивные модули имеют особые преимущества для технологических механических систем, целью движения которых является реализация целенаправленного воздействия рабочего органа на объект работ. МКД типа двигатель — рабочий орган широко применяют в шлифовальных и фрезерных станках под названием мотор-шпиндели.

Мотор-шпиндель фирмы *Гейдьих* (Германия) изображен на рис. 1.17. Он состоит из электродвигателя *1*, передаточного вала *2* с подшипниковыми узлами *3* и шпиндельного вала *4*, установленного в корпусных опорах *5*.

Фирма *Гейдьих* выпускает ряд электрических мотор-шпинделей с диапазоном частот вращения 3 000-21 000 об/мин, мощностями 1,5-10,5 кВт и напряжением 24-230 В.

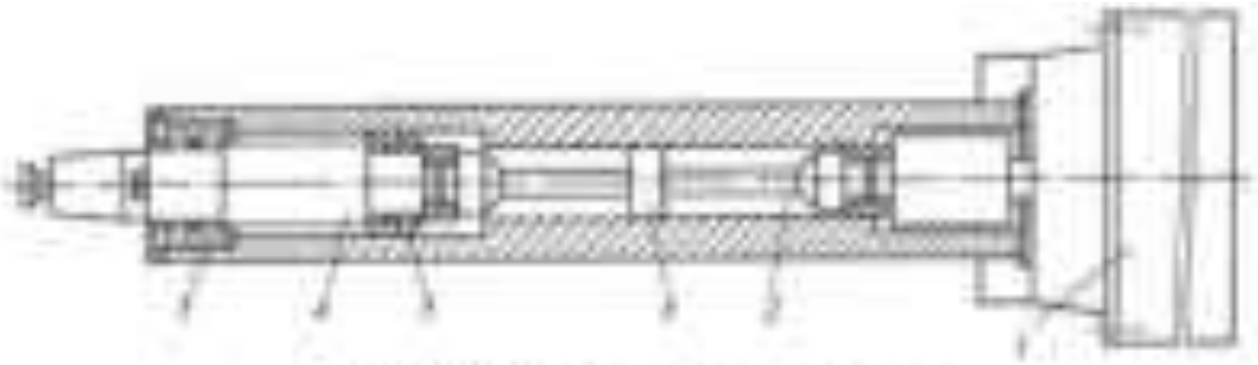


Рис. 1.17. Мотор-шпиндель фирмы Nomura

ММД в виде бесредукторного поворотного стола (рис. 1.18) предназначен для обеспечения режимов позиционирования и контурной обработки по функции, закреплены в расточных станках. Он состоит из корпуса *1* и собственно поворотного стола *2*, закрепленного на упорном подшипнике *3*, встроенного двигателя *4*, ротор *5* которого насажен с помощью *6*, датчика *7* положения, датчика *8* скорости и гидроцилиндра *9*, обеспечивающего фиксацию подшипника в нужном положении. Бесредукторное соединение ротора двигателя с планшайбой позволяет увеличить точность позиционирования стола и развивать его технологические возможности. Одновременно упрощается конструкция стола, уменьшается число деталей, повышается жесткость.

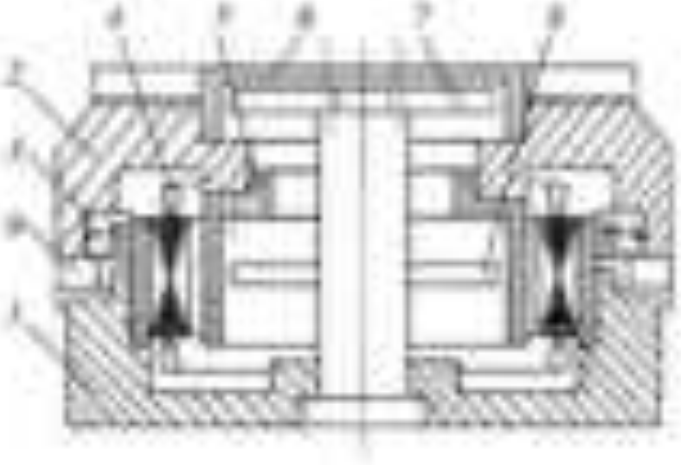


Рис. 1.18. Бесредукторный поворотный стол

В табл. 1.4 приведены основные технические характеристики бесредукторных поворотных столов.

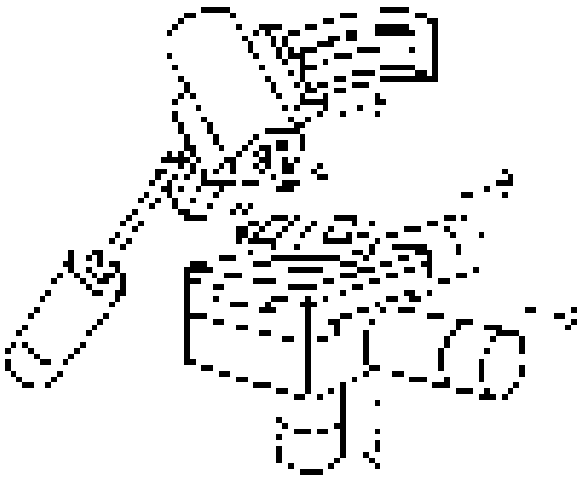
ММ дают возможность создавать разнообразное технологическое оборудование нетрадиционных компоновок. Одним из представителей такого технологического оборудования является многоинструментальный обрабатывающий

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]				
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]				



[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

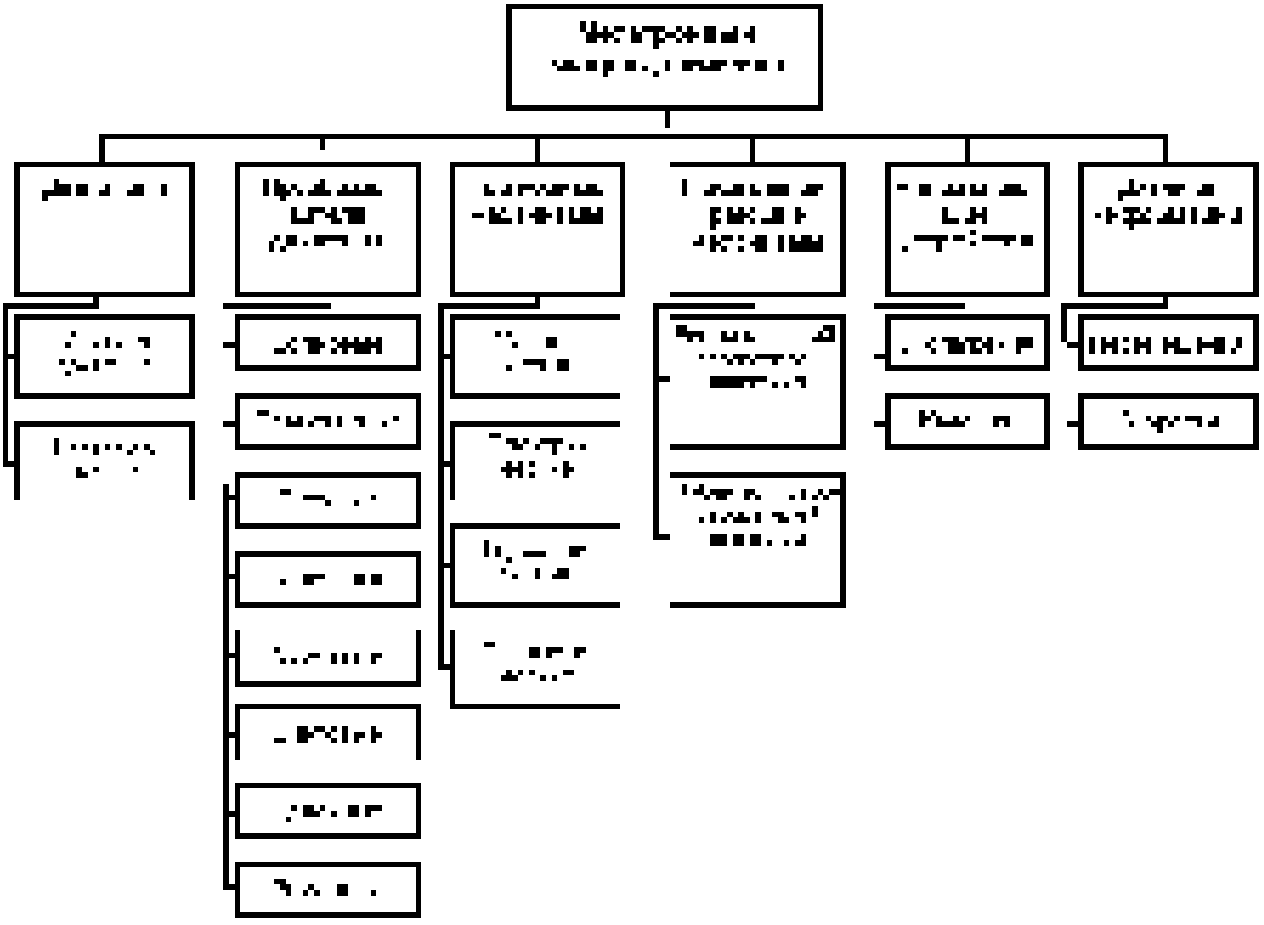


Рис. 1.1 – Основные направления использования

1.3.3. Интеллектуальные мехатронные модули

Создание ИММ является главной необходимым завершающим этапом развития мехатроники.

По сравнению с ММД в конструкции ИММ дополнительно встраивают электронно-логические вычислительные устройства и силовые электронные преобразователи, что придает этим модулям интеллектуальные свойства и является их главным отличительным от ММД признаком.

На рис. 1.21 изображены ИММ фирмы *SIEMENS SIMODRIVE POSMO A* (рис. 1.21, *а*) и *SIMODRIVE POSMO SI* (рис. 1.21, *б*).

а *б*

Рис. 1.21. Интеллектуальные мехатронные модули фирмы *SIEMENS*:
а — *SIMODRIVE POSMO A*; *б* — *SIMODRIVE POSMO SI*

Синергетическая интеграция названных элементов составляет структурный базис мехатроники. Мехатронная идея интегрированной мехатронной системы расширяет функциональный принцип становится все более актуальной среди разработчиков и потребителей выпускаемой продукции. Первые образцы ИММ появились в середине 90-х гг. XX в., и в последние годы их доля на рынке быстро увеличивается. Так, по данным журнала *Packaging Digest* (август 2002), в настоящее время встроенные контроллеры управления движением применяют в 35,1 % мехатронных управляемых машин, и в течение ближайших 1,5–2 лет

имеются у мехатронных систем класса от 8–10 %. Аналогичная тенденция наблюдается и в других областях применения мехатронных систем, в частности в автоматизированном машиностроении.

Целесообразность применения ИИМ обусловливается следующими факторами:

– способностью ИИМ выполнять основные движения манипулятора, без обращения в верхний уровень управления, что повышает автономность модулей, гибкость и живучесть мехатронных систем, работающих в изменяющихся и непредсказанных условиях внешней среды;

– отсутствием коммутационных между модулей и центральным устройством управления связать их вариантов и беспроводных коммуникаций, что позволяет добиться повышения надежности мехатронной системы и ее способности к быстрой реконфигурации;

– повышением надежности и безопасности мехатронных систем благодаря компьютерной диагностике электронной и электромеханической частей в аварийных и штатных режимах работы;

– возможностью создания на основе ИИМ распределенных систем управления с применением единых методов, аппаратно-программных средств на базе параллельных вычислений и соответствующего программного обеспечения;

– использованием современных методов теории управления (программно-адаптивных, интеллектуальных, нечетких) непосредственно на исполнительном уровне и повышением тем самым качества управления (управление в реальном масштабе времени);

– интеллектуализацией силовых преобразователей, входящих в состав ИИМ, для реализации непосредственно в ИМ интеллектуальных функций (управление движением, защита модулей и аварийных режимов и диагностика неисправностей);

– интеллектуализацией датчиков для ИМ, позволяющей добиться более высокой точности измерения путем обработки в самом датчике более физических величин, калибровки, запоминания характеристик внешних воздействующих сигналов, самоустранения и дрейфа нуля и т.п.

Основным фактором, сдерживающим использование ИИМ в мехатронных системах, является их высокая цена, хотя в последние годы она значительно снизилась. Это главное объяснение:

– будущим развитием аппаратных устройств и информационных технологий, ориентированных на задачи управления движением;

– элементы интерфейсирования прибором нижнего технологического уровня: сетевые трансиверы, беспроводные трансиверы с интерфейсными модулями, периферия и логика управления;

– переходы на новую элементную базу и системы управления движением, которая состоит требования использования программных *ASIC*-процессоров и плавких *FPGA (FPGA/Programmable Gate Array)*;

– разработчик гибридных технологий интегрирует интерфейсы, позволяющие встраивать электронные и вычислительные устройства в механические узлы.

Конструктивный ИММ состоит из следующих основных элементов:

– двигатель;

– преобразователя движения;

– датчиков обратной связи и сенсорных устройств;

– управляющего контроллера;

– силового преобразователя;

– устройств сопряжения и связи.

В современных ИММ используют различные типы двигателей: угловой и линейного движения, переменного и постоянного тока, асинхронные и вентильные, шагового движения и другие.

В качестве преобразователей движения применяют зубчатые, винтовые и другие передачи. В конструкциях некоторых ИММ, построенных на базе высокомоментных двигателей, преобразователи движения отсутствуют.

В ИММ используются различные датчики положения и скорости (фотоимпульсные, вращающиеся трансформаторы, тахогенераторы) и датчики силы тока и момента, температуры и вибрации, которые передают информацию в устройство микропроцессорного управления о фактическом состоянии подсистем модуля.

Встроенные управляющие контроллеры, реализованные на современной элементной базе, позволяют получать высокоточные и надежные мехатронные узлы, обладающие интеллектуальными функциями, и строить на их основе многокоординатные мехатронные системы с децентрализованным управлением. В сочетании с открытой архитектурой систем управления типа *PC-NC* это позволяет создать качественно новые системы управления, обладающие расширенными функциональными возможностями, точностью и функциональной гибкостью.

Преобразователи энергии, чтобы они соответствовали качеству более конструктивно объединены и сервис корпуса, чтобы сделать устройства самонастраивающимися, недоступными для использования.

Следует заметить, что сущность ПЛМ определяется не таким структурным элементом, использованным в данной конструкции, а их перечнем и функциональным назначением.

Одним из авторитетных первых ПЛМ является модуль *SmartMatrix* американской фирмы *Actionics Corp.*, который появился на рынке в 1998 г.

Он создан на базе стандартного двенадцати дюймового (30 см, в одной из его версий вторую дополнительно были установлены ФИД, оказалось 32-битовый программируемый контроллер в устройстве связи с сетью. Модуль универсальный, может быть использован в мехатронных системах различного назначения. Принципиально подчеркивают, что до 70 % модуля состоит из стандартных элементов, что позволяет сделать его ремонтно-обслуживаемым надежность. Пользователь может самостоятельно выбрать режим управления (по положению, скорости или ускорению), а также использовать алгоритмы компьютерного управления, минимизирующие влияние люфта и пружинности деталей на динамические характеристики модуля.

Фирма *ДЖАМП*, как уже было сказано, выпускает ПЛМ *ДЖАМП РОБО Х*, состоящий из следующих элементов:

– вертикальной двигатель с люфтом от постоянных магнитов;

– планетарного волнового редуктора (четыре датчика Холла);

– тормозного устройства (может отсутствовать);

– встроенного ФИД;

– блоков преобразователя, закрепленного на крышке двигателя;

– консольного управляющего устройства, включающего регулятор движения, блока позиционирования и программирования, а также комплекта связей интерфейс для подключения к среде *DEVICE*.

Отличительной особенностью конструкции является наличие крышки для подключения силовых преобразователей, которая содержит электронный переключатель одного типа *ДЖАМП* и тормозной резистор, что позволяет при необходимости отключать двигатель без разрыва коммутационных и силовых (не связанных) линий к другим устройствам. Благодаря объединению коммутационных и силовой шин интерфейса торможение внутренней структуры модуля и обеспечивается его компактность.

Управление модулем осуществляет по стандартной линии *DEVICE*, при этом используются следующие режимы движения:

– перемещение в позицию согласно с программой заданной скорости и ретранслированию движения;

– движение с ретранслированной частотой приемных шин и ретранслированию движения.

Оператор с помощью специального программного обеспечения может задавать в программе движения приводных или исполнительных устройств, использовать методы компенсации зазора (люфта), получать сообщения о текущем положении и диагностике состояния модуля.

Технические данные модулей *XINJUWEI PUMA* 6 приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Технические характеристики ПЛМ *XINJUWEI PUMA* 6

Напряжение питания, В	24	48
Тип двигателя	Бесщеточный серводвигатель	
Номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин	3 000; 2 000	3 000; 3 000
Номинальный момент двигателя, Н·м	0,38; 0,36	0,48; 0,95
Номинальный ток двигателя, А	4,3; 9	3; 10
КПД двигателя, %	85	75
Момент инерции двигателя, кг·м²	$6 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$
Масса модуля, кг без редуктора с 1-ступенчатым планетарным редуктором с 2-ступенчатым планетарным редуктором с 3-ступенчатым планетарным редуктором с червячным редуктором	1,1 1,5 1,7 1,9 1,5	1,9 (4,0) 1,1 (1,2) 1,4 (1,9) — —
Примечание. Значение в скобках — масса модуля с тормозом		

ПЛМ *XINJUWEI PUMA* 6 фирмы *XINJUWEI* предназначена для реализации движений по одной управляемой координате при электроприводном управлении позиционной системой.

В состав модуля входят следующие элементы:

- интегрированный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов (энкодер сигнала (A/B/Z));
- преобразователь движения в тормозное устройство;
- блок силовой электроники;
- встроенный ПИД.

– интегратор для ярмарок;

– управляющие устройства, включающие в себя управляющий контроллер, блоки коммутирования и программирования, а также внешний интерфейс для связи [illegible].

Таверна ШИЛОВАЛЛЕЙ [illegible] включает в себя модули с диапазоном напряжения 2,1–6 кВт и частотой вращения 3 000 об/мин, имеющие способность на выходном валу максимальный крутящий момент 4–12 Нм. Масса модулей находится в диапазоне 12–26,7 кг.

Ф[illegible] применение источников модуля:

– [illegible] с [illegible] с возможностью свободного программирования последовательности движений;

– использование в качестве задающего устройства (Хост) в сети [illegible] с быстрым подключением обмена данными с ведущим устройством (Master);

– интерполированный вид движения отличается от других приводов, обеспечивающий параллельный контроль с интерполяцией движения в сети [illegible];

– встроенная система измерения обеспечивает точный перемещений;

– быстрый вход в эксплуатацию всех приводов на сети [illegible] с помощью свободной программы SimoCom U, работающей под Windows XP/Vista.

Фирма [illegible], производитель данных моделей, отмечает их следующие достоинства:

– различные модули интерфейсов в основе позволяют выполнять работы интерфейсов на любое управление.

– быстрое подключение каналов. Благодаря установке модуля и обычному виду кнопок, подключенных к сенсорным полю.

– интерполированное подключение сигналов с помощью 4 осей, которые выполняются как вход или полюс, установка требований для использования модульной измерений основа и стандартных кабелей.

– встроенная функция подключений с интегрированным переключателем кодом [illegible] позволяет отключить модуль от цепи предыдущей шины без прерывания других связей.

– быстрое диагностика и функции настройки, показывающие неисправность и готовность к работе, передачи информации по сети [illegible] и использования специальной программы SimoCom U;

– быстрое замена модулей с помощью карты памяти (Memory Card).

1.4. ГИДРОПРИВОДНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ

Типономиды ММ с гидроприводом являются силовыми и энергетическими модулями.

Электрогидравлический силовой ММ представляет собой механизм, который состоит из гидродвигателя вращательного или поступательного движения, дросселирующего распределителя с электроуправлением, регулируемых и управляемых насосов, а также электронных датчиков обратной связи [1].

Примеры силовых мехатронных модулей — поворотный силовой гидропривод СП и привод поступательного движения ППЭС.

Поворотный силовой гидропривод СП (рис. 1.22) предназначен для осуществления вращательных движений в пределах угла 270° в соответствии с программой, поступающей на вход управляющего устройства в виде электрических сигналов.

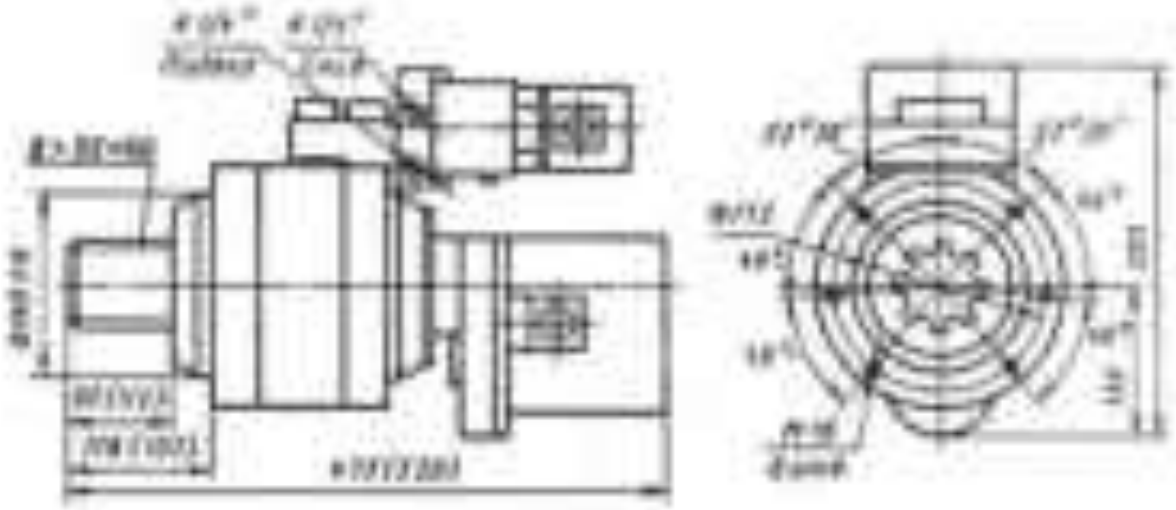


Рис. 1.22. Электрогидравлический силовой привод СП
(размеры без скобок — для СП2, в скобках — для СП3)

Приводы комплектуются мехатронными гидрораспределителями ДПГ (см. п. 2.2.2), электрогидравлическими усилителями мощности на базе дросселирующего распределителя, дросселем, предохранительными клапанами, датчиком обратной связи, соединителем и выходным валом через муфту-переходник.

Основные технические параметры приводов — см. табл. 1.6.

Привод электрогидравлический ППЭС предназначен для возвратно-поступательного перемещения рабочего органа машин в соответствии с программой, поступающей на вход управляющего устройства в виде электрических сигналов.

Таблица 1.6

Основные параметры электрогидравлических следящих приводов СП

Параметр	СП1	СП2	СП3
Номинальный крутящий момент, Н·м	800	1 250	2 000
Номинальное давление, МПа	6,3	12,5	
Номинальный расход, см³/мин	15		17
Максимальная условная скорость, с⁻¹	3,096		1,549
Максимальная условная погрешность позиционирования	± 7′	± 8′	± 10′
Масса, кг	56		63

Приводы ПЭГС «содержат гидравлический электрогенерирующий преобразующий распределительный, измерительный гидравлический (гидромеханический), блок датчиков и информационных устройств».

Электрогидравлические шаговые приводы (модули) были разработаны в конце 50-х гг. прошлого века в СССР и сразу получили широкое распространение и отличительное и зарубежном машиностроении как устройства для точного перемещения рабочих органов агрегатов с числовым программным управлением. В нашей стране освоены три типоряда приводов: ПШГ16.1, ПШГ16.2 и 1,5-2ГШ-3.

Основные параметры приводов ПЭГС приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Основные параметры электрогидравлических приводов ПЭГС

Наименование	ПЭГС-6	ПЭГС-8	ПЭГС-8М	ПЭГС-8М
Номинально рабочее давление, кгс/см²	80	200		
Номинальный расход, см³/мин	60		200	400
Номинальное давление, МПа	16		12,5	32
Максимальная скорость, мм/с	0,6	0,35	0,18	0,45
Быстродействие, мм	200	600	270	1 000
Погрешность позиционирования, мм	± 0,75		± 0,6	± 0,75
Масса, кг	35	50	65	65

Шаговый привод ЭПУ19-1 (рис. 1.23) состоит из вихревого гидромотора типа Г19-2 (см. п. 2.5.2), силового устройства в виде храпового колеса и шагового электромагнитного типа ШД-4. Вал гидромотора 1 муфтой 2 связан со втулкой 3, внутри которой расположен храповый механизм 4, соединенный с валом шагового двигателя. Каналы в корпусе втулки и храповой полости сообщаются с напорной и сливной линиями гидросистемы, а также с рабочими камерами гидромотора (полости I и II). В нейтральном положении (разрез А–А на рис. 1.23) золотник 4 перекрывает каналы во втулке 3, и жидкость в гидромотор не поступает.

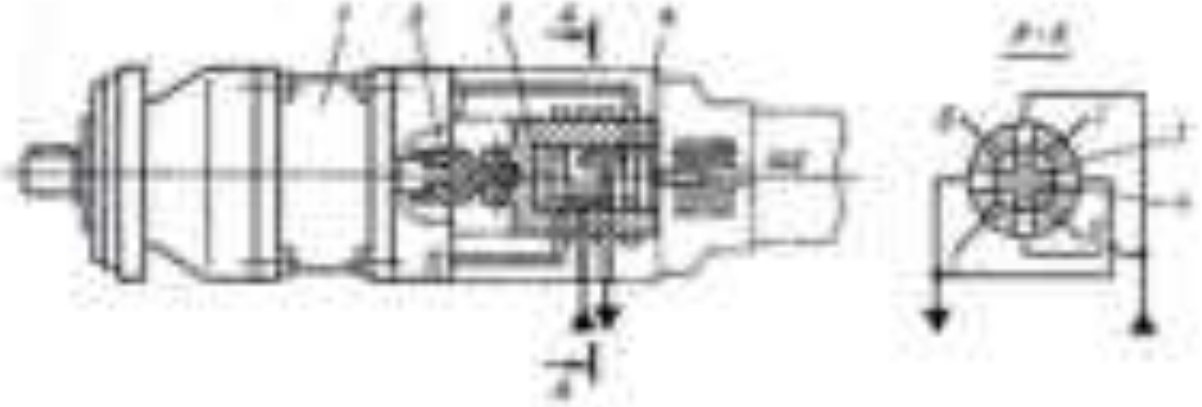


Рис. 1.23. Схема электрогидравлического шагового привода ЭПУ19-1

В шаговый двигатель подается импульсный ток. Каждый импульс обеспечивает поворот его вала вместе с храповым колесом на определенный угол (шаг, или угловую дискрету), чаще всего равный 1,5°. Золотник при этом открывает напорную и сливную линии, соединяя поочередно линию с каналом I, а сливную — с каналом II (или наоборот, в зависимости от направления вращения вала шагового двигателя). Вал гидромотора поворачивается вместе со втулкой 3 до тех пор, пока напорная и сливная линии снова не окажутся перекрытыми золотником 4, т.е. на угол, равный угловой дискрете шагового двигателя. Другими словами, частота вращения гидромотора равна частоте вращения шагового двигателя, и направление вращения вала гидромотора соответствует направлению вращения вала шагового двигателя. По отношению к шаговому двигателю гидромотор является гидравлическим усилителем мощности и крутящего момента.

Конструкция шагового привода ЭПУ19-2 отличается от ЭИЕ19-1 тем, что в ней использован дроссель-регулятор 4 (см. рис. 1.23) с осевым перемещением, связанный с валом шагового двигателя кинематической парой винт-гайка.

Основные конструкции 2Э3Т10-3 от 2Э2Т10-2 состоят в том, что они снабжены регулировочным винтом и системой вентиляционных отверстий для работы в обычных условиях, которая обеспечивает стабильную работу при умеренных нагрузках.

В табл. 1.8 приведены основные технические данные электромагнитных контактных приводов ЭМП10-1, 2Э2Т10-2 и 1,5-2Э10-3 (взяты по два привода из каждой секции).

Таблица 1.8

Основные параметры электромагнитных контактных приводов

Параметр	ЭМП 10-1Э1	ЭМП 10-1Э2	2Э2Т 10-2Э	2Э2Т 10-3Э	1,5-2Э 10-3Э	1,5-3Э 10-3Э
Рабочий объем, см³	0,02	0,16	0,02	0,16	0,07–0,02	0,08–0,16
Минимальное тяговое усилие, кГ/мм²	2,0		2,5±0,5	1,0±0,5	4,0±0,5	2,0±0,5
Номинальный ход рабочей штанги, ±0,5 мм	11	10	11	9,5	9–11	10–12
Наименьший ресурс, см³/мин	4	32	40	240	40	320
Максимальная угловая погрешность, не более, мин	± 1,4′	± 0,9′	± 1,2′			
Масса, кг	10	68	11,5	57	28,5	68
Примечание. Напряжение рабочее 0,2 кВ.						

Контрольные вопросы

1. Что такое индуктивность, потокосцепление индуктивности, взаимная индуктивность?
2. Что такое преобразование движения?
3. В чем суть самоустанавливающейся передачи?
4. Какие элементы входят в состав электромагнитного механизма движения?
5. Какие виды привода используются в электромагнитных механизмах?
6. Какие элементы входят в состав электромагнитного следящего привода?

2. ДВИГАТЕЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

2.1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

2.1.1. Электродвигатели углового движения

В ММ применяют различные типы двигателей углового движения, использующие в качестве рабочего тела

Наиболее простым в управлении является двигатель постоянного тока, так как при постоянном значении магнитного потока регулирование качества производят только изменением величины тока.

Следящий двигатель (иногда его называют исполнительным) состоит из следующей кинематической цепочки: датчика обратной связи, усилителя и непосредственно устройства управления.

Управление следящими двигателями сложнее, поскольку при фиксированном значении магнитного потока, кроме регулирования величины тока, необходимо также регулировать величину пространственного угла, добиваясь получения требуемого значения момента.

Наиболее сложным в управлении является асинхронный двигатель. Управление им требует регулирования тока статора при поддержании постоянства магнитного потока и пространственного угла для получения максимального значения развиваемого момента.

Он большинству других характеристик, в приводе может не использоваться, поскольку двигатель переменного тока применяют значительно реже постоянного тока.

При выборе двигателя постоянного тока необходимо учитывать его форму, так как она в значительной мере определяет конструктивные параметры ММ. Он конструктивно выполняется двух видов двигателей: коллекторной формы ($Z/D \geq 2$) и безлюфтовой ($Z/D \geq 1$), где Z — длина двигателя, D — диаметр его корпуса. Форма двигателя зависит от конструкции якоря и вида встроенных датчиков. В качестве трех видов конструктивного исполнения якорей двигателей постоянного тока используются: гладкий и полый. При якоре определяют по наличию на нем пазов (выступов) или отсутствию пазов (гладкий) и выполняется якорь полым или сплошным (полюсовым).

По способу возбуждения напряжения в обмотку якоря двигателя постоянного тока делят на электромагнитные и постоянных (магнитных).

Двигатели с синхронным якорем имеют отличающийся высокий вентиль якоря при начальный его давно. Следовательно, конструктивная форма двигателя обусловлена конструкцией якоря. Эти двигатели малошумны, обладают большой прочностью и надежностью. К ним относятся, например, коллекторные двигатели с обмоткой возбуждения серий Д и СД, а возбуждения от постоянных магнитов серий ДИ и ДПМ и т.п.

У двигателей серий Д и СД, например, Д-250, СД-150 цифры 25 и 150 в их обозначении указывают значение номинальной мощности, Вт. В обозначении двигателей серии ДПМ некоторые сколько 100 Вт, например ДПМ-1Л, цифра обозначает величину номинальной мощности. Вы, а мощностью менее 100 Вт, например ДПМ-25, — наружный диаметр корпуса, мм.

Двигатели с неизолированным якорем имеют коллекторную (условленную) форму. В них постоянные магниты могут находиться как внутри ротора, так и снаружи. В последнем случае можно получить вращение с большей мощностью, чем при расположении магнитов внутри ротора.

Эти двигатели обладают более высокой КПД и большим быстродействием по сравнению с двигателями с изолированным якорем.

Двигатели с неизолированным беспазовым якорем имеют форму вогнутого цилиндра, длина которого больше диаметра. Якорь у таких двигателей представляет собой закрепленный на валу тонкий изоляционный диск.

Потребление такого двигателя обычно создается постоянными магнитами (реже обмоткой возбуждения), расположенными в торцевой плоскости, так что двигатель имеет не цилиндрический (рассеянный) воздушный зазор, а плоский (осевой), вследствие чего уменьшается общий габарит двигателя.

Данные двигатели обладают большим быстродействием, чем классические, так как их вращающаяся часть имеет малый момент инерции. При этом кратность пускового момента у них выше (до 10), чем у классических.

У двигателей с дисковым якорем отсутствует пробитая отводка тока, так как питание подается якоря отводится через. Поэтому ММГ с двигателями с дисковым якорем рекомендуется устанавливать на металлическое основание, предотвращающее проникновение их излучения.

Условное обозначение высокомоментного двигателя серии ДТ с дисковым якорем с применением обмоткой, выполненной по печатной, и потребляемой от постоянных магнитов, например, ДТП25-60-1-24 расшифровывают следующим образом: 125 — диаметр корпуса, мм; 60 — номинальная мощность, Вт; 1 — частота вращения вала, тыс. об/мин; 24 — напряжение питания, В. В двигателях

класса с защитой корпуса с литой оболочкой и выбрасывать от настоящих частотно серии ПЗ, например ПЗ-91, цифра 91 указывает значительность. Нет. Двигатели серии ПЗ выбраны встроенным тахогенератором.

Конструкция двигателя постоянного тока обладает малой массой служб, механизмов и исполнительных в воздействии окружающей среды, жарким под питанием, образованием частичной пыли. Эта конструкция связана с частичной сложностью контакта и щеточно-коллекторным узлом.

У бесконтактных двигателей постоянный коллектор заменен полупроводниковым переключателем (коммутатором) на полупроводниковых приборах. Коммутатор управляется датчиком положения ротора. Габаритные размеры и масса двигателя несколько увеличиваются, но надежность повышается значительно и долговечность по сравнению с коллекторными двигателями.

Бесконтактный двигатель содержит совершенно новый и датчик угла положения ротора. Бесконтактный двигатель постоянного тока имеет инверсное (обращенное) исполнение, т.е. обмотка якоря расположена в пазах статора, а на роторе размещены постоянные магниты с одной или двумя парами полюсов.

В качестве датчиков положения ротора применяют оптроны, полупроводниковые преобразователи Холла, трансформаторы (резольверы), датчики Холла.

При лазерных станках управления используют цифровые датчики положения.

Срок службы совершенных бесконтактных двигателей не менее 10 000 ч.

Примером высокоэффективных бесконтактных двигателей является двигатель серии БК.

В МАИ широко применяют бесконтактные двигатели переменного тока, обладающие следующими преимуществами: длительный срок службы (гарантийный срок службы более 40 000 ч); высокая допустимая кратковременная перегрузка по току; возможность использования в агрессивных средах (отсутствует коллекторный контактный механизм, источник искрения и другого рода); небольшие массогабаритные параметры, удобные с точки зрения использования двигателя (не использующего редуктор).

Рассмотрим конструкцию и принципы действия бесконтактного.

Асинхронные двигатели применяют режим полевой коммутации, двухфазные и трехфазные с короткозамкнутым в фазами ротором. В настоящее время в МАИ находят наибольшее применение трехфазные асинхронные электродвигатели серий ДАТ, 4А, АИР, ЛАИ.

Регулирование скорости асинхронного коллекторного двигателя производят путем изменения подводимой частоты в этих электродвигателях. Таким регулированием называют частотно-импульсным.

Синхронные двигатели применяют в регулируемом электроприводе. Они характеризуются точной скоростью, высоким КПД, независимостью, широким функциональным возможностям. Применение синхронных двигателей в ЭМ обеспечивает высокую частоту вращения выходного звена, малое время (менее 0,1 с) разгона от нуля до максимальной частоты вращения, отсутствие скольжения, малые массу и габариты, небольшой момент инерции, высокую перегрузочную способность и электрическое торможение, широкий диапазон регулирования частоты вращения.

Электромагнитный момент синхронного двигателя зависит от напряжения питания, частоты, тока и пространственного угла между векторами магнитного потока и тока.

У синхронных двигателей угол ψ положения ротора относительно статора контролируется дискретным датчиком. Пропорционально регулирование в цепи якоря достигается путем регулирования тока. Система управления — замкнутая.

Такой режим работы позволяет реализовать бесконтактного двигателя постоянного тока. При работе в них синхронный двигатель имеет механические и регулировочные характеристики двигателя постоянного тока.

Одним важным нерегулируемым свойством синхронной двигатель приобретает за при запретить, а при открывании вентиля включении ротора в соответствии равностью угол $\psi = 90°$, тем самым формируется максимальное значение тока в каждой фазе. В этом случае двигатель имеет самые высокие энергетические характеристики.

Примеры синхронных вентильных двигателей являются двигатели серий ДВУ (на питании от фидера постоянного) ДДВУ (на реверсивном напряжении) ЧДВУ (высокие по реверсивным питанию).

Максимальный допустимый момент этих двигателей равен (ограничение почти питания).

При двигателе серии ДДУ имеет преобразовательный вентильный датчик типа ПДВ-Я или ПДФ-Э, включающий в себя бесконтактный тахогенератор, бесконтактный датчик положения ротора и датчик положения для встроенный датчик электронного включения. Принцип выработки двигателей от встроенных электронагревателей принцип.

Следует отметить меня направлено в конструктивном исполнении двигателей предусмотрены в отдельно двигателей для непосредственного встраивания в механизм, и по принципу универсального применения и назначению. В состав таких двигателей не входят вал, опорные щиты и подшипники, что существенно упрощает конструкцию применяемых двигателя.

В качестве примера могут быть приведены компактные бесконтактные двигатели серии ДБМ (рис. 2.1). Они имеют полностью встраиваемую конструкцию из статора 1 и ротора 2 и предназначены для работы в замкнутых регулируемых

Рис. 2.1. Внешний вид двигателя ДБМ

Подобное исполнение обеспечивает интегрирование для увеличения требуемого момента, т.е. конструкция двигателя в этом случае представляет собой пакет электрических машин с общим датчиком положения ротора.

Условное обозначение двигателя серии ДБМ, например, ДБМ-63-0,08-3-3 расшифровывается следующим образом: ДБМ — двигатель бесконтактный моментный, 63 — наружный диаметр корпуса, мм, 0,08 — номинальный момент, Н м, 3 — номинальная частота вращения, тыс. об/мин, 3 — число фаз.

Двигатели серии ДБМ спроектированы для работы с малыми скоростями и большими моментами и обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными бесконтактными двигателями: повышенным ресурсом работы, большим отношением крутящего момента к моменту инерции ротора, что обеспечивает высокое быстродействие, высокой точностью отработки угла поворота из-за отсутствия упругих связей в люфтов. Применение таких двигателей в МИ позволяет во многих случаях отказаться от промежуточных механизмов.

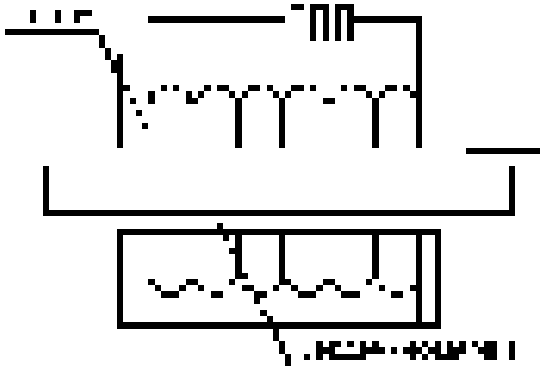
В большинстве случаев двигатели серии ДБМ используют в режиме бесконтактной машины постоянного тока.

В качестве датчика положения ротора в ММ с двигателем серии ДБМ используют бесконтактный токовый оптический вращающийся трансформатор типа ротатосин.

3.2.3. Электродинамические динамометрические приборы

[illegible]

[illegible]



[illegible]

[illegible]

[illegible]

выпуск станков (или в основном электрооборудование) с применением линейных шаговых двигателей, в которых решены все проблемы по обеспечению равномерности движения подвижного звена станка по направляющей поверхности, с высоким быстродействием регулирования скорости, пригодными электронными, механическими и ресурсными, простотой обслуживания и низкой ценой.

Можно представить себе «получение» линейного движения из двигателя углового движения (рис. 2.3) и результат предложения разрезать статор и развернуть его в плоскость. Ротор также следует развернуть. В результате движение «ротора» становится линейным. Обратное сворачивание линейного двигателя (рис. 2.4) показывает, что конечный вал превратится в плоскость линейного двигателя такого типа.

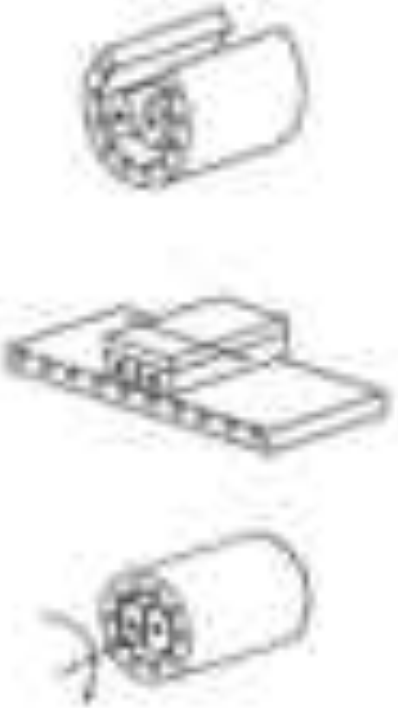
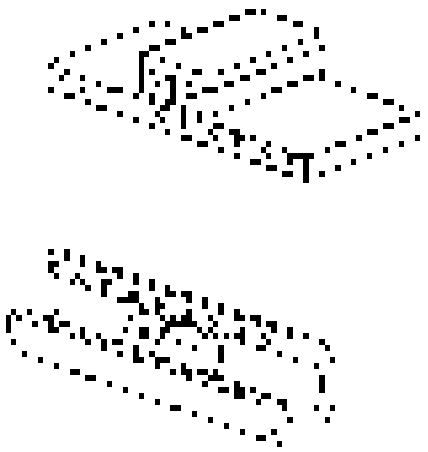
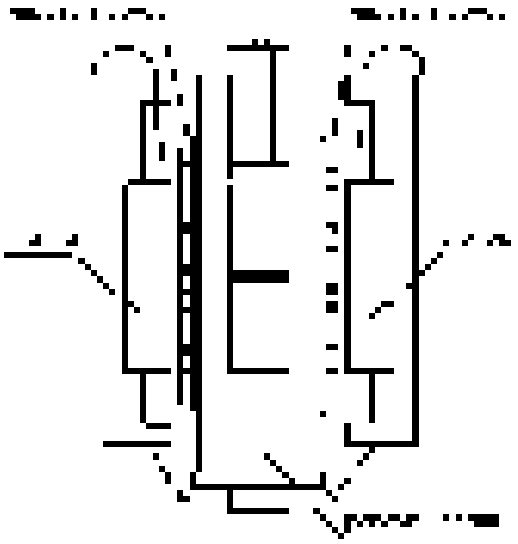


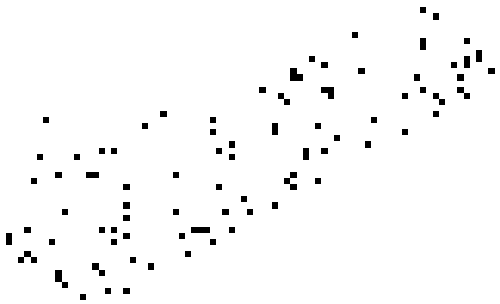
Рис. 2.3. Получение линейного двигателя
разверткой двигателя вращательного движения

Следует отметить, что двигатель может быть «ротор», либо «статор». Как сказали об этом выражались. Если вырезался «статор», то движется «ротор», при вырезании «ротора» движется «статор».

Таким образом, линейный двигатель состоит из двух основных элементов: электромагнитного «статора» 1 и подвижного «ротора» 2 (рис. 2.5, а, б) с воздушным зазором между ними. Для перемещения ротора вдоль неподвижного статора по направлению своего установленного электрического сигнала у выполняется дискретность (0,1 мм).







Двигатель состоит из направляющего устройства (статора), представляющего собой толстую стальную пластину *1* с пазами, на дне которых уложены трехфазные распределенные постоянные магниты *2*, и подвижного звена (ротора) *3*, состоящего из группы катушек, залитых теплопроводной эпоксидной смолой, датчика Холла *4*, подключенного к катушкам набора *5* и кабеля *6* датчика Холла. Направляющее устройство соединяет по схеме данный *D*, через которые осуществляется необходимый алгоритм двигателя.

Линейный двигатель *Cogdrive Brushless Linear Servo Motor* фирмы *Baldor Electric Company* изображен на рис. 2.8. Он состоит из направляющего устройства (статора), представляющего собой толстый [_-образный стальной профиль *1* с пазами, на дне которых уложены трехфазные распределенные постоянные магниты *2*, и подвижного звена (ротора) *3*, содержащего (в зависимости) рассматриваемую также линейную двигатель *Iron Core Brushless*

Рис. 2.8. Линейный двигатель *Cogdrive Linear Servo Motor*

2.2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

2.2.1. Классификация гидравлических двигателей объемного вытеснения

Гидродвигатели, используемые в работе приводе соответствуют данному виду, называются *двигателями объемного вытеснения*, а гидронасосы в виде — *объемными гидронасосами*.

Гидродвигатели, используемые в работе приводе вращательного действия вида, отличается в *турбинными*. Конструктивными элементами турбинами, взаимодействующими с жидкостью, являются лопасти (лопатки), поэтому вместо термина «турбинными» используют также термин лопастные гидромашины.

Основные характеристики двигателей объемного вытеснения перед их выбором с точки зрения их применения в гидроприводе МЧ следующие:

– известно характеристика слабая зависимость потребляемого расхода жидкости от давления, т.е. от нагрузки;

– возможность обеспечения малых скоростей, так называемых ползучих, вращений рабочих органов;

– хорошая управляемость;

– слабая зависимость КПД от режима работы.

Преимущества зубчатых гидродвигателей:

– высокая надежность, обусловленная малой производительностью при равных размерах;

– относительная простота конструкции.

Отмечено, что хорошие частоты двигателей объемного вытеснения отрицательные. Применение многих типов гидромашин в МЧ позволяет создавать малогабаритные высокомощные и надежные устройства.

Поэтому далее будут рассмотрены гидродвигатели объемного вытеснения, что, как их они называют, объемные гидромашины.

Классификация объемных гидромоторов изображена рис. 2.9.

По виду движения рабочего органа различают гидромоторы поступательного движения (гидроцилиндры) и вращательного движения.

Гидромоторы способны развивать рабочие усилия как при прямом, так и при обратном движении, называются гидроцилиндрами двустороннего действия и могут быть выполнены с односторонним или двусторонним штоком.

Гидромоторы, предназначенные для создания усилия постоянного направления (в одном направлении под рабочей, в обратном — холостой), называются гидроцилиндрами одностороннего действия и могут быть пружинного или гравитационного.

Гидромоторы вращательного движения подразделяются по числу выполняемых (основных гидромашин) и вспомогательных, имеют основные гидродвигатели вспомогательного привода.

Объемные гидромоторы подразделяются на шестеренные, винтовые, пластинчатые и поршневые. Они могут иметь регулируемый и нерегулируемый рабочий объем.

Шестеренные гидромоторы, отличаются высокими массогабаритными показателями, подразделяются на радиально- и аксиально-поршневые, планетарные и пластинчатые.

В зависимости под гидромашина будет подразумеваться именно гидродвигатель вспомогательного привода.

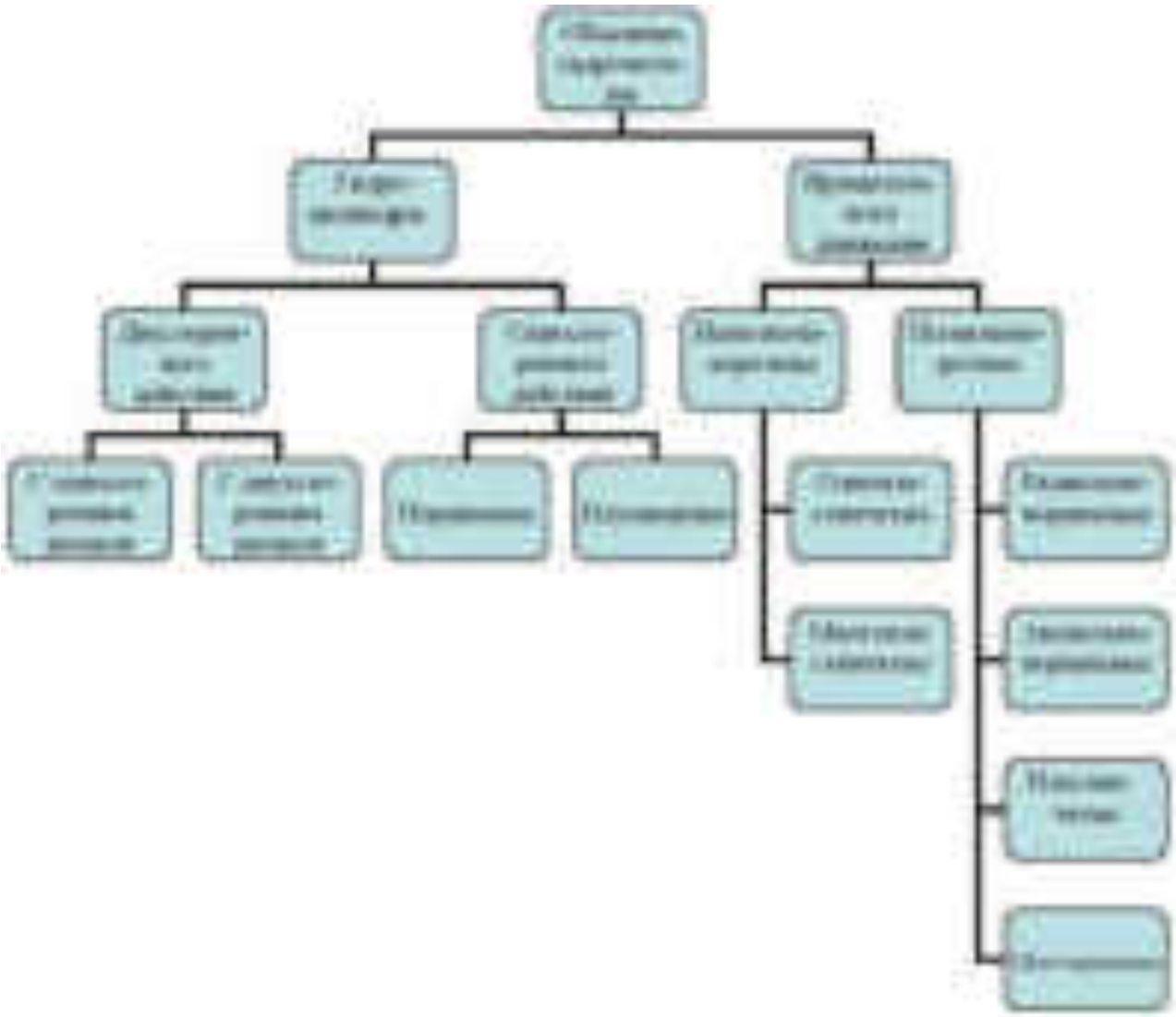


Рис. 2.3. Классификация систем объемного пилотирования

Следует сказать, что такие очень важные свойства подлежащих как гидравлическая. Поэтому вводятся под названием давления в основе использования высоко прочного и прецизионного ротора и позволяет так или иной эффективно выполнять по точным интервал гидравлическая жесткость, и с таким начинают работать как гидравлика. Причина конструкция насоса и гидравлическая одна и тем же приводить действие имеет практически основные основные понятия.

2.2.3. Гидравлические двигатели вращательного движения

Серийно выпускаемый лопастно-поршневые гидромашины представляет собой достаточно сложные агрегаты, некоторые из них имеют субтильную пространственную, сравнительно постоянную и распределенную и т.д. Из эле-

соображения показался таким, что применение этих гидроузлов в ММ практически невозможно. Есть, однако, и среди релейно-поршневых гидромоторов очень интересные с этой точки зрения.

Скорее, в частности, особо рассмотреть устройство радиально-поршневого гидромотора многократного действия, иначе называемого высокомоментным гидромотором.

Схема высокомоментного гидромотора приведена на рис. 2.10.

Характерной особенностью его конструкции является статор, внутренняя поверхность которого спрофилирована таким образом, что поршень за один оборот ротора совершает несколько двойных ходов (в гидромоторе по рис. 2.10 таких двойных ходов четыре).

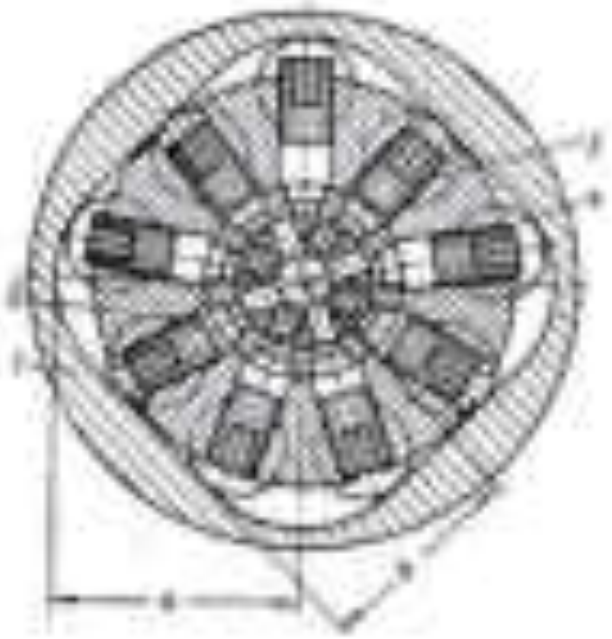
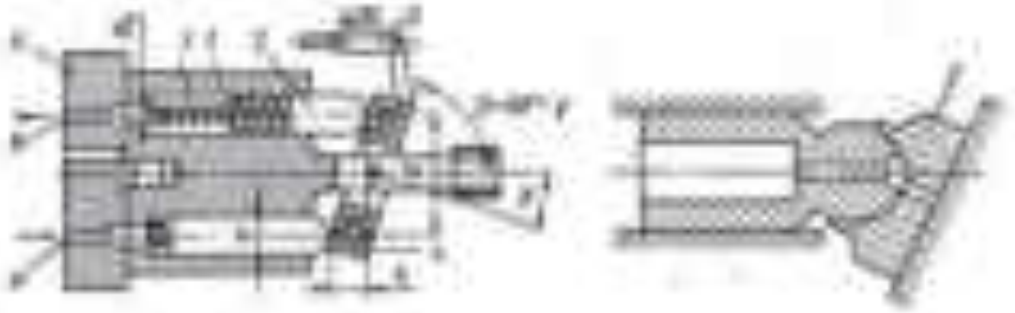


Рис. 2.10. Роторно-поршневой высокомоментный гидромотор:
1 — статор; *2* — блок цилиндров (ротор); *3* — поршень; *4* — ролик

Пусть в общем случае число двойных ходов гидромотора равно m. Тогда расход жидкости, потребляемый такой гидромашиной, будет в m раз больше, чем гидромотором одинарного действия при тех же перемещениях и диаметрах поршней, но столько же раз выше крутящий момент и меньше угловая скорость ротора. А если принять во внимание, что при необходимости можно обеспечить $m = 20$, то становится очевидной целесообразность применения высокомоментных гидромоторов в ММ с большими значениями крутящего момента и весьма малыми частотами вращения выходного вала.

Показано-нормальные лифтовые блоки позволяют и удобны для применения в МКД, чем радиально-отрезные, потолку и используются они значительно чаще. В настоящее время предприятиями выпускается широкая номенклатура подъемников рассматриваемого типа по расчетным давлениям и расходам жидкости.

Принцип действия эксплуатационного подъемника показан рис. 2.11, *а*.



а *б*

Рис. 2.11. Схема эксплуатационного подъемника:
а — конструкция; *б* — впускной патрубок;
1 — ротор; *2* — гидроцилиндр; *3* — окно всасывания и нижней заслонки; *4*, *5* — пружины; *6* — узел распределения жидкости; *а* — окно для подачи жидкости; *в* — сливное окно; *г* — впускной патрубок

При подаче жидкости по линии нагнетания через узел распределения *б* в окно *а* плунжер *2* гидроцилиндра, взаимодействующий с нижней заслонкой *4* (открытие которой осуществляется давлением жидкости, выдавливается за пределы «зеркала» расположения *б* из цилиндра. За последующую половину оборота ротора аналогичная операция выполняется и другим плунжером, и жидкость через узел распределения *б* поступает в сливную линию.

Пружины *5* обеспечивают постоянный контакт плунжеров с упорными поверхностями нижней заслонки.

Механизм качания (*3* — окно впускное; окно) изменяет угол *γ* наклона заслонки *4*, причем соответственно изменяется ход плунжера *h* по закону

$$h = D\sin\gamma, \qquad (2.1)$$

где *D* — диаметр окружности, на которой расположены плунжеры в роторе.

Очевидно, что конструктив шайбы *4* против часовой стрелки начнет получать $h > 0$ и, следовательно, начнет создавать гидростатическую, а затем и результирующую гидродинамическую подъемную силу.

Сегодня *бывшие* *f* (рис. 2.11, *б*) позволяют заменить клиновой контур плунжера *c* поверхностью сегмента шайбы конструктивно аналогично (сферическая с выемкой — по сферической поверхности, выемка с высотой шайбы — по плоскости) и таким образом сделать неизменность клина контактирующих поверхностей.

Иначе решены задачи изменения частоты вращения и использования высоких, конструкция которого показана на рис. 2.12.

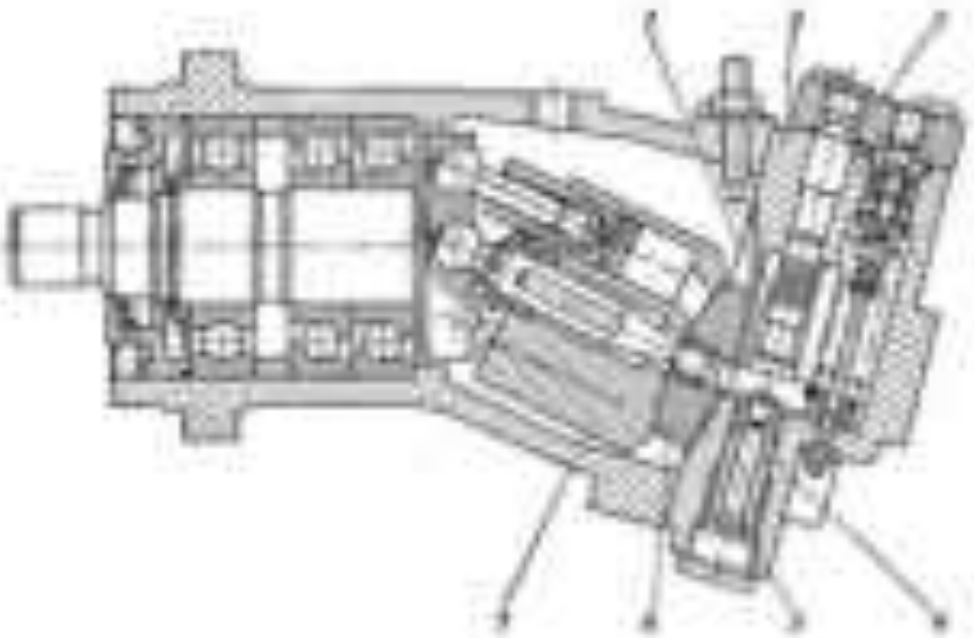


Рис. 2.12. Аксиально-поршневой гидромотор, регулируемый изменением угла наклона блока цилиндров:
1 — цилиндрический пол; *2* — крышка корпуса; *3* — полость; *4* — поршень; *5* — гидроцилиндр; *6* — распределитель; *7* — блок цилиндров

Его распределитель *6* имеет возможность качаться по цилиндрическому полу *1* в крышке корпуса *2*. Изменение угла наклона блока цилиндров *7* осуществляется гидравлой *4* управляемости гидроцилиндра *5* при подаче в его полость *3* жидкости под давлением.

В качестве примера в табл. 2.1 приведены основные параметры серийных высокомоментных аксиально-поршневых регулируемых гидромоторов ряда Г15-2.

На рис. 2.13 показан внешний вид аксиально-поршневого регулируемого гидромотора Г12-21Р.

Таблица 2.1

Основные параметры аксиально-поршневых гидромоторов ГПА-2

Параметр	ГПА-210	ГПА-220	ГПА-280	ГПА-240	ГПА-250
Номинальный крутящий момент, Н·м	9,4	16,7	33,5	46,7	133
Номинальный расход, дм³/мин	10,8	19,2	38,4	76,8	154
Номинальная мощность, кВт	0,98	1,7	3,4	4,8	13,6
Масса, кг	4,5	5,8	12	20	40
Примечания 1. Номинальная частота вращения 960 об/мин. 2. Номинальное давление 4,4 МПа 3. Полный КПД 0,87.					

Рис. 2.13. Аксиально-поршневой регулируемый гидромотор ГПА-210

Наименьшими гидромашины в ММ составляют определенную конструктивно гидроаппаратуру аксиально-поршневых. Поэтому интересно сравнить между собой технические конструктивный состав и рабочие параметры.

Схема гидравлического гидроаппарата двойного действия показана на рис. 2.14.

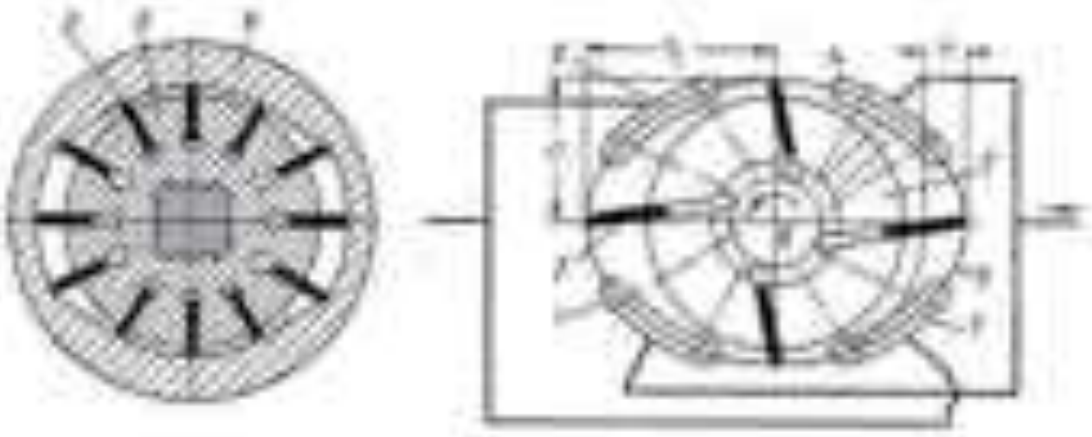


Рис. 2.14. Поперечный гидроагрегат свободно-поточный
1, 4 — плоские щиты; *2* — водоток; *3, 7* — подводящая часть;
5 — ротор; *6* — статор

Поверхность статора 6 спрофилирована таким образом, что при вращении ротора *5* против часовой стрелки жидкость под давлением поступает в поток через щели *3* и *7* и выходит в нижнюю зону через щели *1* и *4*. Силы давления воздействуют на ротор со стороны плоской подачи жидкости уравновешиваются.

Недостаток такого гидроагрегата — невозможность их регулирования.

Основные рабочие параметры гидроагрегата ГЭ6-1-М даны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Основные параметры плавучих гидроагрегатов ГЭ6-1-М

Параметр	ГЭ6-1/50	ГЭ6-1/250	ГЭ6-1/400	ГЭ6-1/650	ГЭ6-1/850
Номинальный крутящий момент, Н·м	6,2	12,5	24,0	40	48
Номинальная частота вращения, об/мин	68	88,6	95,0	67,2	129
Номинальная мощность, кВт	0,6	1,2	2,4	4,0	9,0
Номинальное напряжение, кВ	6			7	
Полный КПД	0,7	0,83	0,68	0,71	0,76
Масса, кг	0,3		19	24	
Примечание. Номинальное напряжение 6кВ частота					

При сравнении параметров планетарных и зарубежных гидромашин обращает на себя внимание существенно меньший объемный КПД планетарных гидромоторов. Причина этого состоит в невозможности предотвращения перетечек жидкости между плунжером и поверхностью рабочего статора, между плунжером и боковыми стенками.

К достоинствам планетарных гидромоторов следует отнести их более простую конструкцию.

Об эксплуатационных преимуществах аксиально-поршневых гидромоторов перед планетарными говорит следующее данные.

По минимальному расходу более гидромоторы Г15-2И1 и Г16-1ЭМ, но Г15-2И1 развивает в 1,4 раза большие крутящий момент и мощность, имеет полный КПД в 1,26 раза выше, причем износ его только в 1,2 раза больше. К этому следует добавить, что Г15-2И1 способен работать при перепаде давлений 12,5 МПа, а Г16-1ЭМ — 8 МПа, и уровень шума у Г15-2И1 на 12 дБ(А) ниже, чем у Г16-1ЭМ.

Разумеется, такого «жесткого» сравнения недостаточно, чтобы однозначно утверждать о преимуществе аксиально-поршневых гидромоторов. В каждом конкретном случае необходимо рассматривать и сравнивать все ММ и сравнивать варианты по стоимости, габаритам и т.д.

В конструкциях ММ находят широкое применение *многоплунжерные гидроцилиндры, или планетарные гидромоторы.*

Схема *планетарного гидроцилиндра с осью вращения* показана на рис. 2.13. Он состоит из корпуса *1* и ротора, представляющего собой втулку *2* и плунжеров *3*. Кольцевая полость между внутренней поверхностью корпуса и втулкой разделена перемычками *4* с уплотнительными элементами *5*.

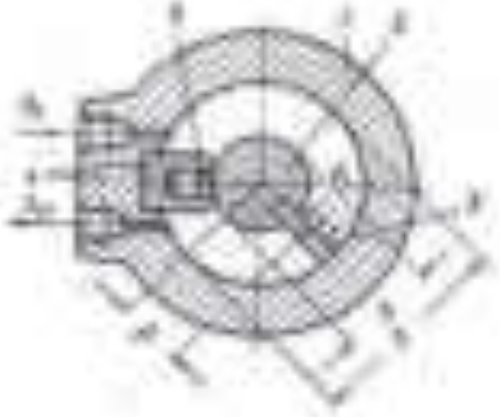


Рис. 2.13. Планетарный гидроцилиндр:
1 — корпус; *2* — втулка; *3* — плунжер; *4* — перемычка;
5 — уплотнительный элемент

При осевой вязкости под давлением p_0 в верхней камере плунжера 3 и клупой 2 соединяется со нижней отрезок. Максимальный угол поворота обычно равен 270°.

Развиваемый механизмом гидроцилиндром крутящий момент

$$T = (p_0 - p_{ст})A_{ш}\rho m_{ср}, \qquad (2.2)$$

где $p_{ст}$ — давление жидкости в нижней камере; $A_{ш}$ — площадь рабочей поверхности плунжера; ρ — плечо приложения силы давления.

Площадь рабочей поверхности плунжера

$$A_{ш} = (D - d)\frac{b}{2}, \qquad (2.3)$$

где b — ширина плунжера по оси поворота.

Плечо силы давления:

$$r = \frac{D + d}{4}, \qquad (2.4)$$

полагая, что $p_{ст} = 0$:

$$T = 0{,}125p_0(D^2 - d^2)b\eta_{ш}. \qquad (2.5)$$

Угловая скорость ротора

$$\omega = \frac{2Q_{н}}{A_{ш}r} = \frac{8Q_{н}}{(D^2 - d^2)b}. \qquad (2.6)$$

В отличие от гидроцилиндров поступательного движения, в механизмах гидроцилиндров $\eta_{ш} < 1$, так как достаточно эффективно уплотнить зазоры между плунжером, корпусом и боковыми стенками не удается.

Многооборотный механизм гидроцилиндра создает две или три плунжера и развивает соответственно большие крутящие моменты, но меньшие угловые скорости (при равном расходе жидкости); причем максимальный угол поворота соответственно уменьшается.

Для многоскоростных гидрогенераторов формулы (2.7) и (2.8) принимают следующий вид:

$$\Gamma = 0{,}125 p_1 z_2 (D^2 - d^2) b_{\text{ст}}, \tag{2.7}$$

$$n = \frac{\Omega_{\text{ст}}}{k_{\text{ст}} t} = \frac{\pi (D_{\text{ст}} + \delta)}{(D^2 - d^2) t}, \tag{2.8}$$

В (2.7) и (2.8) t — число полюсов.

Основные габаритные параметры серийно выпускаемых явнополюсных гидрогенераторов ДВГ приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные параметры явнополюсных гидрогенераторов ДВГ

Параметр	ДВГ 56-	ДВГ 63-	ДВГ 127-	ДВГ 260-
Номинальный крутящий момент, Н·м	560	630	1250	2500
Расход при номинальной угловой скорости, м³/мин	3,6	4,3	12,5	20
КПД: полный объемный	0,9 0,94	0,92 0,95	0,89 0,98	0,9 0,98
Масса, кг	9	14	40	85

Примечание:
1. Условная скорость вращения 3,14 с⁻¹.
2. Номинальное давление 16 МПа.
3. Класс измерения 2Т.

Шестеренные гидромашины можно классифицировать по числу зацеплений.

На роторе гидромотора нарезаны зубчатые венцы *1* (рис. 2.16), в зацеплении с которой находятся шестерни *4*. Зазоры между вершинами зубьев шестерен и внутренней поверхностью корпуса *3* малы. Жидкость под давлением поступает в полость *5*, проходя через окно во крышке. Из полости *5* в полость *2* жидкость перемещается во впадинах между зубьями, ограниченных поверхностью корпуса и двумя (верхней и нижней) боковыми крышками.

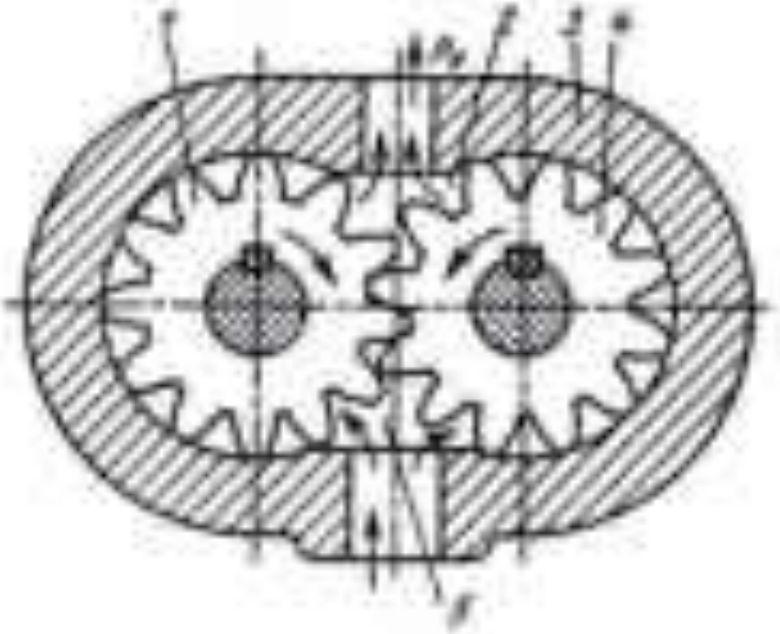


Рис. 2.16. Схема действия шестеренного гидромотора:
1, 4 — шестерни; *2* — подающая полость; *3* — корпус;
5 — сливная полость

Об одном из достоинств шестеренных гидромоторов — конструктивной простоте — уже сказано выше.

Кроме того, следует отметить надежность в эксплуатации и несколько более высокий, по сравнению с пластинчатыми насосами, объемный КПД.

Основной недостаток этих гидромашин состоит в невозможности их регулирования. Попытки создать регулируемый шестеренный насос предпринимались, но успеха до настоящего времени достичь не удалось, так как конструкция резко усложняется, увеличивается утечки, снижается качество заделки и снижается тем надежность и долговечность и т.п.

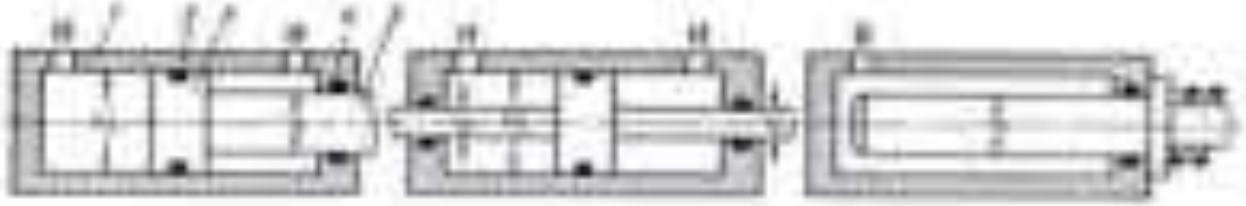
Также нужно указать на сравнительно низкий механический КПД. Дело в том, что ротор и шестерня *4* (рис. 2.16) установлены обычно на подшипниках скольжения, что дает возможность уменьшать размеры насоса и мотора и избежать большие утечки, но увеличивает потери мощности на трение.

2.2.3. Гидроцилиндры

Принцип работы гидроцилиндров показывается рис. 2.17.

Гидроцилиндр состоит корпуса (гильзы) *1*, в котором расположен поршень *3*, шток *5* которого выходит наружу. Зазор между поршнем и корпусом перекрыт уплотнением *2*, а между штоком и корпусом — уплотнением *4*

При расчете гидроциклонов необходимо принимать во внимание силы трения между утилизируемыми частицами и движущимися поверхностями. Эти силы учитываются механическим КПД, величина которого, по различным данным, находится в интервале $\eta_{мех}$ = 0,85-0,98. Конкретное значение $\eta_{мех}$ на стадии расчета определить невозможно, оно зависит от многих факторов.



а б в

Рис. 2.13. Схемы гидроциклонов:
а — гидроциклон двухстороннего действия с одинаковыми патрубками;
б — гидроциклон двухстороннего действия с двумя разными патрубками;
в — гидроциклон одностороннего действия с пульпоприемной

Одна из них — диаметр эквивалентной поверхности с величиной которого величина $\eta_{мех}$ связана линейной зависимостью. К сожалению, полученные по значения $\eta_{мех}$ результаты не приводились в различных источниках формулах, таблицах. На основе анализа ряда научно-технических работ могут быть рекомендованы для использования на стадии предварительного расчета следующие значения $\eta_{мех}$:

- при диаметре корпуса (полюфра) до 40 мм $\eta_{мех}$ = 0,85;
- при диаметре корпуса свыше 40 до 60 мм $\eta_{мех}$ = 0,9;
- при диаметре корпуса свыше 60 до 125 мм $\eta_{мех}$ = 0,92;
- при диаметре корпуса свыше 125 мм $\eta_{мех}$ = 0,95.

У гидроциклона двухстороннего действия с одинаковыми патрубками перепадную кривую от корпуса на рис. 2.17, а) и аналогичную кривую от корпуса на рис. 2.17, а) нельзя. От того, в какую полость подается жидкость под давлением, зависит условие на входе и скорость движения потока. Подача жидкости в гидроциклоны возможна при условии, что давление в исходной полости выше отличается от атмосферного, обеспечивающего условие:

$$F_i = \frac{\pi D^2}{4} \eta \eta_{мех} \qquad (2.0)$$

и скорость подвижного потока по выражению

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi D^2}, \tag{2.10}$$

где Q — расход постоянной в каналах жидкости.

При подаче в потоковую полость клапана равно

$$F_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p_{max}, \tag{2.11}$$

скорость перемещения потока в каналах

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2)}. \tag{2.12}$$

Условие в скорость перемещения потока гидрораспределителя с двухсторонним потоком (рис. 2.17, б) не зависит от того, в какую полость подается жидкость, и определяется по формулам (2.11) и (2.12).

Условие и скорость подвижного плунжера гидрораспределителя, изображенного на рис. 2.17, в, определяется по формулам (2.9) и (2.10), в которых вместо D подставляется диаметр плунжера. Такой гидрораспределитель под действием давления жидкости соединяет вход в нужную сторону (на рис. 2.17, в — верхнюю), а обратный вход — под действием пружины (на рис. 2.17, в — показан пружины).

В настоящее время действуют ряд стандартов на гидрораспределители. В начале прошлого века у были приняты стандарты на гидрораспределители для станочных приспособлений с диаметром потока от 40 до 80 мм для работы при давлении давлении жидкости 10 МПа со скоростью до 0,063 м/с [9]. Эти стандарты распространяются на аппараты однократного действия со сливными и сильным плунжером, а только двухстороннего действия.

Конструкции гидрораспределителя не затрагиваются показанными на рис. 2.17. Например, выполнят применение полосковидного гидрораспределителя (рис. 2.18). Они позволяют при малой длине хода получить большое перемещение объекта.

Рис. 2.16. Телескопический гидроцилиндр

Контрольные вопросы

1. Дайте сравнительную характеристику электродвигателей вращательного движения.

2. Электродвигатели какого типа способны развивать наибольшие крутящие моменты?

3. В чем состоит конструктивное различие коллекторного и бесколлекторного электродвигателей?

4. Что такое датчик Холла?

5. Поясните принцип работы электродвигателя поступательного движения.

6. Дайте сравнительную характеристику объемных гидродвигателей вращательного движения.

7. Назовите преимущества объемных гидродвигателей по сравнению с электродвигателями.

8. Какой, по Вашему мнению, объемный гидродвигатель вращательного движения имеет простейшую конструкцию?

9. Что такое гидроцилиндр двустороннего действия с двусторонним штоком?

10. Как устроен телескопический гидроцилиндр?

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

3.1.1. Общие положения

Определение требуемой мощности двигателя для энергетического расчета является важной частью процесса конструирования ММ и напрямую не решаемый набор движений и преобразуемое движение (совершенство двигателя и преобразуемое движение далее будет называться приводом), которые обеспечивают заданные законы движения выходного звена. Необходимо учитывать, что привод определяет энергетические свойства модуля и его кинематические и динамические характеристики и при этом является весьма дорогостоящим, энерго- и материалоемким узлом. Поэтому следует стремиться обеспечить заданные характеристики ММ с одновременной минимальной сложностью, массой и ценой привода.

Методика энергетического расчета ММ определяется заданием режимов движения и информацией о параметрах нагрузки. С этой точки зрения можно выделить два основных варианта постановки задачи расчета ММ, которые имеют большое число встречаемых и важных практике.

В первом варианте приводы проектируемого спецоборудования ММ как составляющей части мехатронной системы. При таком подходе конструктор с помощью специальных расчетов получает детальную информацию об объекте: закон его движения по времени, характеристики нагрузки (массовые и инерционные), массогабаритные параметры объекта, условия эксплуатации и т.д. Полученная исходная информация и нагрузки позволяют спроектировать параметры привода.

Методика энергетического расчета и оптимизации спецоборудования ММ можно найти в специальной литературе.

Второй вариант предусматривает создание универсального ММ для функционального использования модуля, которые и должны могут быть использованы в мехатронных системах различного назначения и конструктивного исполнения. В этом случае конструктор не имеет полной информации о параметрах нагрузки и законе движения объекта по времени. Энергетический расчет проводят для таких типов нагружения выходного звена модуля по предельным значениям нагрузок, скорости и ускорения движения.

Ниже будет рассмотрен энергетический расчет универсального ММ.

3.1.2. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при незначительных динамических нагрузках

Рассмотрим методику расчета универсального ММ при незначительных динамических нагрузках, когда силы инерции звеньев манипулятора малы по сравнению с силами, действующими на ММ. В этом случае основными исходными данными являются:

- структурная схема манипулятора робота;
- предполагаемая максимальная нагрузка (масса $P_{\text{гр}}$) или грузоподъемность робота $T_{\text{гр}}$;
- требуемая скорость (линейная $v_{\text{зв}}$ или угловая $\omega_{\text{зв}}$) выходного звена.

Для ММ поступательного движения требуемую мощность двигателя, Вт, определяют по формуле:

$$P = \frac{F_{\text{гр}} v_{\text{зв}} K_{\text{зап}}}{\eta}, \tag{3.1}$$

где $F_{\text{гр}}$ — усилие, соответствующее на выходном звене, Н; $v_{\text{зв}}$ — линейная скорость выходного звена, м/с; η — коэффициент полезного действия преобразующего механизма; $K_{\text{зап}} = 1,2 \div 1,3$ — коэффициент запаса, учитывающий влияние динамических нагрузок и перегрузок в переходных.

Для ММ вращательного движения требуемую мощность двигателя, Вт, определяют по формуле:

$$P = \frac{T_{\text{гр}} \omega_{\text{зв}} K_{\text{зап}}}{\eta}, \tag{3.2}$$

где $T_{\text{гр}}$ — момент сопротивления на выходном звене, Н·м; $\omega_{\text{зв}}$ — угловая скорость выходного звена, $с^{-1}$.

Формулы (3.2) следует применять с учетом предполагаемого типа двигателя. В том случае, если двигатель планируется использовать вместе с редуктором, частотный преобразователь, коэффициент $K_{\text{зап}}$ может быть принят равным единице. В частности, это касается асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором 4А, АИР и 5АИ, которые можно подключать напрямую к питающей сети, минуя преобразователь частоты.

[illegible]

$$[illegible] \tag{1}$$

[illegible]

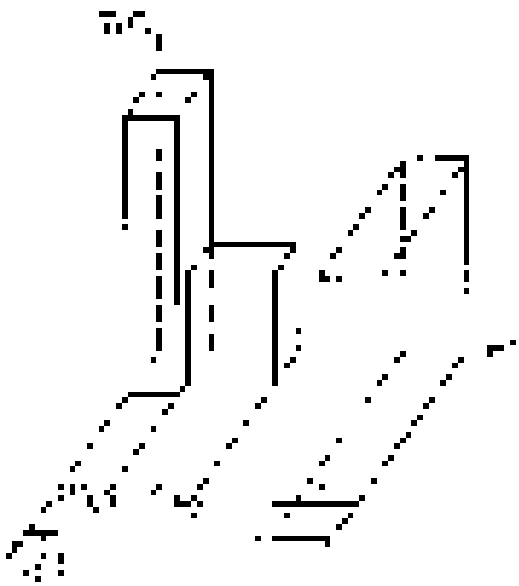
[illegible]

$$[illegible] \tag{2a}$$

$$[illegible] \tag{2b}$$

[illegible]

[illegible]



[illegible]

В этом случае, учитывая, что время ротора в горизонтальном положении меньше времени установившегося движения, можно определить значение требуемой среднеквадратичной статической мощности, приходящейся в паузе движения, Вт:

$$P_{ст} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[P_{1ш} \cdot \frac{\omega_{1ном}}{\omega_{1ш}} \right]^2 \cdot t_{ш}^2}}{\sum_{i=1}^{n} D_{ш} \cdot t_{ш}} \cdot K_{зап}, \quad (3.6)$$

В формуле (3.6):

- $P_{1ш}$ — требуемая статическая мощность двигателя на i-м рабочем участке внутренней цилиндрической поверхности, Вт; для ММ линейного движения:

$$P_{1ш} = \frac{F_{ш} v_{ш}}{\eta}, \quad (3.7)$$

где $F_{ш}$ — сила сопротивления на i-м рабочем участке цилиндрической поверхности, Н; $v_{ш}$ — линейная скорость вытягивания листа на i-м рабочем участке цилиндрической поверхности, м/с; для ММ вращательного движения:

$$P_{1ш} = \frac{T_{ш} \omega_{ш}}{\eta}, \quad (3.8)$$

где $T_{ш}$ — момент сопротивления на i-м рабочем участке цилиндрической поверхности, Н·м; $\omega_{ш}$ — угловая скорость вытягивания листа на i-м рабочем участке цилиндрической поверхности, $с^{-1}$;

- n — число включенных статорных двигателей за цикл;

- $\omega_{1ном}$ — номинальная скорость вращения вала двигателя, $с^{-1}$;

- $\omega_{1ш}$ — рабочая скорость вращения вала двигателя на i-м рабочем участке цилиндрической поверхности, $с^{-1}$;

- $t_{ш}$ — длительность i-го рабочего участка цилиндрической поверхности, с.

– β_0 — коэффициент, учитывающий технологию при изготовлении изделия (при сборке заготовок по плазовой и шаблонной, выполнении условия обеспечения требуемого технологического процесса, определяемый по формуле:

$$\beta_{0_{\text{тех}}} = \beta_0 + (1 - \beta_0)\frac{n_{\text{тех}}}{n_{\text{тех max}}}, \tag{3.9}$$

где $\beta_0 = 0{,}7\text{–}0{,}78$ — для двигателей широкого использования.

Требуемый среднеквадратичный момент запишется:

$$K_{\text{тр}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} T_{i\text{тр}}^2 \cdot t_{0i}}}{\sum_{i=1}^{n} t_{0i}} \tag{3.10}$$

Тип двигателя выбирают по каталогам, исходя из следующих условий:

$$P_n \geq P_{\text{тр}}; \tag{3.11}$$

$$T_{\text{max}} \geq T_{\text{тр}}. \tag{3.12}$$

3.1.3. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при значительных динамических нагрузках

Последовательность при расчете универсальных ММ при значительных динамических нагрузках включает:

– структурная схема ММ;

– приложенная внешняя нагрузка $M_н$ ($T_н$ или $F_н$);

– требуемая скорость (линейная $v_{\text{тех}}$ или угловая $\omega_{\text{тех}}$) выходного звена;

– момент инерции $J_н$ (масса $m_н$) объекта управления;

– требуемое ускорение $\varepsilon_{\text{тех}}$ (угловое $\varepsilon_{\text{тех}}$ или линейное $a_{\text{тех}}$) выходного звена.

Длительность разгона и торможения значительно меньше периода установившегося движения, поэтому динамические нагрузки оказывают влияние на работу двигателя очень короткий промежуток времени. Это дает возможность определить мощность двигателя и при необходимости его выбрать по методике, изложенной выше, т.е. без учета динамических нагрузок.

Плавное динамическое нагружение за величину момента двигателя может быть аппроксимирована. Величину двигателем определить требуемый момент двигателя с учетом динамических нагрузок по формуле:

$$T_{\text{требуемый}} = \frac{T_{\text{н}} + T_{\text{дин}}}{\eta}, \tag{3.13}$$

где $T_{\text{дин}}$ — динамический момент, возникший ускорения движения приложенных частей МЧ и объекта управления, приведенный к выходному валу, Н·м, равный:

$$T_{\text{дин}} = \left(J_{\text{р}}\mu^2 + J_{\text{пр}} + J_{\text{о}}\right)\varepsilon_{\text{макс}}, \tag{3.14}$$

$J_{\text{р}}$ — момент инерции ротора двигателя, кг·м^2; $J_{\text{пр}}$ — момент инерции приложенных частей преобразователя движения, кг·м^2, равный:

$$J_{\text{пр}} = (0{,}1 \ldots 0{,}3)J_{\text{р}}\mu^2, \tag{3.15}$$

$J_{\text{о}}$ — момент инерции объекта управления, кг·м^2.

Окончательный тип электродвигателя выбирают по стандартным исходя из условий:

$$P_{\text{д}} \geq P_{\text{т}}, \tag{3.16}$$

$$T_{\text{ном}} \geq T_{\text{стр}}, \tag{3.17}$$

$$T_{\text{ном.ст}} \geq T_{\text{стр.ном}}, \tag{3.18}$$

где $T_{\text{ном.ст}}$ — номинальный момент двигателя (задается в стандартах).

При отсутствии данных приближенно можно принимать:

$$T_{\text{стр}} = (2{,}0 \ldots 3{,}2)T_{\text{ном}}. \tag{3.19}$$

Используемые в формулах (3.2), можно сделать вывод, что двигатели АЧ, АИР и 5АИ удовлетворяют условиям (3.19).

В случае невыполнения указанных условий необходимо выбрать двигатель с большим значением крутящего момента.

3.1.4. Оптимизация выбора силовых элементов

Выбор варианта привода (двигателя и преобразователя движения) ММ может быть неудачным несколькими, поэтому при его конструировании следует стремиться к оптимальному решению. Необходимо выбрать критерий оценки качества варианта. Оптимальным считается тот, которому соответствует экстремальное значение критерия.

В инженерной практике в качестве критериев оптимизации применяют различные показатели:

- время перемещения выходного звена на заданное расстояние;
- время отработки заданного закона изменения скорости выходного звена;
- минимальные массу и габариты ММ;
- энергопотребление ММ при выполнении типовых движений.

Результат конструирования и эксплуатации системы зависит от того, насколько удачно разработчик выберет необходимый критерий.

Например, выбор в качестве критерия максимального углового ускорения ε_{max} выходного звена проектируемого ММ, работающего в составе манипулятора, позволяет обеспечить быстродействие. Для нахождения оптимальной задачи необходимо определить оптимальное передаточное отношение преобразователя движения по формуле:

$$u_{опт} = \frac{T_{дв}}{\eta \cdot T_{уск\,max}} + \sqrt{\left[\frac{T_{дв}}{\eta \cdot T_{уск\,max}}\right]^2 + \frac{J_{дв}}{J_{нагр}}}, \qquad (3.20)$$

Требуемый максимальный момент двигателя определяется из выражения:

$$T_{уск\,max} = \frac{2}{\eta}\sqrt{(J_{нагр}\varepsilon_{max})^2 + (J_{дв}\varepsilon_{max} + T_{дв})^2}, \qquad (3.21)$$

где $J_{нагр}$ — момент инерции ротора двигателя и приведенный к валу двигателя момент инерции преобразователя движения:

$$J_{нагр} = (1.1 \ldots 1.3) J_{дв} \qquad (3.22)$$

Для выбора типа электродвигателя необходимо выполнение условия:

$$T_{дин} \geq T_{сред.кв.} \qquad (3.23)$$

Если условие (3.23) не выполняется, необходимо выбрать двигатель с большим номинальным крутящим моментом.

Для выбранного привода с оптимальным передаточным отношением необходимо выполнение условия:

$$\frac{n_{дв}}{u_{ред}} \geq n_{вых} \qquad (3.24)$$

При невыполнении условия (3.24) следует выбрать двигатель с большими скоростными показателями и провести перерасчет кинематических сил.

3.2. РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДВИЖЕНИЯ

3.2.1. Предварительный выбор передачи по общим критериям

Критериями или выбора передачи называются технические требования к ММ, позволяющие исключить из перечня механических передач те, конструкции которых технически обеспечить не представляется возможным.

Если же технические требования могут быть реализованы передачами различных типов, то критерии для выбора они, очевидно, являться не могут. Например, кинематика или передача с высокой точностью отработки перемещения рабочего органа с точностью ± 1 мкм. Следовательно, подобные технические требования не могут служить основанием для выбора передачи конкретного типа, т.е. не входят в число критериев.

С увеличением технических требований до некоторого предела они не доходят в ряде критериев. Путь технических требований отображается точность перемещения рабочего органа ± 0,01 мкм. В этом случае, безусловно, является критерий, который существенно должен не каждая передача.

Критерии подразделяются на общие и специальные.

Общими называются критерии, которые в технических заданиях практически любого ММ. К ним относятся:

- передаточное отношение преобразователя движения;
- КПД;

- вид движения и скорость (линейная или угловая) рабочего органа;
- конструктивные допустимые габариты и масса;
- обусловленные заданием стойкость металлорежущего и вспомогательного инструмента.

Составляющими показателя критерия, обусловленные технологическим применением, которые связаны с конкретным назначением ММ, являются

- допустимая кинематическая погрешность перемещений рабочего органа;
- допустимая величина мертвого хода (для реверсивного ММ);
- обязательные ограничения;
- прочие критерии (определяемые конфигурацией, опцией крепления и др.).

В ряде случаев выбор передачи может быть произведен только по основным видам критериев.

Передаточное отношение — одно из важнейших параметров передачи (применительно к зубчатым, червячным, планетарным и волновым передачам называется также передаточным числом).

Для обеспечения заданного передаточного отношения часто применяют многоступенчатые передачи. Например, передаточное число двухступенчатой зубчатой передачи с прямым ходом определяется $u = u_1 \cdot u_2$, где u_1 и u_2 — передаточные числа одноступенчатых передач. Конструкция усложняется, но становится компактней и технологичней, что благоприятно сказывается на ММ в целом. Существенный эффект уменьшения передаточного числа дают комбинации из передач различных типов, например, червячной и зубчатой последовательной. Червячно-цилиндрический редуктор без особых трудностей может быть выполнен с $u = 315$.

Передачи винт-гайка скольжения (ВГС), винт-шестерня (ШШП), реечные (РЗП) и рычаги, предназначенные для преобразования прямолинейного движения в вращательное и т.п., выбирают, конструируют по аналогии, характеризуются передаточным отношением, называемым реечностью.

Передаточное отношение при преобразовании вращательного движения в поступательное равно:

$$u_{вр} = \frac{\pi}{s_1}, \qquad (3.29)$$

при приближении поступательной движения неправильна

$$a_{ср} = \frac{\Delta}{n_1}, \qquad (3.26)$$

где $a_{ср}$ — угловая скорость вращающегося звена, с$^{-1}$; n_1 — скорость движения поступательно-перемещающегося звена, м/с.

Для ММ, предназначенного в эксплуатации при больших нагрузках и в нормальном режиме обладает производительность включения, высокая скорость рабочего органа, существенное отношение такой критерий, как КПД. Помимо того, что от его величины зависят энергозатраты ММ, нужно также принимать во внимание следующие соображения.

Низкий КПД характерен для машин, работа которых сопровождается интенсивными отвлекательными силовыми полей, т.е. черпачей и ПТС. Эксплуатация таких передач в тяжелых режимах сопровождается повышенного трения поскольку. быстрым износом валков контактирующих поверхностей, потерями, связанными механической шероховатости и нарушению клея.

Не все передачи удачным обеспечить требуемую быстроходность рабочих органов ММ. Трудности при конструировании возникают не только тогда, когда нужно высокая скорость выходного звена, но и когда нужно придать ему сверхмалую, так называемую ползучую, скорость. В последнем случае может существенно привлекательная неподвижность исполнения, например, многоступенчатого цилиндрического зубчатого редуктора, но тот будет высокая трудоёмкой механизм, что он не прибыл по критерию габаритов и стоимости изготовления.

Самое внимание дать критерию — наименьшие допустимые габариты и масса, стоимость изготовления и эксплуатационные расходы — плавно и экономный он прибыл. Однако ни один прибыл от конструктора умение отчетливо передачи или бы изменение, он правило обычно — меньше, что, в свою очередь, исключает представление о точности изготовления передач. При проектировании передачи могут только направляющие зависимости выбора рациональных типов редукторов от их главного параметра

- выходного крутящего вращающего момента

$$m = 9550 P_2^{1,1}, \qquad (3.27)$$

– двухэлементный дифференцирующий ретранслятор:

$$w = 1024\alpha_{x,y}^{17}, \tag{3.28}$$

– комплексно-дифференцирующий ретранслятор:

$$w = 12288\alpha_{x,y}^{17}, \tag{3.29}$$

– трехэлементный ретранслятор:

$$w = 24000\alpha_{x,y}^{17}, \tag{3.30}$$

где w — канал ретранслятора; $x_{x,y}$ — множество расстояний; $x_{x,y}$ — множество расстояний последующей ступени; x.

Формулы (3.27)–(3.30) получены для ретрансляторов с трехступенчатой коррекцией. При выполнении коррекции по сигналу на основе алгоритмов значение канала уменьшается в 1,5–2 раза.

Значения некоторых общих критериев, характеризующих для различных ретрансляторов, приведены в табл. 3.1, 3.2.

Таблица 3.1

Значения общих критериев для нескольких приложений

Параметр	Критерии		
	w	$\Phi(\Pi)$	$\Phi(p)$, p^{17}
Зубчатое колесо	1.4[2] (1.4;3)	0,68	190–12 (150–23.8)
Цилиндрический двухступенчатый редуктор	4,5–43 (8–40)	0,86	2[3]–2.66 (16.8–3.75)
Зубчатое колесо	1.1	0.97	180–80
Планетарно-цилиндрический редуктор	(6–8) (6–31,5)	0.85	(5–3.75 (25–4.76)
Планетарный ступень 2[12]	3–8 (4–6)	0,97	80–44.7 (37.5–25)
Червячный	63–840 (80–315)	0,87–0,90	3.58–0.355 (1.68–0.476)

Нарезание	Критерий		
	n	ИЦС	$\Phi_{кр}$, $с^{-1}$
Чередование	8–30 (10–22)	0,03–0,7	10,8–1,66 (37–6,03)
Примечания: 1. $n_{кр}$ — условная скорость рабочего органа при условной скорости изделия 150 $с^{-1}$. 2. В скобках указаны значения оптимальных значений.			

Таблица 3.2

Значения обобщенных критериев для врезания многоинструментальных зенкеров

Нарезание	Критерий		
	$n_{кр}$, $м^{-1}$	КПД	$v_{кр}$, м/с
Одиночное	10–250	0,96	2,5 (2,1)
Многолезвийное	150–3 000	0,87	1,8 (1,6)
Перекрещивающееся	150–3 000 (300–2 000)	0,9–0,95	3,0 (2,5)
Примечания: 1. $v_{кр}$ — максимальная скорость рабочего органа. 2. В скобках указаны значения оптимальных значений.			

По данным табл. 3.1 отметим, что многоступенчатые планетарные редукторы чаще всего образуются путем последовательного соединения передач схемы 2К-Н. В ряде случаев целесообразно синтезировать приборы с использованием дифференциальных передач, как это уже было показано на примере червячно-цилиндрического редуктора.

Определение граничных значений критерия для оценки предпочтительности передачи могут использоваться. В первую очередь это значения передач ПЗС (в любых параметров для передачи с неизменяемым расположением рабочих поверхностей). Параметры КПД передач зацеп в очень широких пределах. Значения КПД, приведенные в табл. 3.2, являются максимальными, поэтому все они не превышают 0,5. Это же можно сказать и о величине скорости рабочего органа. Оптимальное значение для передачи ЗЕС $v_{кр} \leq 0,1$ м/с получено по наибольшему перепаду скорости относительного скольжения в винтовой паре $v_{ск} = 0,23$ м/с.

Данными оптимальных значений для ПЗЗП $v_{кр} \leq 1,0$ м/с получен при допущении, что частота вращения винта $n_{кр} \leq 3\,000$ об/мин.

Однако передачи по общим критериям выполнять без знания их конструктивных и технологических особенностей.

Цилиндрическая зубчатая передача может быть выполнена с внешним либо с внутренним зацеплением. Передача с внутренним зацеплением имеет меньшие габариты, но конструктивно и технологически сложнее передачи с внешним зацеплением, поэтому ее применение должно быть обосновано.

Во всех случаях следует стремиться к использованию конструктивных передач имеют меньшие габариты и способны обеспечивать окружные скорости до 30 м/с при качественном изготовлении и соблюдении условий.

Для получения заданного габарита двухступенчатого редуктора можно применять распределять общее передаточное число между ступенями (табл. 3.3, 3.4). Значения общего передаточного числа u, а также передаточных чисел быстроходной ступени u_1 и тихоходной ступени u_2 даны в соответствии со стандартным рядом.

Таблица 3.3

Передаточные числа ступеней трехосных цилиндрических редукторов

u	10	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	$\geq 31,5$
u_1	3,55	4	4,5	5	5,6		6,3	7,1		8	9
u_2	2,8	3,15					3,55		4		≥ 4

Таблица 3.4

Нормальные числа ступеней соосных цилиндрических редукторов

u	10	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	≥ 40
u_1	4,5	5	5,6		6,3	7,1		8	9		10	
u_2	2,24	2,5		2,8			3,15			3,55		≥ 4

Следует отметить, что от МИ, как правило, требуется точное выполнение заданного в части передаточного числа, в отступлении от стандарта допустимо.

В силу необходимой точности изготовления элементов передач ряда типов используется выражение вида $a = a_{\text{ном}} + \Delta$. Это ограничение, в свою очередь, приводит к необходимости при $n > 5$ использовать комплекс зарядов и малые дополнительные, обычно компенсационные, резисторы. Выпускаемая совокупность компонентов зарядов таких (прецизионных) или высокоточных, которые конечной целью быстродействия служат.

Учитывая (по обстоятельствам, а также по, или МИ как правило, характеристику) использовать и малые размеры, далее будут рассматриваться передачи с наименьшим допускаемым 50 мм $\leq R_c \leq 110$ мм.

Полные передачи марки z ПЕС 11001 и 1501 используются для преобразования практически линейно в пользовании в так же, как 11001, для преобразования инструментального движения во вращательное.

Пример частоты ролей передачи по сравнению с передачей ПЕС является значений КПД и менее интенсивный износ деталей, а по сравнению с 11001 — простота конструкции и низкая стоимость. Однако, как это видно из табл. 3.2, по передаточно отношению на 1–2 порядка меньше, чем у винтовых передач. Следовательно, рычажно-передачи по сравнению с ними более сложные.

Червячная передача обычно выполняет с передаточным числом $z \geq 8$. Достоинством червячных передач является возможность получения в одной ступени большого передаточного числа, плавность и бесшумность работы, обеспечение самоторможения при малом числе заходов червяка $z = 1$.

Наиболее учитывать и назначать червячных передач относительно витков КПД снабжен при большой z) плавность характера, показывает износ зубьев колеса.

На электромеханике червячной передачи можно рассматривать в том случае, если вал нагружен не более выбранного характера.

Диаметр передаточных чисел возможно небольших передач: $80 \leq a \leq 400$.

Возможно повышение точности зацепления для этих передач характеризуется малым числом значения кинематической погрешности и мертвого хода. При сравнительно малых габаритах и массе потребные передачи способны создавать на выходном звене крутящие моменты до 150 кН·м. На основании приведенных исследований для передачи крепления в скоростных закрытых пространствах. В настоящее время механизмы передачи представляются малыми передаточными, область их использования интенсивно расширяется.

Пять, однако, у винтовых передач и серьезные недостатки, главный из которых — сложность изготовления, а это значит — высокая стоимость. Кроме того, максимальная частота вращения генератора ниже $n_{\max}$ быстроходного ва-

ка) и любых незначительных отрицательных температур вплоть до минус 50,8–203 мм равны 3 500 кубиков, а для диапазона 254–457 мм — 1 750 кубиков. В результате это приводит либо к невозможности перехода на другую, менее совершенную конструкцию генератора тепла, либо вообще к отказу от применения активной передачи. Следует также сказать, что перспективные передачи в качестве смазки, так как низкие рабочие (применительно ко всему ряду 0,3–1,25 мм) и условия использования оборудования частей быстро изнашиваются.

Передачи ШТС предназначены в основном для преобразования крутящего движения в поступательное и часто в редких случаях — поступательного во вращательное.

Конструкции зарубежных фирм в отечественных. Передачи рабочих колес и бесконтактных, можно выделить подшипник, смазочных обеспечивает непрерывность, при одновременной резьбы обладают свойствами самотормозящихся.

Назначение передач: типовой КПД (обычно не ниже 0,8) и изготовленный втулки исследование трения соединения между витками винта и гайки.

ПППП обладают такими положительными качествами, как высокий КПД (0,9–0,95), небольшой износ, высокая точность хода, незначительность работы без смазки. Однако по сравнению с передачей ШТС они значительно сложнее по конструкции и дороже. К недостаткам их также относится вероятность самоторможения.

ПШП характеризуются высоким высокой нагрузочной способностью, малой жесткостью и нечувствительностью к условиям эксплуатации. Они применяются очень редко. Однако по сравнению с ПППП передаточных отношений, обеспечивают высокую плавную точность позиционирования и более компактны. Данные передачи самотормозящиеся.

Обязательным конструкции подвергаться передача является выполнять шесть, включающихся в передаточной работе выполнять пар. Рассредоточение нагрузки по витков позволяет уменьшить габариты и массу редуктора и затем.

Конструкции планетарных редукторов чрезвычайно многообразны. Среди них есть выполнены с малым большими передаточными числами (до 10 000), например несоосными планетарный редуктор. Однако чаще всего используются, как было сказано ранее, передачи по схеме 2К-Н.

Планетарные передачи обладают главной для применения в МРМ конструктивной особенностью: они плоские. Это обстоятельство позволяет экономить и уменьшает их габаритные размеры.

По достигнутым планетарным передачам по сравнению с обычными планетарными имеются в основе конструкции, повышенные требования к точности изготовления и монтажа, существенное влияние КПД и несущей передаточного числа.

Волновая зубчатая передача, по конструктивной схеме подобна планетарно-планетарной, но в другом, не механическом, назначении (например, планетарно-винтовая), позволяет обойтись меньшим числом зубьев в паре взаимодействующих, а значит более простым в изготовлении.

Далее будут приведены методика расчета основных видов передач как преобразователей движения ММ.

3.2.2. Особенности расчета преобразователей движения мехатронных модулей

В расчетах преобразователей движения ММ занятое ряд отличий от расчетов передач общего назначения вследствие значительной разницы в требованиях, предъявляемых к этим элементам механизмов.

Рассмотрим их требования, следует начать с такого фундаментального показателя, как стоимость изготовления.

Для передач общего назначения стоимость изготовления является одним из основных критериев выбора материалов и термообработок, технологии изготовления, средств и способов защиты и т.д., а размеры и масса отступают на второй план.

В передачах ММ, наоборот, ими можно пренебречь, зачем добиваться и знать, а стоимость имеет первое значение. Отсюда — применение дешевой передачи из пластмассовых сталей, а впрочем — из легких сплавов и алюминия, применение вообще разрешить в общем конструировании и полупроводниковое исполнение и т.д.

Как правило, в типовых задачах по передаче зубьев изготовление отступают какие-либо требования к точности перемещения рабочего органа. Привода, в состав которых входят эти передачи, либо вообще не предназначены для отработки точных перемещений, либо достаточно для выполнения поставленной задачи точность обеспечивается следящими устройствами, а передачи тут отвечают необходимости. Исключение составляют ЗЕП, ПППП и РПП, поэтому ими конструкции их сильфонных перемещениях с повышенной точностью.

Для преобразователей движения ММ требования повышенной точности и ограничения перекоса часто носят типовой характер. Зачастую ММ как раз и предназначен для измерения перемещений с высокой точностью. А что, в свою очередь, накладывает отпечаток на расчет и конструирование передачи. Повышения без ухудшения рабочих норм, например более высокой степени точности, применяются конструктивные меры для устранения различных погрешностей и использования опоры.

В большинстве случаев передачи общего назначения разрабатываются в расчете на типовой и весьма типовой режимы эксплуатации. Это обусловливает назначение запасов допускаемых напряжений, а в итоге — необоснованно размеры деталей передач.

Передачи ММ работают в основном в кратковременно-циклическом режиме (запуск и останов). Появляется возможность снижения запасов прочности, что в совокупности с выбором прочностных характеристик материалов приведет к уменьшению размеров ответственных деталей. Следовательно по массе, растут скорости дифференциальных и замыкающих в звене передач вал. Поэтому при расчете передаточных механизмов ММ необходимо учесть большое влияние перекоса жесткости деталей.

Следует отметить такую особенность, как более широкое использование прочностных размеров деталей передачи ММ в зависимости от результатов расчетов. В качестве примера этого положения может быть приведен вал малой зубчатой передачи.

Согласно принятой методике конструирования валов, диаметры участков вала назначают предварительно, а затем проверяют на усталостную прочность. Пусть при минимально допускаемом запасе усталостной прочности $[s]_{min} = 1,5$ расчетный запас прочности в наиболее нагруженном сечении составил $s = 4$. Для передачи общего назначения результат считают удовлетворительным и размеры вала оставляют без изменений. Если же это передача ММ, в которую предъявляются жесткие требования минимизации массы, то необходимо решать вопрос о возможности приближения s к $[s]$ путем уменьшения диаметров участков.

Получается, должны же в каждом преобразователе движения ММ предусматриваться вал сопоставимых наименьших осевых габаритов. В случае, если же точное назначение механизма ММ подобно механизму общего назначения, то и расчет его передач может быть проведен по соответствующей методике.

Методика разработки преобразователя движения ММ содержит следующие этапы:

– выбор типа преобразователя по общему и специальным критериям;

- проектный расчет передачи с целью определения ее основных или отдельных параметров;
- проверочный расчет передачи;
- задача оптимизации проектируемой передачи;
- конструирование зубчатого венца и проектирование заготовки;
- определение рациональных допусков на изготовление;
- разработка чертежей конструкций деталей передач.

Далее будут рассмотрены методики расчета различных передач.

3.2.3. Цилиндрические зубчатые передачи

Расчет одной из зубчатой передачи и двухступенчатого редуктора основан на методике расчета передачи общего назначения. При расчете передачи для ММД должно учитываться следующее ограничение:

- передача должна быть малошумной, если в техническом задании имеются дополнительные ограничения по шумности;
- ширина колеса и ось вала шестерни (ось III_1 > ось III_2; ось III_2 = ось III_3; ось III_3 > ось III_4; ось III_4 = ось III_5);
- в отличие от передач общего назначения, величину модуля m_n можно принимать меньше 1,5 мм по стандартному ряду, мм: 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25;
- при определении a_w, d_{a1}, b_1, b_2 приближения положительно сказываются на производственных затратах; например, если по конструкции ММД желательно, чтобы d_{a1} было равно 120 мм, следует принимать d_{a1} = 120 мм, несмотря на рекомендации по стандарту (ближайшее стандартное значение d_{a1} = 125 мм);
- при проектировании двухступенчатого редуктора следует создать предпочтение сочетаний схем, так как это повышает компактность ММД.

Обозначения: b_1 — ширина зуба шестерни; b_2 — ширина зуба колеса.

В использованных расчетах следует выделить по сечениям переменный материал.

3.2.4. Конические зубчатые передачи

Расчет конических передач основан на методике расчета передач общего назначения.

Дополнительные рекомендации:

– при перекрещивании характера нагружения передачи должно иметь круглые зубья, при разнорасчетной нагрузке зубья прямые;

– передаточное число $u \leq 2$, при необходимости обеспечения $u > 5$ целесообразно перейти от одноступенчатой передачи к многоступенчатому редуктору и передаточные числа ступеней выбирать по табл. 3.3;

– твердость материала колеса передачи с круглыми зубьями — см. п. 3.2.2;

– о экономии металла — см. п. 3.2.3.

Таблица 3.3

Рекомендуемые передаточные числа многоступенчатых цилиндрических редукторов

Передаточное число редуктора u	8; 9	10; 11,2	12,5; 14	16	≥ 18
Передаточное число быстроходной ступени u_1	3,15	3,55	4	4,5	5

Примечание. В случае расхождения передаточного числа, определенного по геометрическому среднему, со стандартным ориентируются ближе к требованию технического задания.

3.2.5. Реечные передачи

3.2.5.1. Основные данные (в соответствии с техническим заданием на МЗ):

– цель передачи — прямые зубья;

– минимальная нагрузка на выходном звене (движение каретки рейки F_2, Н);

– минимальная скорость выходного звена (движение каретки рейки v, м/с);

– минимальная рабочая перемещение выходного звена (рейки H_2, мм);

– вид установки (горизонтальная, вертикальная);

– срок и условия (интенсивность) нагружения;

– причины (вышеобозначенные показатели, конечный применение, конфигурация корпуса и т. д.).

Для определенности примем, что выходным звеном является каретка.

На рис. 3.2 показаны прямозубые и косозубые реечные передачи различных размеров.

Рис. 3.2. Реечная передача

3.2.3.2. *Кинематический расчет* заключается в предварительном определении диаметра делительной окружности шестерни d_1, мм, по формуле

$$d' = 0{,}93\sqrt[3]{T_1}, \tag{3.31}$$

Полученное значение округлить до целого.

3.2.3.3. *Проектный расчет* заключается в определении наибольших допускаемых контактных напряжений для материалов шестерни и рейки и выборе соответствующих марок сталей и способов упрочнения.

Наибольшее допускаемое контактное напряжение для шестерни

$$[\sigma_H]_1 = \frac{487}{d'}\sqrt{\frac{T_1 K_{H\beta}}{\psi_{bd}}}, \tag{3.32}$$

где $K_{H\beta}$ — коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине зуба (табл. 3.4); ψ_{bd} — коэффициент относительной ширины шестерни.

Величина ψ_{bd} определяется отношением $\psi_{bd} = b/d_1$ но для прямозубой передачи наименьшее значение делительного диаметра шестерни d_{1min} = 17мм, а наибольшая рекомендуемая ширина рейки b_{max} = 10мм. Подстановка этих значений в указанное отношение дает наибольшую величину коэффициента ψ_{bd} ψ_{bdmax} = 10/17 = 0,59.

Таблица 3.6

Значения коэффициентов $K_{1\beta}$, $K_{2\beta}$

Расположение материала относительно направления	Твердость, НВ	$K_{1\beta}$			$K_{2\beta}$		
		ψ_{bo}			ψ_{bo}		
		0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6
Волокнистый, неправильного	≤350	1,08	1,17	1,28	1,16	1,37	1,64
	>350	1,22	1,44	–	1,33	1,7	–
Волокнистый, регулярного	≤350	1,06	1,12	1,19	1,1	1,22	1,38
	>350	1,1	1,25	1,41	1,3	1,61	1,91
Симметричное	≤350	1,01	1,02	1,03	1,01	1,03	1,05
	>350			1,04	1,03	1,09	1,18
Несимметричное	≤350	1,03	1,05	1,07	1,03	1,1	1,17
	>350	1,06	1,12	1,2	1,09	1,24	1,5

Далее определяют эквивалентные числа циклов нагружения зуба шестерни контактными напряжениями по формуле:

$$N_{HE} = 1,15 \cdot 10^5 \frac{\Sigma T_{Hi}}{R T_0} \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{T_{Hi}}{T_{H1}} \right)^3 \cdot t_i \right], \qquad (3.33)$$

где C — число ремней, находящихся в зацеплении с шестерней; L_h — заданная долговечность передачи, ч; t_i — длительность одного эквивалентного цикла, с; T_{Hi} — сила на ремне на i-м участке циклограммы нагружения, Н; t_i — скорость ремня на i-м участке циклограммы, м/с; z — длина i-го участка циклограммы, с; λ — число участков циклограммы.

Находят коэффициент долговечности при расчете по контактным напряжениям:

$$K_{HL} = \sqrt[3]{\frac{N_{H0}}{N_{HE}}}, \qquad (3.34)$$

где N_{H0} — базовое число циклов изменения напряжений для материала шестерни (табл. 3.7); можно также использовать формулу $N_{H0} = 30 H_{HB}^2$.

Таблица 3.7

Базовые числа циклов $N_{0\sigma}, N_{0\tau}$ изгибных напряжений, циклов нагруж

Твердость поверхности зубьев									
300	200	250	300	340	400	450	500	550	600
HRC	20	25	31	36	42	47	52	56	59
$N_{0\sigma}$	90	12,9	25	55	90	65	95	110	150
$N_{0\tau}$	4								

Для объемно упрочненных зубьев $K_{L\sigma1} = 1{-}2{,}6$ при $HB \le 350$, для поверхностно упрочненных — $K_{L\sigma1} = 1{-}1{,}8$ при $HB = 550$. Если $N_{\Sigma\sigma1} > N_{0\sigma1}$, то принимают $K_{L\sigma1} = 1$.

Определение предела контактной выносливости зубьев смотрите:

$$\sigma_{H\lim b} = (18 \div 1{,}5)\frac{N_{0H}}{K_{HL}}, \qquad (3.16)$$

где S_H — коэффициент безопасности ($S_H = 1{,}1$ — для объемно упрочненных зубьев; $S_H = 1{,}2$ — для поверхностно упрочненных зубьев).

Числа циклов, используемые зависимости $\sigma_{H\lim b}$ от средней твердости поверхности зуба (см. табл. 3.8), выходят значения средней твердости и принимают контактную прочность стали и термообработок из табл. 3.9.

Таблица 3.8

Пределы контактной и изгибной выносливости

Твердость зубьев HB, HRC	Вид термообработки	Предел контактной выносливости $\sigma_{H\lim b}$, МПа	Предел изгибной выносливости $\sigma_{F\lim b}$, МПа
HB ≤ 350	Нормализация, улучшение	2HB + 70	1,8HB
HRC 35–45	Объемная закалка	18HRC + 150	950
HRC 45–63	Закалка ТВЧ	17HRC + 200	430–600
HRC 55–63	Цементация	23HRC	750
	Нитроцементация		750–1 000

Таблица 3.9

Механические характеристики сталей

Марка стали	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Твердость[1]	Термообработка[2]
40	600	350	167–229	У
45	800–900	550	225–276 НВ	У
	850–950	600	250–285 НВ	
50Г	900	550	241–285 НВ	У
40Х	800–900	550	230–255 НВ	У
	850–950	600	241–277 НВ	
	900–1 000	700	277–321 НВ	
40ХН	820–950	600	250–286 НВ	У
	900–1 000	750	269–299 НВ	
20ХГНА	1 000	850	293–341 НВ	У
30ХГА	900	800	344–323 НВ	У
35ХГНА	1 100	950	321–387 НВ	У
40ХГНМА	1 100	950	331–375 НВ	У
45	1 000	750	38–42 HRC	ТВ
50	650	380	46–57 HRC	ТВ
45	600	340	33–39 HRC	ТВ
40Х	1 000	850	32–36 HRC	ТВ
40ХН	800	500	35–37 HRC	ТВ
20Х	800	650	56–62 HRC 57–63 HRC	ОЦ, З
18ХГТ	1 150	950	302–375 НВ 56–62 HRC	ОЦ, З
12ХН3А	1 000	800	80–88 HRC 56–63 HRC	ОЦ, З
12Х2Н4А	1 000	850	260–930 НВ 56–64 HRC	ОЦ, З
12Х2Н4А	1 200	1 000	280–401 НВ 60–65 HRC	ОЦ, З
20Х2Н4А	1 400	1 200	350–400 НВ 60–65 HRC	ОЦ, З
30ХН3А	1 000	850	83–94 HRC	З
40Х	800	650	60 HRC 46–56 HRC	ОЦ, З
40ХН	850	700	85–94 HRC	ОЦ, З

Примечания:
1. Числитель — твердость сердцевины, знаменатель — поверхности.
2. Обозначения: У — улучшение; ОЗ — объемная закалка; ОЦ — поверхностная закалка; ТВЧ — закалка ТВЧ; З — цементация; А — азотирование.

Согласно рекомендациям для зубчатых передач желательно марку стали и термообработку рабочих. Целесообразно марку стали принимать ту же, что и для шестерни.

Потребное эквивалентное число циклов напряжения зуба рабочих контактированием определяется по формуле

$$N_{HE2} = N_{HE1}\frac{u_2}{u_1}, \tag{3.36}$$

и коэффициент долговечности

$$K_{HL2} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO2}}{N_{HE2}}}, \tag{3.37}$$

где N_{HO2} — базовое число циклов изменения напряжений для материала рабочих.

Затем определяют допускаемое контактное напряжение для рабочих

$$[\sigma_H]_2 = \sigma_{H\lim 2}\frac{K_{HL2}}{K_H}, \tag{3.38}$$

где $\sigma_{H\lim 2}$ — предел контактной выносливости зубьев рабочих.

Меньшее из двух напряжений $[\sigma]_{H1}$ и $[\sigma]_{H2}$ является допускаемым контактным напряжением $[\sigma]_H$ для прямозубой рабочей передачи.

Допускаемые напряжения изгиба $[\sigma_F]_1$ и $[\sigma_F]_2$ определяются так же, как для зубчатых передач.

Определение геометрических параметров передачи производят в последовательности.

Из условия прочности на изгиб определяют модуль, мм

$$m \ge \frac{6{,}4T_2}{w_{bd}d^2[\sigma_F]}, \tag{3.39}$$

Полученное значение модуля округляют до ближайшего из стандартного ряда, мм: 1; 1,125; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; ... а затем находят число зубьев шестерни по формуле

$$z_1 = \frac{d}{m} \ge 17. \tag{3.40}$$

Число z_1 округляют до целого и уточняют действительный диаметр инструмента

$$d = m z_1 \quad (3.41)$$

Диаметры вершин и впадин зубьев шестерни равны:

$$d_{a_1} = d + 2m; \quad (3.42)$$

$$d_{f_1} = d - 2.5m; \quad (3.43)$$

Исходя из выбранную ширину w, определяем число зубьев рейки

$$z_2 = \frac{\pi l_1}{\pi m} \quad (3.44)$$

Полученное z_2 округляют до целого и берут z_2 нечетное.
Ширина рейки:

$$b_2 = w_{ab} d \cdot \sin\alpha; \quad (3.45)$$

высота шестерни:

$$h = h_{f_1} + (1.5\sqrt{h_{f_1}} \cdot m, \quad (3.46)$$

а округленное h и b_2 до целых чисел.
Определяем основные расчетные скорости:

$$n_{ab} = \frac{\omega}{\pi} = \frac{2\pi v}{d}, \quad \text{мин}^{-1} \quad (3.47)$$

Максимальный угол поворота шестерни равен:

$$\varphi_1 = \frac{2\pi l_1}{d}, \text{ рад} \quad (3.48)$$

Угловая скорость шестерни:

$$\omega = \pi n_{ш} / 30, \text{ с}^{-1}. \tag{3.49}$$

3.2.3.4. Далее выполняется проверочный расчет.

Определяют фактическое контактное напряжение по формуле:

$$\sigma_H = 4842 \sqrt{\frac{F_t K_{H\beta} K_{H\alpha}}{d_{ш}}}, \text{ МПа}, \tag{3.50}$$

где Z_ε — коэффициент суммарной длины контактных линий; $K_{H\alpha}$ — коэффициент динамической нагрузки.

Значение Z_ε вычисляют по формуле:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}, \tag{3.51}$$

где ε_α — коэффициент торцового перекрытия:

$$\varepsilon_\alpha = 1.88 - \frac{3.2}{z}. \tag{3.52}$$

Коэффициент $K_{H\alpha}$ находят по табл. 3.10 в зависимости от скорости ремня и от степени точности передачи (см. табл. 3.15).

Таблица 3.10

Значения коэффициента $K_{H\alpha}$

Степень точности	Твердость зубьев*	Скорость ремня v, м/с					
		1	2	4	6	8	10
8	а	1,01	1,06	1,12	1,17	1,21	1,26
	б	1,02	1,04	1,07	1,1	1,13	1,16

Степень точности	Твердость зубьев*	Скорость ремня, м/с					
		5	8	6	8	9	10
9	а	1,04	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36
	б	1,03	1,05	1,09	1,14	1,19	1,24

Примечание. * Обозначения: а — шестерня и ремень нормализованные или улучшенные; шестерня закаленная, ремень нормализованный и/или улучшенный; б — шестерня и ремень закаленные.

Формула (3.50) справедлива для стальных деталей передачи.

Условие обеспечения контактной выносливости: $\sigma_H \le [\sigma_H]$. Допустимое недогрузка 5 %, перегрузка не допускается.

Проверку по напряжениям изгиба зуба шестерни выполняют по формуле:

$$\sigma_{F1} = 0{,}9F_{t1}\frac{Y_{\beta}K_{F\beta}K_{F\upsilon}}{b_2 m}, \text{ МПа}, \qquad (3.53)$$

где Y_{β} — коэффициент формы зуба шестерни (табл. 3.11); $K_{F\upsilon}$ — коэффициент динамической нагрузки (табл. 3.12).

Таблица 3.11

Значения коэффициента Y_{β}

z	17	18	19	20	21	22	24	28	38	80
Y_{β}	4,3	4,37	4,22	4,13	4,1	4,08	4,07	3,9	3,8	3,67
z	32	35	40	45	50	60	80	100	150	рейка
Y_{β}	3,84	3,8	3,76	3,75	3,75		3,74	3,77	3,70	3,70

Условие обеспечения усталостной прочности зуба рейки по напряжениям изгиба:

$$\sigma_{F2} = 3{,}78\frac{\sigma_{H2}}{Y_{\beta 2}} \le [\sigma_F]_2. \qquad (3.54)$$

Условие сопротивления усталостному излому при однократном нагружении выражается формулой

$$\sigma_{b\,max} = \sigma_{-1}\sqrt{\frac{T_{com}}{T_{max}}}, \text{ МПа}, \tag{3.35}$$

где T_{max} — кратковременный (заданный) момент на валу/оси; T_{com} — наибольший момент на валу/оси от предполагаемых нагружений, т.е. наибольший из моментов при нормальном кратковременном рабочем процессе.

В тех случаях, когда данных о T_{max} нет, в качестве T_{com}/T_{max} принимают кратность максимального момента по механической характеристике двигателя.

Для сравнения максимальных контактных напряжений при объемной термообработке $[\sigma]_{max} = 2{,}8\sigma_{-1}$ (σ_{-1} — предел текучести материала по Гьюи), при поверхностной термообработке $[\sigma]_{max} = 40HRC_{ср}$ ($HRC_{ср}$ — среднее значение твердости в диапазоне для принятого вида упрочнения).

Таблица 3.12

Значения коэффициента K_{σ}

Условия точения	Твердость зубьев*	1	2	4	6	8
0	а	1,06	1,13	1,26	1,4	1,51
	б	1,02	1,09	1,08	1,11	1,19
3	а	1,08	1,16	1,31	1,5	1,67
	б	1,03	1,05	1,09	1,13	1,17

Примечание. * Обозначения: а — выступов и ребер зубчатых колес с отличными от нулевых; б — выступов и ребер нулевых.

Условие контактной прочности зубьев выступов и ребер при кратковременной перегрузке:

$$\sigma_{b\,max\,1,2} = \sigma_{b\,1,2}\frac{T_{com}}{T_{max}} \le [\sigma_{b\,max}]_{1,2}, \tag{3.36}$$

где $[\sigma]_{max\,1,2}$ — допускаемое максимальное напряжение изгиба соответственно для выступов и впадин (при твердости зубьев $HB \le 350$ $[\sigma]_{max} = 0{,}8\sigma_{T}$; при $HB > 350$ $[\sigma]_{max} = 0{,}6\sigma_{T}$; σ_{T} — предел прочности материала зубьев).

В том случае, когда рабочая нагрузка изменяет работу, необходимо ее проверку по усталостному.

Предварительно задаем форму сквозного сечения ригеля. Выбранное предварительно и точно уровня использования и конечно оставшегося расчету является принятое сечение.

Далее производят проверку сечения на прочность по нормальным сжатия

$$\sigma_c = \frac{F_c}{\varphi A_0} \le \frac{R_c}{[s]}, \tag{3.57}$$

где A_0 — площ сквозного сечения; $[s] = 2$ — коэффициент запаса прочности.

Определяют экономический радиус инерции сквозного сечения по формуле:

$$i_{эк} = 0.28 h_0 \tag{3.58}$$

и гибкость ригеля:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{эк}}, \tag{3.59}$$

где μ — коэффициент приведения длины сечения (табл. 3.13).

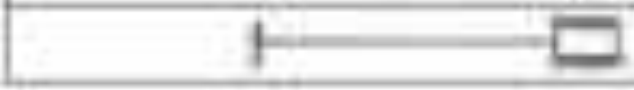
По величине λ в табл. 3.14 устанавливают коэффициент продольного изгиба φ и вычисляют допускаемое напряжение сжатия по условию устойчивости:

$$\sigma_c = \frac{\varphi R_c}{[s]}. \tag{3.60}$$

Таблица 3.13

Значения коэффициентов μ и ν

Схема закрепления ригеля	μ	ν
	1	4,7
	1	3,8

Схема закрепления рейки	μ	γ
	0,7	5,0
	0,5	4,0

В тех случаях, если получаемое по (3.57) напряжение сжатия не больше $[\sigma]_c$, т.е. $\sigma_c \le [\sigma]_c$, рейка проходит проверку на устойчивость. В противном случае необходимо увеличить размер h_0 до h_0':

$$h_0' = \frac{h_0 \sigma_c}{[\sigma]_c}. \qquad (3.61)$$

Таблица 3.14

Значения коэффициента φ рек из сталей с $\sigma_T \ge 320$ МПа

λ	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
φ	0,99	0,97	0,91	0,83	0,71	0,59	0,48	0,38	0,31	0,25

Важным этапом проверочных расчетов является определение максимальной нагрузки на зубе и сравнение ее с предельно допустимой по контактному заданию.

В тех случаях, если нагрузка на рейку имеет реверсивный характер, т.е. кроме максимальной интересности, необходимо найти наименьшее значение и сравнить его с предельно допустимым по контактному заданию.

3.2.6. Червячные передачи

Основа расчета — методика расчета передач общего назначения.

Дополнительные рекомендации:

– о величине x_1, x_2 — см. п. 3.2.3;

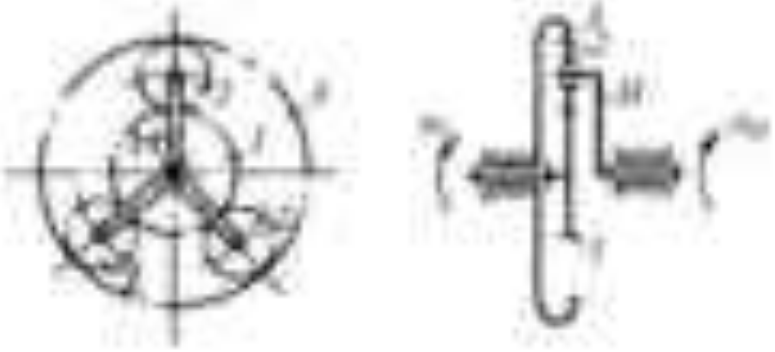
– о величине нагрузки — см. п. 3.2.5;

– при необходимости обеспечения $\alpha = 40$ калибрование зубьев со смещением инструмента и червячно-шлифовальных резцов;

– при переключении числа передач планетарного редуктора $u \leq 30$ применять переключение числа быстроходной ступени $z_{б} = 8$; при $u > 30$ применять переключение числа тихоходной ступени $z_{т} = 3,3$.

3.2.3. Планетарные зубчатые передачи

3.2.7.1. Кинематика планетарных передач типа 2К-Н. Простейшая планетарная передача (рис. 3.1) состоит из центрального солнечного зубчатого колеса *1* с наружными зубьями, центрального коронного зубчатого колеса *3* с внутренними зубьями, сателлитов *2* с внешними зубьями, которые входят в зацепление одновременно с солнечным и коронным колесами, и водила Н, на котором расположены оси сателлитов.



а

б

Рис. 3.1. Планетарная передача типа 2К-Н:
а — схема; *б* — внешний вид

При замыкании коротким концом L ($\omega_{кр} = 0$) вращение плавности вплоть L с частотой вращения ω_1 в ручной скорости ω_2 момент вращения составляет L относительно собственных осей с ручной скоростью ω_2 что вызывает качание гармонии из коротким концом и приводит к их перемещению по круговой орбите радиуса R_0, а следовательно, и входа N с частотой прецессии ручной скорости ω_2.

Силовины крепятся стеклянные втулки со скоростью $\omega_2^N = \omega_2 - \omega_1$ и имеют с входом с переменным вращением движения. Из движения выполняют движения плавно, а потом переходят к вращению скоростей.

Основными частными элементами передачи являются те, которые выполняют функции элементы. Такими частными являются элементы в отдельных классах, т.е. два вспомогательных класса ($2E$) и входа N. Сокращенно обозначают такого элемента механизма $2E/N$.

Планетарный механизм $2E$-N наиболее часто используется в МЗЧ, так как имеет высокий КПД и технологичную конструкцию. Поэтому ниже будет дана методика расчета именно этой схемы.

Подробно в плане планетарных передач рассмотрены в специальной литературе. Здесь же следует только о методах определения конструкции — так называемом построении планетарного механизма, исходного которого является механизм с параллельными осями (рис. 3.6).

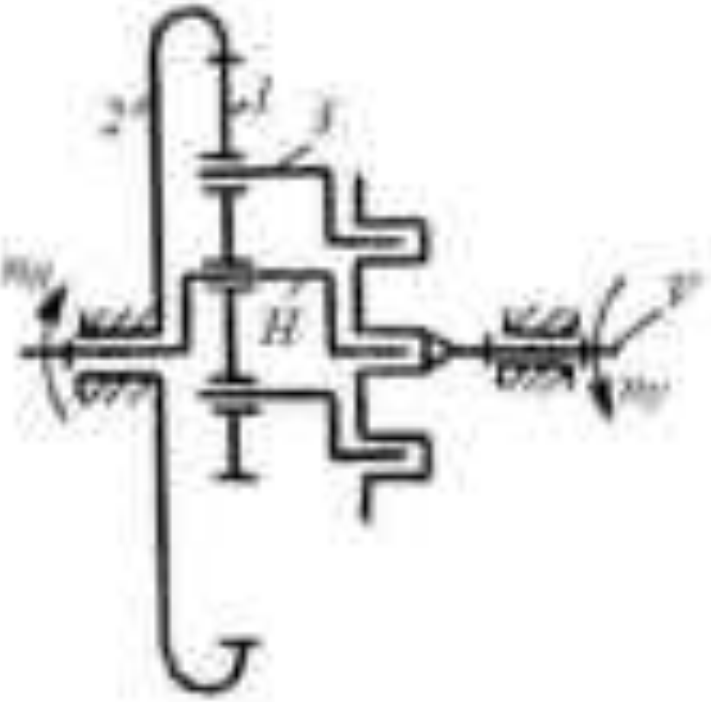


Рис. 3.6. Планетарный механизм с параллельными осями (схема $2E$-N)

Плоскорный механизм $K\,M\,\Gamma$ имеет три основных звена: центральное колесо 2, водило M и вал Γ. Вторая представляет собой механизм, на которое сложное движение 1. Сателлит передает вращение на вал Γ кривошипом 3 — механизмом, называемым которым равно механизмом подачи.

За один оборот водила сателлит, совершая сложное плоское движение, поворачивается относительно оси на угол, соответствующий размеру числа зубьев центрального колеса и сателлита, в направлении, противоположном направлению вращения водила, т.е. передаточное число такого преобразования движения равно:

$$u_{2\Gamma}^{(-)} = \frac{z_2}{z_2 - z_1}. \tag{3.62}$$

Для предотвращения заклинивания зубьев в зацеплении должно выполняться условие:

$$z_2 - z_1 \geq \begin{cases} 8 \text{ при } h_a^* = 1, \\ 7 \text{ при } h_a^* = 0{,}8, \end{cases} \tag{3.63}$$

где h_a^* — высота головки зуба.

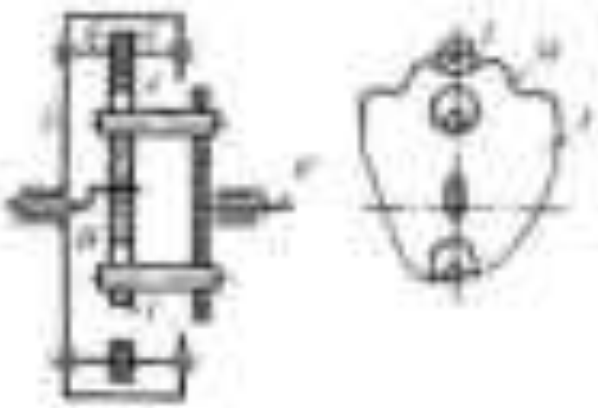
Очевидно, что при достаточно большом числе зубьев можно подобрать такие отличия передачи $K\,M\,\Gamma$ может по передаточному числу заменить двухступенчатый цилиндрический редуктор.

Дальнейшие исследования в направлении уменьшения размеров и повышения технологичности изготовления передачи привели нас к использованию планетарно-цевочного редуктора (рис. 3.3), в котором вместо эвольвентного зацепления применено цевочное.

Сателлит 1 имеет зубья, выполненные по эпициклоиде (2), и сопряжен со внешней N. Центральное колесо 2 выполнено 6 с отверстиями на том 4 эпициклоидного профиля зубьями 5, взаимодействующими с зубьями сателлита. Выходной вал Γ соединен с звеном 3, в отверстия которого с зазором вставлены пальцы 4, входящие в отверстия сателлита. Пальцы, выполняя отверстий, выполняют функцию передаточных кривошипов и согласно рис. 3.3.

Далее будет рассмотрена кривошипа планетарной передачи, показанная на рис. 3.3.

3.2.7.2. Исходные данные — см. в 3.2.5.



а

б

Рис. 3.1. Планетарно-цевочный редуктор осевых [7, 11, 17]
а — схема; б — в составе мотор-редуктора

3.2.7.1. Целью кинематического расчета является определение чисел зубьев солнечного и коронного колес и сателлита, обеспечивающих требуемое передаточное число, а также число сателлитов.

Передаточное число передачи 2K-H равно:

$$u_{2K}^{H} = 1 + \frac{z_3}{z_1}, \qquad (3.44)$$

где u_{2K}^{H} — передаточное число от солнечного колеса к водилу при неподвижном солнечном колесе;

Передаточное число должно составлять не должно превышать 8, в крайних случаях — 9. При необходимости обеспечения большого передаточного числа применяются, помимо изложенных многоступенчатые, причем каждая ступень представляет собой передачу по рис. 3.2.

Определение числа зубьев всех планетарных передач производят обычно методом подбора, задавшись числом зубьев солнечного колеса и обеспечивая при этом правильность зацепления. Число зубьев колес должно быть подобрано так, чтобы отсутствовали подрезание и заострение зубьев.

Следует задаться числом зубьев солнечного колеса, руководствуясь рекомендацией для планетарного колеса, выполненного из стали первой группы и с углеродистой твердостью $HB \le 350$, — $z_1 \ge 24$; из стали закаленной HB твердостью $HRC \ge 32$, — $z_1 \ge 21$; из стали цементированной твердостью $HRC \ge 52$, — $z_1 \ge 18$.

Минимальное число зубьев корригированного колеса

$$z_{1\min} = \begin{cases} 17 \text{ при } k_c' = 1; \\ 18 \text{ при } k_c' = 0{,}8. \end{cases} \tag{3.63}$$

Значение k_c, предварительно находят по формуле:

$$k_c = k_c\left(k_c' - 1\right) \tag{3.64}$$

При подборе числа зубьев всегда необходимо учитывать условия сборки, соосности и соседства сопряжений.

Из условия соосности назначают число зубьев сателлита

$$z_2 = \frac{z_3 - z_1}{2}. \tag{3.65}$$

Проверяют выполнение условия сборки:

$$\frac{z_1 + z_2}{C} = Y, \tag{3.66}$$

где C — число сателлитов (обычно $C = 3$); y — целое число.

Выполнение условий посадок соответственно задает следующее образом:

$$a_2 + \frac{\delta}{2} \le (a_1 + z_1)\sin\frac{\alpha}{2}. \qquad (3.69)$$

При невыполнении какого-либо из условий зацепного числа зубьев можно на 1–3 зубья и добиваются выполнения условия. Следует иметь в виду, что число зубьев колес z_1 и z_2 должны быть или только четные, или только нечетные.

После определения числа зубьев находят фактическое передаточное число:

$$u = 1 + \frac{z_2}{z_1}. \qquad (3.70)$$

Полученное отклонение передаточного отношения

$$\Delta u = \frac{\left|u - u_{ст}^{*}\right|}{u_{ст}^{*}} 100\% \le [\Delta u], \qquad (3.71)$$

где $[u]$ — допускаемое отклонение передаточного отношения, %, обычно принимают $[\Delta u] \le 4\%$.

При невыполнении этого условия необходимо число зубьев z_2 изменить и снова уточнить, затем найти числа зубьев всех остальных колес и провести проверку выполнения по условиям соосности, сборки и соседства.

3.2.7.4. Выбор материалов и допускаемых напряжений передачи производят по тем же нормам, что и для цилиндрических.

Так как зуб шлицевого вала более чем вдвое тоньше, чем зуб ступицы, то при твердости поверхности зубьев ступицы $HB \le 350$ твердость поверхности зубьев шлицевого вала назначают на 50–70 единиц выше, чем ступицы. При твердости поверхности зубьев ступицы $HB > 350$ твердость шлицевого вала и ступицы выбирают одинаковой. Характеристики сталей даны в табл. 3.9.

Для изготовления валов также используют сталь. Корпуса планетарных передач МЗЧ необходимо изготовлять из легких материалов и сплавов.

3.2.7.5. Допускаемые напряжения для зубьев при центральном колесе — ступице и сателлите — коррегированных колес определяют так же, как для передач обычного исполнения [14, 15].

5.2.3.6. Проектировочный расчет зарядов взрывчатого вещества по заданному расстоянию зоны сейсмического эффекта — находят по формуле:

$$q_{\max} = K_c (n+1) \sqrt{\frac{Y_i K_{ep} K_c}{\left[v\right] \sum_{i=1}^{n} w^2 (w_{ni})}}, \text{ кг;} \qquad (3.72)$$

где K_c — экспериментальный коэффициент (для грунтов основания K_c = 490 МПа$^{1/2}$, для монолитных пород K_c = 430 МПа$^{1/2}$); n — переменное отношение между основными взрывами и контрольным (отношение числа зарядов большого взрыва к числу зарядов контрольного); Y_i — предельный элемент по сейсмическому эффекту, [1 п]; K_{ep} — см. табл. 3.6; K_c — коэффициент, учитывающий неравномерность распространения напряжения между сейсмостанцией при взрыве контрольного заряда и при взрыве K_c = 1,1–1,2; при отсутствии — K_c = 1,5–2,0); C — число сейсмостанций; w_{ni} — коэффициент ослабления сейсмического эффекта, равный отношению скорости колебания основания k_i к начальной скорости:

$$w_{ni} = \frac{k_i}{v_0} \qquad (3.73)$$

и принятый из ряда стандартных значений: 0,3; 0,105; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80 (допускается принимать w_{ni} = 0,4 для материалов основания твердостью III с.100; w_{ni} = 0,315 при твердости IIIВС с.50 и w_{ni} = 0,25 при твердости IIIВС > 50);

Затем находят допустимый диаметр заряда по всему заряду основания — скважине. Путь заряда — скважина, тогда

$$d_c = \frac{2q_c}{n+1} \qquad (3.74)$$

Определяют массу зарядов

$$q_{ni} = \frac{q_c}{z_c} = \frac{q_c}{z_c} \qquad (3.75)$$

Получаемые наименьшие предельные размеры округляют до стандартного, учитывая значение допуска данного размера, составляют, вычитают из наибольших

$$d_1 = \text{наиб}_1;\ d_2 = \text{наиб}_2;\ d_n = \text{наиб}_n. \qquad (3.76)$$

и таким независимым расстояние

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad (3.77)$$

Затем по известным формулам вычисляют диаметры окружностей вершин и впадин зубьев всех звеньев передачи.

Окружная скорость основного вала, м/с:

$$v = \frac{\pi d' n_1}{60 \cdot 10^3}, \qquad (3.78)$$

где n_1 — частота вращения основного вала, об/мин.

По значению окружной скорости назначают степень точности планетарной передачи (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Степень точности зубчатых передач

Степень точности по нормам	Окружная скорость зубьев, не более, м/с		Назначение
	прямозубых	косозубых	
6	15	30	Высокоточные передачи, механизмы точной механики, металлорежущие и работающие
7	10	15	Скоростные передачи при умеренных энергозатратах, высокопроизводительные передачи при высокой точности
8	6	10	Передачи общего назначения и подачи (редукторы, не требующие особой точности)
9	2	4	Тихоходные передачи с пониженными требованиями к точности

Для шестерни число зубьев равно 6 или 7 степень точности назначается произвольно.

5.2.7.7. Проверку зубьев в паре соответствующего колеса — шестерня на выносливость проводят по контактным напряжениям:

$$\sigma_H = \frac{1.180 \cdot 10^3}{a_w} z_\Sigma \sqrt{\frac{T_2(u+1)^3}{\omega b_2 u^2} K_{H\beta} K_{H\alpha}} \le [\sigma_H], \qquad (5.79)$$

где z_Σ — определяют так же, как при расчете по (5.50); $K_{H\alpha}$ — см. табл. 5.10.

Условие (5.79) считается выполненным, если:

$$0,9 \le \frac{\sigma_H}{[\sigma_H]} \le 1,05. \qquad (5.80)$$

При невыполнении условия следует менять ширину b_2 или межосевое расстояние колеса. Новое значение напряжения

$$K_L = A_1 \left(\frac{\sigma_{H_0}}{[\sigma_H]} \right)^{m} \qquad (5.81)$$

Полученное значение сравнивают со стандартной по ряду R_a40, после чего соответственно корректируют первую группу основных допусков.

5.2.7.8. Проверочный расчет зубьев в паре соответствующего колеса — шестерня на выносливость по напряжениям изгиба проводят для того колеса, чье отношение $\frac{[\sigma_F]}{Y_F}$ меньше. Здесь Y_F — коэффициент формы зуба, его берут из табл. 5.11.

Условие усталостной прочности по напряжениям изгиба

$$\sigma_F = \frac{2000 T_2 Y_\beta K_{F\beta} K_{F\alpha}}{b_2 \omega_2 d_2^2} \le [\sigma_F], \qquad (5.82)$$

где $K_{F\beta}$, $K_{F\alpha}$ — указаны в табл. 5.6, 5.12.

Условие (5.82) считается выполненным, если:

$$\frac{\sigma_F}{[\sigma_F]} \le 1,05. \qquad (5.83)$$

Проверочный расчет зубьев волн планетарных передач при эвольвентном зацеплении такому же расчету зубчатых передач.

3.2.8. Волновые зубчатые передачи

3.2.8.1. Схемы волновой передачи показаны на рис. 3.5, конструкции волнового редуктора с условным графическим изображением на рис. 3.6. По своей сути волновая передача представляет собой планетарную, у которой одно из колес выполнено в виде гибкого венца.

Волновая зубчатая передача (рис. 3.5) состоит из гибкого колеса *1* с наружными зубьями, жесткого колеса *2* с внутренними зубьями и генератора волн *3*.

Наружный диаметр d_{a1} гибкого колеса в недеформированном состоянии меньше внутреннего диаметра d_{a2} жесткого колеса на величину:

$$d_{a1} = d_{a2} - 2m, \tag{3.84}$$

а *б*

Рис. 3.6. Схема волновой зубчатой передачи:
а — с плоским гибким колесом; *б* — с жестким колесом

3.2.8.2. Кинематический расчет волновой передачи зависит от того, какое из колес зубчатой передачи неподвижно и какое является ведущим. Обычно неподвижно жесткое колесо, а ведущим — генератор волн. Ведущим может быть и гибкое колесо, но в этом случае передаточное число будет иным.

При неподвижном жестком зубчатом колесе *2* (рис. 3.6, *а*) передаточное число от вала генератора волн *3* к валу гибкого колеса *1* равно

$$u_{31}^{(2)} = \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{n_3}{n_1} = \frac{z_1}{z_2 - z_1} = \frac{z_1}{z_2 \varepsilon} = \frac{d_1}{d_2 - d_1}, \tag{3.85}$$

Знак минус указывает на разные направления вращения ведущего и ведомого валов.

Перекосочные числа от вала генератора волны *3* к валу жесткого колеса *2* при неподвижном гибком колесе *1* (рис. 3.6, *б*) равно:

$$k_{3-2}^{1} = \frac{n_3}{n_2}\bigg|_{n_1=0} = \frac{z_2}{z_2 - z_1} = \frac{z_2}{k_{3-2}} = \frac{d_2}{d_2 - d_1}, \qquad (3.86)$$

В формулах (3.85), (3.86) n_3, n_2 — частоты вращения быстроходного и тихоходного валов; n_1, n_2, n_3 — угловая скорость соответственно гибкого колеса, жесткого колеса и генератора волн; z_1, z_2 — число зубьев гибкого колеса и жесткого колеса; d_1, d_2 — диаметр делительной окружности гибкого колеса и жесткого колеса; i — число волн деформации ($i = 1, 2, 3...$, обычно $i = 2$, реже 3); k_{3-2} — коэффициент кратности (обычно $k_{3-2} = 1$, при $u < 70$ $k_{3-2} = 2$; при $u < 45$ $k_{3-2} = 3$).

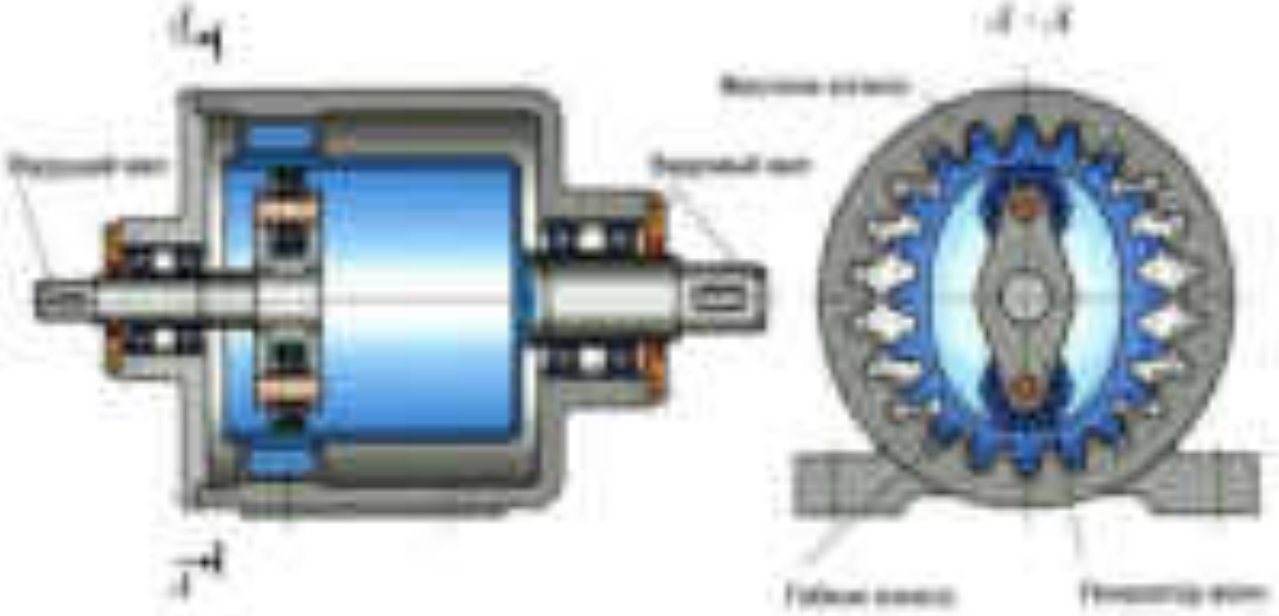


Рис. 3.7. Конструкция волнового редуктора с роликовым генератором волн

3.2.8.3. В качестве материала зубчатых колес (рис. 3.7), как правило, используют стали, которые после термообработки имеют твердость 220–330 НВ (табл. 3.16). В отдельных случаях колеса изготавливают из бериллиевой бронзы БрБ2, пластмассы или алюминиевого сплава.

Таблица 3.10

Марки сталей для изготовления зубчатых колес зубчатых передач

Сталь	Твердость, НВ	Предел выносливости σ_{-1}, МПа
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

3.2.28.4. Допускаемое напряжение изгиба на переходной поверхности зубьев определяют в виде:

$$[\sigma_{изг}] = 13{,}7 K_{ш} K_{\Omega} K_{d} \text{, МПа}, \qquad (3.87)$$

где $K_{ш} = \frac{w - 20}{w}$ — коэффициент, зависящий от передаточного числа;

$K_{\Omega} = \frac{\Omega}{\Omega^{*}_{ном}}$ — коэффициент, зависящий от частоты вращения сепаратора подшипника (т.е. для планетарной передачи — от частоты вращения водила $n_{в}$); K_{d} — коэффициент, зависящий от наименьшего диаметра рабочего колеса d_{1} (при $d_{1} \le 150$ мм $K_{d} = 1{,}25$, при $d_{1} > 150$ мм $K_{d} = 1$).

Для сталевых зубчатых колес допускается допускаемый контактный напряжение $[\sigma_{изг}] = (4\text{-}20)$ МПа, для пластмассовых — $[\sigma_{изг}] = 3\text{-}5$ МПа.

3.2.28.5. Проектный расчет передачи состоит в определении геометрических параметров сцепления и жесткого колеса из условия прочности зубьев на изгиб.

Для выполнения расчета применяют упрощенные теоретические зависимости. Они верны только для эвольвентных зубчатых колес, нарезанных стандартным инструментом и имеющих симметричный профиль зуба, имеющих угол зацепления $\alpha = 20°$, коэффициент высоты головки зуба $h_{a}^{*} = 1$, коэффициент радиального зазора $c^{*} = 0{,}25$ для модулей больше 1 мм и $c^{*} = 0{,}35$ для модулей до 1 мм.

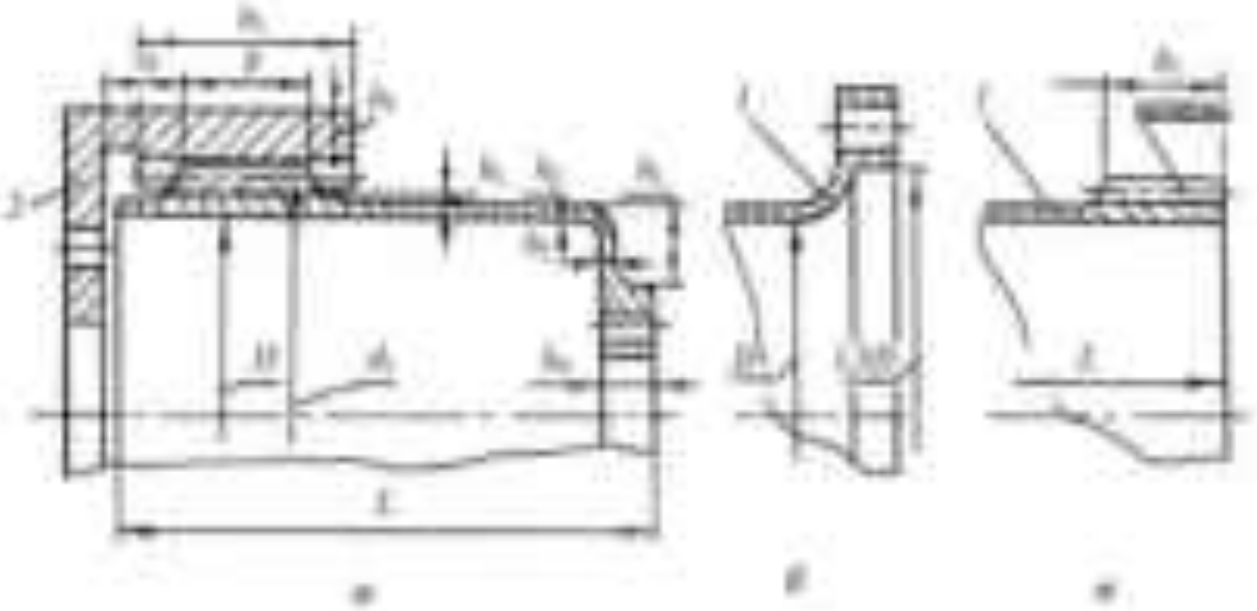
Исходными данными для расчета являются крутящий момент $T_{кр}$, Н·м, на тихоходном валу передачи и частота вращения тихоходного вала.

Расчет начинают с определения делительного диаметра гибкого колеса d_2 из условия прочности зубьев на смятие, выражаемого формулой

$$d_{w2} = \frac{10^3 T_2 K}{k d_2^2 \psi_{bd}} + (0{,}6 \ldots 1)h, \qquad (3.88)$$

где T_2 — в килоньютонах; K — коэффициент режима работы передачи (при постоянной нагрузке и кратковременных перегрузках $T_{max}/T \le 1{,}2$ $K = 1$; при умеренной динамической нагрузке и $T_{max}/T \le 1{,}6$ $K = 1{,}25$; при резко динамической нагрузке и $T_{max}/T \le 2{,}5$ $K = 1{,}75$); h — ширина зубчатого венца гибкого колеса, мм.

На рис. 3.8 показаны основные геометрические параметры передачи.



а *б* *в*

Рис. 3.8. Геометрические параметры волновой передачи:
а — типовая конструкция передачи; *б* — вариант исполнения фланца гибкого колеса; *в* — гибкое колесо со днищем

Ширина зубчатого венца гибкого колеса равна

$$b = \psi_{bd} d_2, \qquad (3.89)$$

где ψ_{bd} — коэффициент ширины зубчатого венца (для силовых передач $\psi_{bd} = 0{,}17 \ldots 0{,}20$; для механизмов малой мощности кинематического передачи $\psi_{bd} = 0{,}06 \ldots 0{,}15$).

Подставляя значения первого члена и условие прочности после преобразований дает значение расчетного диаметра гибкого нубкового вала

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10T_1K}{[\tau_{кр}]n_{ст}}} \qquad (3.66)$$

При установлении генератора числа двухзаходный диаметр предварительно принимают равным внутреннему диаметру d_1 гибкого вала, который считают приблизительно равным наружному диаметру гибкого несущего стержня (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Основные размеры гибких валов по ГОСТ 22679

Обозначение исполнения	Размеры, мм					Число заходов	Предельная частота вращения, об/мин
	d	D	B	n	$d_{ср}$		
806	30	42	7	0,5	3,868	21	3 000
808	40	52	8			23	
809	45	62	9		5,993	21	
812	60	80	13		7,744	25	
815	75	100	13	1,0	9,258	31	
818	90	120	18		11,113	33	
822	110	150	24		14,288	21	1 500
824	120	160				27	
830	150	200	30		19,050		
836	180	240	35	1,5	22,225		
844	230	300	47	2,5	29,375		1 000
848	260	320	48				
860	300	400	60		36,513		
862	310	420	70				
872	360	480	72	3,5	44,450		

Обозначения: d — внутренний диаметр оплетки; D — наружный диаметр оплетки; B — ширина оплетки; n — радиус скругления кромок оплетки; $d_{ср}$ — диаметр сердечника

Число зубьев z_1 гибкого колеса определяют в зависимости от того, какое колесо предпочтительнее. При изготовлении гибкого колеса:

$$z_1 = nK_1 y, \tag{3.51}$$

при изготовлении жесткого колеса:

$$z_2 = (n-1)K_1 y. \tag{3.52}$$

Модуль зубьев равен:

$$m = \frac{d_1}{z_1}. \tag{3.53}$$

После вычисления по (3.53) необходимо привязать полученное значение модуля к ближайшему стандартному значению, причем вычисления осуществляются между (0,2; 0,22; 0,28; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45).

Уточненное действительное диаметр гибкого колеса при заданном стандартном модуле:

$$d_1' = mz_1. \tag{3.54}$$

Находят теоретическое число зубьев и зависимости от того, какое колесо предпочтительнее. При изготовлении гибкого колеса:

$$n' = \frac{z_1}{K_1 y}, \tag{3.55}$$

при изготовлении жесткого колеса:

$$n' = \frac{z_2}{K_1 y} + 1. \tag{3.56}$$

Вычисляем отклонение определяющего числа от требуемого, %:

$$\Delta n = \frac{100[n - n']}{n} \le [\Delta n], \tag{3.97}$$

где $[\Delta n]$ — допускаемое отклонение, %, определяющего числа от требуемого в соответствии с техническими условиями на ММ.

При невыполнении условия (3.97) необходимо изменить z_1 так, чтобы условие было выполнено, и затем скорректированное значение дополнительного диаметра гибкого зубчатого венца.

Число зубьев жесткого венца:

$$z_2 = z_1 + K_z v. \tag{3.98}$$

Толщина зубчатого венца составит гибкого колеса:

$$h_1 = (70 \div 0{,}5n)m_n \cdot 10^{-4}, \text{ мм}. \tag{3.99}$$

Толщина обода гибкого колеса $h_0 = (0{,}3 \div 0{,}8)h_1$.

Отношение левой бесконечно малой толщины зубчатого венца к внешней определяется:

$$\frac{\lambda_{min}}{m} = \frac{P_{max}h}{aC_1 b_1 m} + 4 \cdot 10^{-4}(n + 60), \tag{3.100}$$

где λ_{min} — необходимый бесконечно малый размер толщины зубчатого венца, мм; G — модуль упругости второго рода для материала гибкого колеса (для стали $G = 8{,}1 \cdot 10^4$ МПа).

Отношение квадрата радиальных упругих деформаций гибкого колеса:

$$w_0^2 = \frac{m_n}{m} = (1{,}8 + 8 \cdot 10^{-4}z_1 + 2)\lambda_{min}, \tag{3.101}$$

где m_n — расчетный модуль деформирования гибкого колеса, мм.

Коэффициент смещения исходного контура зубьев гибкого колеса:

$$x_2 = \frac{1,35 - w_0}{(1,365\sqrt[3]{z_2} - 0,04)} \qquad (3.102)$$

Коэффициент смещения исходного контура зубьев жесткого колеса:

$$x_1 = x_2 + w_0^* - 1. \qquad (3.103)$$

Относительная глубина захода зубьев:

$$h_0^* = \frac{h_0}{m} = 4w_0^* - (4,6 - 4w_0^*) \cdot 10^{-4} z_2 - 2,48, \qquad (3.104)$$

где h_0 — глубина захода зубьев, мм.

Диаметр окружности вершин зубьев гибкого колеса:

$$d_{f2} = m(z_2 - 2h_0^* - 2c^* + 2x_2). \qquad (3.105)$$

Диаметр окружности вершин зубьев гибкого колеса:

$$d_{a2} = d_{f2} + 2m(h_0^* + c^*). \qquad (3.106)$$

Диаметр окружности вершин зубьев жесткого колеса:

$$d_{a1} = d_{a2} - 2m(h_0^* - w_0^*) \qquad (3.107)$$

Диаметр окружности впадин зубьев жесткого колеса:

$$d_{f1} = d_{a1} + 2m(0,15 + w_0^*). \qquad (3.108)$$

Для гибких колец зависимость между коэффициентом волновой деформации и относительной толщиной кольца выражается:

$$h_1 = 0,5(d_{a2} - d_1). \qquad (3.109)$$

Длина гибкого колеса с двумя (см. рис. 3.8, *а*) $l_c = 0{,}8l$; со зубчатым (рис. 3.8, *в*) $l_c = 0{,}7l$.

Параметры остальных частей гибкого колеса: $h_1 = (0{,}7 \div 1)h_2$; $h_3 = 2h_2$; $h_4 \geq 0{,}1h$; $r = 0{,}2h$.

Ширина b_2 венца зависит от типа колеса:

$$b_2 = b + (1{,}6 \div 2)\sqrt{h}, \qquad (3.110)$$

Длина колеса $b_1 = 0{,}5l$.

Определяют основные геометрические параметры генератора волн.

Геометрию кулачкового генератора (рис. 3.9) определяет радиус-вектор *r* эллиптического сечения

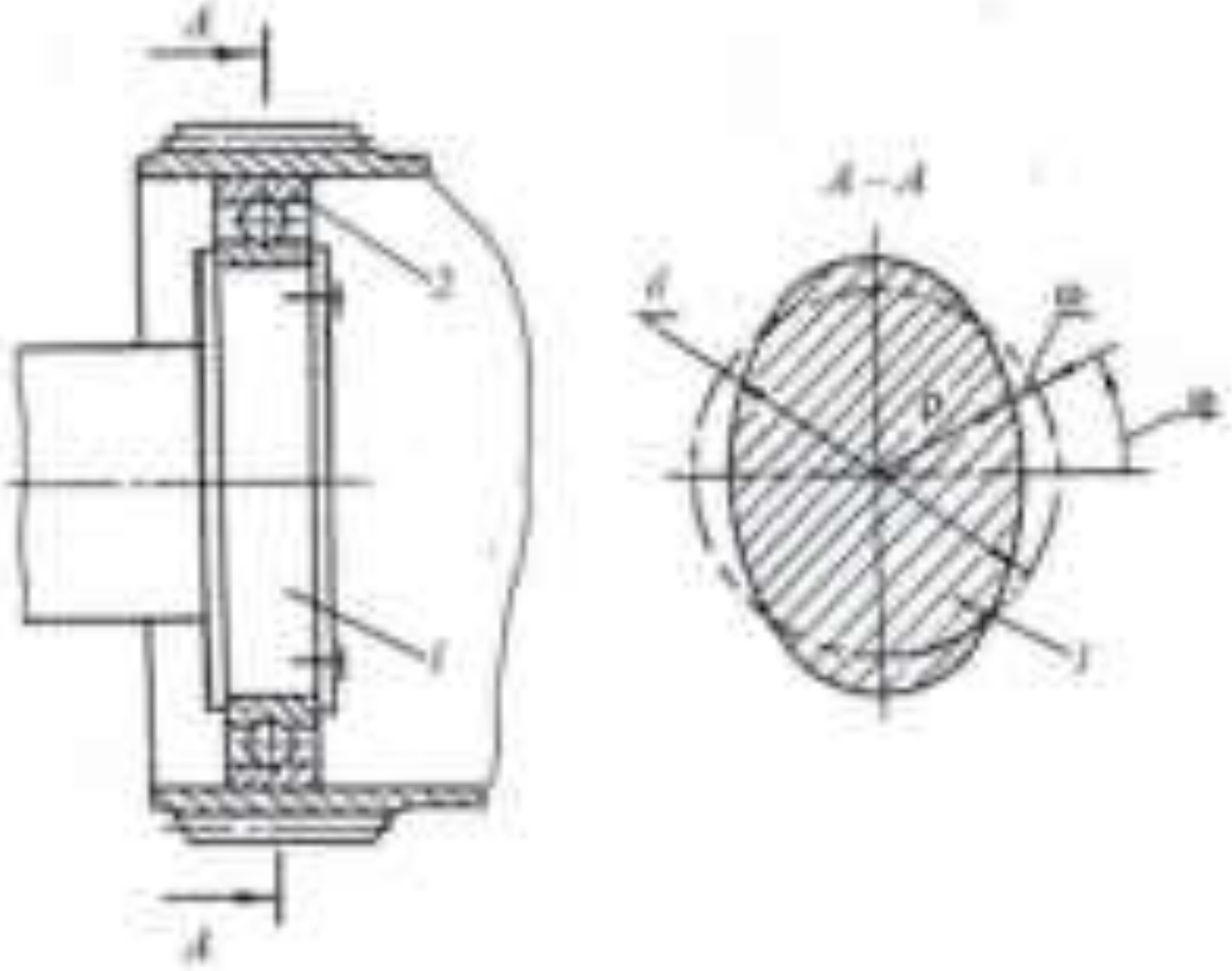


Рис. 3.9. Кулачковый генератор волн
1 — кулачок; *2* — гибкий подшипник

Радиус-вектор остаётся в каждой четверти

$$\rho = 0{,}5K_{\text{н}} + B\pi nK_{\text{н}}, \qquad (3.111)$$

где $K_{\text{н}}$ — внутренний диаметр гибкого исполнения; B — коэффициент радиальной деформации (табл. 3.10); $K_{\text{н}}$ — коэффициент, зависящий от угла заполнения α ($K_{\text{н}} = 1$ для $\alpha = 20°$; $K_{\text{н}} = 0{,}89$ для $\alpha = 30°$).

Таблица 3.10

Значения коэффициента B

Угол φ	0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
B	–1,25	1,33	–0,93	0,56	–0,35	0,20	0,97	0,36	0,87	0,9

Срок службы стандартных гибких исполнений составляет 10 000 ч, допускается кратковременная двухкратная перегрузка.

Эксплуатационное заполнение генератора волн (рис. 3.10):

$$e = 1{,}4w_0^2 m. \qquad (3.112)$$

Диаметр лепки:

$$D_0 = D + 2w_0 - 2e, \qquad (3.113)$$

где w_0 — максимальная упругая деформация гибкого колеса с учетом податливости генератора волн и жесткости венца, а также отклонений размеров от номинальных при изготовлении.

Значение w_0 определяют по формуле:

$$w_0 = w_0^{\text{ном}}(1{,}07 + 0{,}025\sqrt{n_{\text{ст}}}), \text{ мм}. \qquad (3.114)$$

3.2.8.5. Прикидочные расчеты начинаются с проверки гибкого колеса на выносливость.

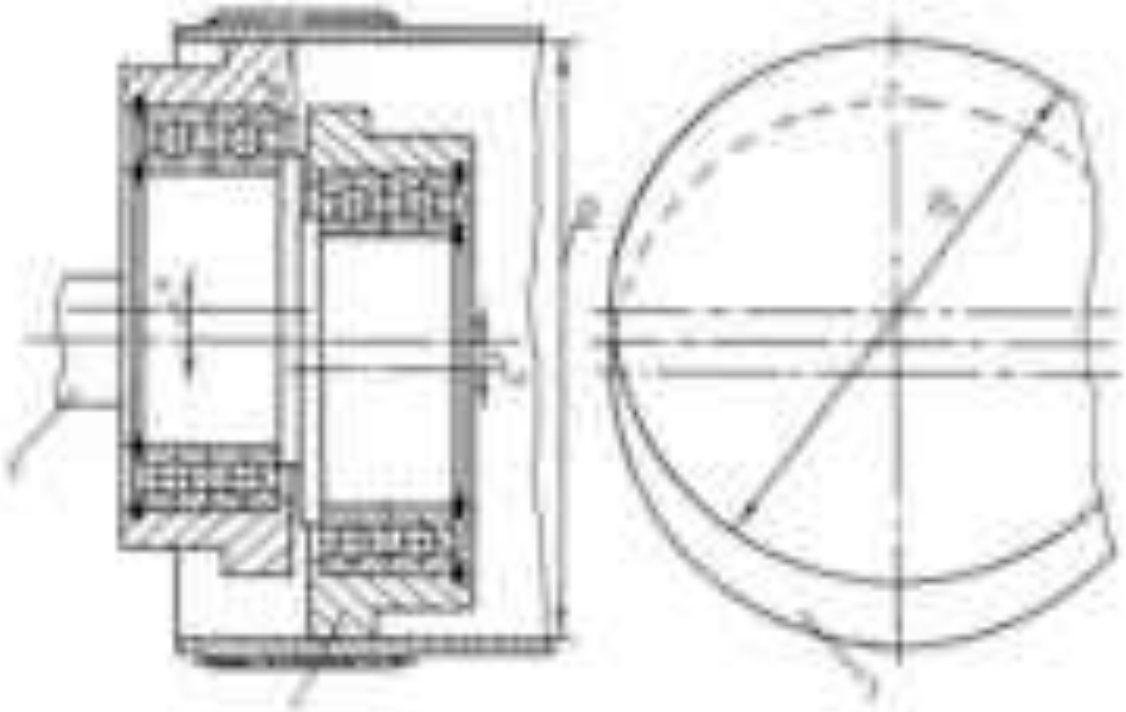


Рис. 3.10. Диковый генератор волн:
1, 2 — рамы; *3* — эксцентриковый вал

Определяют запас усталостной прочности гибкого колеса по формуле

$$s = \frac{1{,}25\sigma_{-1}k_{\sigma}}{K_{\sigma}K_{F}\sigma_{a}^{2}k_{0}\sqrt{1+0{,}13\left(\frac{A}{L}+\frac{T_{1}n}{\omega_{1}AEN}\right)}}, \qquad (3.115)$$

где E — модуль упругости первого рода материала гибкого колеса (для стали $E = 2{,}1 \cdot 10^{5}$ МПа); n_{1} — время наработки материала гибкого колеса (см. табл. 3.16); K_{F} — коэффициент учитывания напряжения от сил в зацеплении; K_{σ} — эффективный коэффициент концентрации напряжений у основания зуба.

Условие обеспечения необходимой выносливости гибкого колеса

$$s \geq [s], \qquad (3.116)$$

где $[s] = 1{,}2$ — минимально допускаемый запас усталостной прочности.

Величину коэффициента K_{F} определяют по формуле

$$K_{F} = 1 + 2{,}2 \cdot 10^{-5}\frac{T_{1}}{dB}, \qquad (3.117)$$

и коэффициента K_{α} — по формуле

$$K_{\alpha} = 1 + (1,05)\frac{\sqrt{2K_{\alpha}\cdot\varepsilon^{2}\cdot\sin\alpha}}{K_{\alpha}\cdot K_{\alpha}}\cdot(R_{\max}+0,11) \qquad (3.118)$$
$$R_{\max}+0,12$$

где $R_{\max}$ — максимальный радиус переходной поверхности:

$$R_{\max} = \frac{m\pi(\delta_{1}^{2}+\varepsilon^{2}-z_{1}-\rho^{2})}{K_{\alpha}\cdot\varepsilon^{2}-z_{1}-\rho^{2}+0,3z_{1}} + m\rho^{2}. \qquad (3.119)$$

Значения входящих в (3.119) величин: $\varepsilon^{2} = 0,25$ и $\rho^{2} = 0,4$ при $m > 1$ мм; $\varepsilon^{2} = 0,35$ и $\rho^{2} = 0,4$ при $m = 1$–$0,5$ мм; $\varepsilon^{2} = 0,3$ и $\rho^{2} = 0,35$ при $m < 0,5$ мм.

Вероятность P перегрузки гибкого зубчатого венца и зависимости от коэффициента запаса усталостной прочности приведена в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Вероятность P перегрузки гибкого зубчатого венца в коэффициент K_{α} перегрузки перегрузки гибкого колеса

x	1,30	1,7	1,6	1,50	1,5	1,45	1,4	1,3	1,2
P, %	95,0	96,6	99	98,5	97,0	96,7	95,1	90	87
K_{α}	0,5	0,6	0,66	0,69	0,75	0,8	0,9	1	

Условие (3.2) выражает, что нагрузка в зоновой передаче складывается из нагрузки в зацеплении в центре при приложении генератора волн. Следовательно, при подсчитанном быстроходном и тихоходном валов преобразуют. В этом случае (3.2) имеет:

$$q = \frac{1}{1+1,11\cdot\frac{M_{\max}}{\sin^{2}\alpha}+(0,3\cdot\ldots\cdot(\lg(n+\rho^{2}))} \qquad (3.120)$$

где f_1 = 0,03–0,05 — коэффициент, учитывающий трение в зубчатом зацеплении; f_2 = 0,0015–0,003 — условный коэффициент, учитывающий трение во всех опорах; $\mu' = \mu \sin \beta$ — приведенный угол трения.

Цикл работы ВЗУ выполняется многими рычагами передачи. В процессе работы редуктор нагревается. Температуру масла в внутренней поверхности корпуса редуктора определяют по формуле:

$$t_м = \frac{P_1 K_t (1-\eta)}{K_т A} + 20, °C, \qquad (3.121)$$

где P_1 — мощность на быстроходном валу, Вт; $K_t = t_р / t_ц$ — коэффициент продолжительности работы редуктора ($t_р$ — время работы редуктора в течение цикла; $t_ц$ — длительность цикла); $K_т$ — коэффициент теплопередачи (при естественном охлаждении $K_т$ = 8–15 Вт/(м²·°С), при охлаждении с помощью вентилятора $K_т$ = 18–28 Вт/(м²·°С)); $A = (8–10)A^{2/3}$ — поверхность охлаждения редуктора, м².

Запас прочности выполняется условие:

$$t_м \le [t_м], \qquad (3.122)$$

где $[t_м]$ — допускаемая температура ($[t_м]$ = 85–90 °С — для минеральных масел по ГОСТ 23799; $[t_м]$ = 100–120 °С — для синтетических масел).

3.2.9. Передачи винт-гайка скольжения

3.2.9.1. Исходные данные:

- номинальная нагрузка на гайке $F_н$, Н;
- номинальная скорость гайки v, м/с;
- максимальное рабочее перемещение гайки s, мм;
- кратность (долговечность) передачи;
- прочие (эксплуатационные показатели, линейные ограничения, конфигурационные ограничения и т.д.).

Для определенности примем, что ВЗУ осуществляет преобразование вращательного движения в поступательное, поэтому винтовая пара является ведущей.

3.2.9.2. Конкретный расчет ШГС не может быть выполнен без значения диаметра вала. Поэтому следует определить расчетный средний диаметр резьбы вала по критерию износостойкости, используя формулу (6):

$$d_2 \geq K_0 \sqrt{\frac{F_a}{\psi h [q]}}, \qquad (3.123)$$

где $K_0 = \sqrt{\frac{\beta}{\eta h}}$ — коэффициент, зависящий от типа резьбы (для трапецеидальной и прямоугольной резьб $K_0 = 0,8$; для упорной резьбы $K_0 = 0,65$); h — высота рабочего выступа; β — тип резьбы; $\eta = 1,2–1,5$ — коэффициент высоты гайки; $[q]$ — допускаемое давление между рабочими поверхностями резьбы винта и гайки (в паре сталь — чугун $[q] = 5–6$ МПа; в паре сталь — бронза $[q] = 9–11$ МПа).

Зная тип стандартной резьбы и расчетное значение среднего диаметра, подбирают резьбу, у которой d_2 равен или больше расчетного, и далее определяют d и внутренний d_1 диаметры. В табл. 3.20 приведены выдержки из стандарта по трапецеидальной резьбе [16].

Таблица 3.20

Параметры трапецеидальной резьбы, мм

p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d
2	7	6	8	3	8,5	7	10	4	14	12	16
	9	8	10		10,5	9	12		16	14	18
	11	10	12		12,5	11	14		18	16	20
	13	11	14		28,5	27	30		65	63	67
	15	14	16		30,5	29	32		68	66	70
	17	16	18		32,5	31	34		73	71	75
p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d
5	19,5	17	22	6	27	24	30	8	20	16	24
	21,5	19	24		29	26	32		24	20	28
	23,5	21	26		31	28	34		40	36	44
	25,5	23	28		33	30	36		44	40	48
	42,5	40	45		35	32	38		48	44	52
	47,5	45	50		37	34	40		76	72	80

Определяют наибольшую угловую скорость вала:

$$\omega = \frac{2000\pi v}{pK}, \tag{3.124}$$

где K — число заходов резьбы; обычно ШГС выполняют однозаходными, и $K = 1$; но при необходимости в прецизионных движениях ШВП могут применяться и многозаходные резьбы.

В заключение кинематического расчета вычисляют угол подъема винтовой линии

$$\psi = \operatorname{arctg}\frac{pK}{\pi d_2}. \tag{3.125}$$

3.2.11.2. Характерной особенностью передачи ШГС является то, что ее кинематический расчет включает в себя элементы (шаги) часть кинематического расчета. Кроме этих геометрических параметров резьбы, передача качения включает еще много:

$$\gamma = \gamma' \mu, \frac{\operatorname{tg}(\psi + \rho')}{\mu}, \tag{3.126}$$

где ρ' — приведенный угол трения в резьбе:

$$\rho' = \operatorname{arctg}\frac{f}{\cos\frac{\alpha}{2}}, \tag{3.127}$$

f — коэффициент трения скольжения в резьбе (в зависимости от материала пары $f = 0{,}1$–$0{,}2$); α — угол профиля резьбы (для трапецеидальной резьбы $\alpha = 30°$, для упорной — $\alpha 2 = 3°$, для прямоугольной — $\alpha = 0$).

В том случае, если $\psi < \rho'$, передачу называют самотормозящейся.

Для винта вала вычисляют КПД винтовой пары

$$\eta_{вв} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}(\psi + \rho')}. \tag{3.128}$$

Практически КПД ШГС лежит в пределах $\eta_{вв} = 0{,}23$–$0{,}3$.

Высота гайки определяют по формуле:

$$H = kd, \tag{3.129}$$

а округляют по ручному значению по ГОСТ 16093-81.

Число витков резьбы в гайке:

$$z = \frac{H}{P} \tag{3.130}$$

Наружный диаметр D гайки принимают в зависимости от ее материала: $D = 1,5d$ — для чугунной, $D = 1,3d$ — для бронзовой.

Диаметр и высота уступов бурта гайки равны: $D_1 = 1,4D$; $a = (0,2\text{-}0,3)H$.

5.2.9.3. Проверочные расчеты содержат: проверку витка в конструктивных элементах гайки.

Условие прочности витка:

$$\sigma_{см} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le [\sigma], \tag{3.131}$$

где $\sigma_{см}$ — эквивалентное напряжение в опасном сечении витка; σ — нормальное напряжение:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d_1^2}, \tag{3.132}$$

τ — касательное напряжение:

$$\tau = \frac{0,5F}{\pi d_1 t}, \tag{3.133}$$

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение для материала витка.

Проверку витка на усталостность проводят в тех случаях, если рабочая нагрузка — знакопеременная. Определяют размах напряжений опасного сечения витка, который для круглого сечения равен $t = 0,25d_1$, далее по (3.59)

находят значение гибкости λ, а по табл. 3.14 — коэффициент φ. Напряжения допускаемые по условию устойчивости сжимающие напряжения в виде сжатия

$$[\sigma_c] = \varphi[\sigma]; \tag{3.134}$$

$$[F_a] = \frac{\pi d^2 [\sigma_c]}{4}. \tag{3.135}$$

Устойчивость винта обеспечивается, если $F_a \le [F_a]$.

Кроме того, винты, у которых $\lambda \ge 100$, проверяют по критической частоте вращения. Критическая частота вращения, об/мин, — вычисляют по получившейся по формуле

$$n_{kp} = 3 \cdot 10^7 \frac{\pi d_1 k}{l^2}; \tag{3.136}$$

$$n_{kp} = \frac{8 \cdot 10^7}{d_1 \lambda^2}, \tag{3.137}$$

где k — коэффициент, зависящий от способа закрепления винта (см. табл. 3.15).

Винт считают не менее условию, если частота вращения винта по более критическая, т.е.:

$$n = \frac{3 i_{\text{ш}} i_{\text{м}}}{u} \le n_{kp}, \text{ об/мин}. \tag{3.138}$$

Витая резьба гайки проверяют на износ

$$\sigma_h = \frac{K_m F_a}{d_2 h} \le [\sigma_h], \tag{3.139}$$

где K_m — коэффициент типа резьбы (для трапецеидальной резьбы $K_m = 1,9$; для упорной — $K_m = 1,8$; для прямоугольной — $K_m = 1,3$); $[\sigma_h]$ — допускаемое напряжение износа (для чугунных гаек $[\sigma_h] = 25$ МПа; для бронзовых — $[\sigma_h] = 40$ МПа).

Тогда набор проверяет по формуле Герца:

$$\sigma_c = \frac{3{,}2F}{\pi d(1^2 - d^2)} \le [\sigma_c], \qquad (3.140)$$

где $[\sigma_c]$ — допускаемое контактное напряжение для материала гайки; для чугуна: сжатие $[\sigma_c] = 20$ МПа; для бронзы — $[\sigma_c] = 40$ МПа.

Будет гайка проверять на изгиб и смятие:

$$\sigma_u = \frac{3F_a(l_1 - l_2)}{\pi d^2 l_2^2} \le [\sigma_u], \qquad (3.141)$$

$$\sigma_{см} = \frac{4F_a}{\pi(l_1^2 - l_2^2)} \le [\sigma_{см}], \qquad (3.142)$$

где $[\sigma_{см}] = 60$ МПа — допускаемое напряжение смятия.

3.2.10. Шарико-винтовые передачи

3.2.10.1. Исходные данные:

– номинальная нагрузка на гайке F_a, Н;

– номинальная скорость гайки v, м/с;

– номинальная рабочая температура гайки t, °С;

– вектор внешних воздействий (вибрации);

– срок службы (долговечность) передачи;

– прочие (дополнительные) показатели, такие как красивая, конфигурация, вид привода и т.д.).

Для определенности примем, что ШВП не выполняет преобразование вращательного движения в поступательное, которое часто называется винт. Винтовой вал ШВП показан на рис. 3.11.

В настоящее время ряд фирм как российских, так и зарубежных начали серийный выпуск ШВП, которые преобразование преобразуются энергию скольжения в качестве механизма и продажа покупателю. В табл. 3.21 приведены данные по ШВП компании *NSK Limited*.

Рис. 3.11. Шарнир компенсационный

Таблица 3.21

Параметры ШВИП ЛТМ.ПУ (резьба накатанная)

Обозначение	d, мм	d_1, мм	p, мм	C_{dyn}, кН	C_{stat}, кН	Полный ход, мм
[illegible]	16	12,8	5	7,92	12,45	0,04
[illegible]			10	6,23	11,00	
[illegible]	20	16,0	5	11,56	24,00	
[illegible]		15,8	10	10,0	20,5	
[illegible]		17,0	20	6,8	15,5	
[illegible]	25	20,3	5	12,46	32,98	
[illegible]		21,2	10	16,3	32,7	
[illegible]		22,0	20	7,7	19,3	
[illegible]	32	28,1	5	33,56	44,59	
[illegible]		27,7	10	28,3	43,11	
[illegible]		28,7	20	17,6	49,5	
[illegible]			32	11,6	31,8	
[illegible]	40	36,7	5	33,56	91,59	
[illegible]		32,9	10	40,0	123,0	

Обозначение	d, мм	d_0, мм	p, мм	C_a, кН	C_{0a}, кН	Способ калибрования
040-2G/3-5Н/5g			20	34,89	90,00	ППТ
040-40Е2-5Н/5g			40	23,0	58,8	
050-6Н/6e-Л/2р	50	46,0	5	35,31	144,20	
050-6Н/6e-Л/2р		44,4	10	74,5	255,0	
050-2G/3-6Н/5g		43,9	20	62,0	208,0	
050-40Е3-5Н/5g		43,0	40	39,0	123,0	
Обозначения: C_a — динамическая грузоподъемность; C_{0a} — статическая грузоподъемность						

3.2.10.2. Начало проектировочного расчета винтов и гайковинтовых передач – определение внутреннего диаметра резьбы винта d_1 из условия прочности (3.111). Для этого необходимо задать величину крутящего момента T, что, в свою очередь, требует знания угла подъема ψ_1 винтовой линии по начальному диаметру d_2. Удобно воспользоваться следующими соотношениями, исключающими присутствие $\Pi\Pi\Pi$:

$$\begin{aligned} D_n &= 0,6\,p; \\ d_2 &= \frac{D_n}{K_m}; \\ d_1 &= d_2 - 1,0825\,p. \end{aligned} \tag{3.145}$$

где D_n — диаметр шарика; p — шаг резьбы (винтовой) ВГС; $K_m = 0,3 \div 0,35$ — коэффициент диаметра шарика.

Из выражений (3.145) следует, что

$$d_2 = 0,607p\left(\frac{1}{K_m} + 1\right), \tag{3.146}$$

формула для угла подъема винтовой линии (3.125) в результате подстановки уравнения (3.146) принимает вид

$$\psi_1 = \operatorname{arctg}\frac{3,65k}{n\left(\frac{1}{K_m} + 1\right)}. \tag{3.147}$$

Для $K = 1$ диапазон углов нутации $\varphi_0 = 2.73°$–$7.73°$, для $K = 2$ – $\varphi_0 = 3.48°$–$15.23°$.

Продольный момент на винте при отсутствии шипов, Н·мм:

$$T = F_z \frac{d_{cp}}{2} \eta \operatorname{tg}(\varphi_0 + \rho_0), \tag{3.146}$$

где ρ_0 — приведенный угол трения качения, определяемый по формуле:

$$\rho_0 = \arctg \frac{2f_k}{D_0 \sin\beta}, \tag{3.147}$$

в которой $f_k = 0.007$–0.01 мм — приведенный коэффициент трения качения; β — угол наклона витков по средней линии, при расчете принимают $\beta = 45°$.

Пусть $\varphi_0 = 15.338°$ и $\rho_0 = 7°$. Тогда

$$T = F_z \frac{d_{cp}}{2} \eta \operatorname{tg} 15.23° = 0.136 F_z d_{cp}, \tag{3.148}$$

а мгновенная η и кинетическая η передаваемая в осевом сечении винта:

$$\eta = \frac{4F_z}{\pi d_1^2 p}, \tag{3.149}$$

$$\eta = \frac{10 \cdot 0.136 F_z d_{cp}}{\pi d_1^2 p} = \frac{5.186 F_z d_{cp}}{\pi d_1^2 p}. \tag{3.150}$$

Из соотношений (3.145) и (3.144) следует, что для ППВП с $K_{max} = 0.35$

$$\begin{aligned} d_1 &= 1.71 p, \\ d_{cp} &= 2.52 p, \end{aligned} \tag{3.151}$$

с окончательно $\frac{d_{cp}}{d_1} = 1.35$, и

$$\eta = \frac{2.046 F_z}{\pi d_1^2 p}. \tag{3.152}$$

Подставляя выражений (3.149) и (3.152) в условие (3.151) после преобразований получают окончательную границу диаметра d_0, мм:

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{6,48F}{\phi[\tau]}} + 1,44\sqrt{\frac{F}{\gamma[\tau]}} \qquad (3.153)$$

При определении $[\tau]$ плата можно ориентировочно принять предел текучести стали $\sigma_т = 800$ МПа, запас прочности $n_т = 1,5 \div 2,5$.

Затем следует по каталогу принять типоразмер ПППП с внутренним диаметром ротора ближайший больший, чем полученный по формуле (3.153).

Следующим этапом является определение гибкости вала, нагруженного сжимающей силой, по выражению (3.93), и которая ($\gamma \leq 0,25\lambda_1$, При $\lambda > 50$) расчёт можно выполнять проверку вала на продольную устойчивость. В случае, если вал на устойчивость не проходит, нужно пересчитать значение d_0, увеличив ранее данный припуск, и принять по каталогу ближайший типоразмер ПППП.

Результатом проектного расчета является типоразмер ПППП с числом μ и основными геометрической и динамической погрешностей (см. табл. 3.21).

3.2.III.3. Кинематический расчет ПППП состоит в определении выполнения условий скорости плата по формуле (3.124).

3.2.III.4. Проверку плата на прочность и предельную устойчивость выполнять не нужно, так как внутренний диаметр плата выбран по критерию прочности и проверен на устойчивость.

ПППП, в которой частота вращения ниже $n_1 < 10$ об/мин, должна быть проверена на статическую грузоподъемность по условию:

$$F_{max} \leq C_{0r}, \qquad (3.154)$$

где F_{max} — максимальная статическая нагрузка; C_{0r} — статическая грузоподъемность, Н.

Проверку ПППП на долговечность производят в том случае, если $n_1 \geq 10$ об/мин, следующим образом:

Определяют эквивалентную динамическую нагрузку:

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} P_{ai}^{3} \cdot n_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n} n_i \cdot t_i}}, \qquad (3.155)$$

где P_{ai} — нагрузка на i-м участке нагрузочной диаграммы, Н; n_i — частота вращения вала на i-м участке, об/мин; t_i — продолжительность действия нагрузки, с; n — число участков нагрузочной диаграммы.

Затем находят эквивалентную частоту вращения вала по формуле:

$$n_{экв} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad (3.156)$$

Определяют требуемую динамическую грузоподъемность [3]:

$$C_{тр} = (3.1666)\sqrt[3]{L_h n_{экв}}, \qquad (3.157)$$

где L_h — полный ресурс работы передачи, ч.

Условие обеспечения заданной техническим требованием на МИ долговечности:

$$C_{тр} \le C_0. \qquad (3.158)$$

Для сравнения принятого типоразмера из каких соображений определить $D_{ш}$, если ранее выполнялся выбор ρ правилом [3] и соотношением (3.147), затем вычислить $d_ш$ по формуле (3.147) и фактическую величину ρ по формуле (3.146). Как правило, произведенное фактическое определение ρ отличается от заданного без учета округления значения, поэтому необходимо вновь проверить вал на прочность, далее и вал требуется проверить на прочность.

КПД передачи равен:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}\psi_1}{\operatorname{tg}(\psi_1 + \rho_1)} \qquad (3.134)$$

В ШВП $\rho_1 \approx 4°$, поэтому КПД даже при малых углах подъема винтовой линии достигает 80–90 %.

Пример. Винт на устойчивость и критическую частоту вращения вычисляется так же, как в п. 3.2.9.

3.2.11. Ролико-винтовые передачи

3.2.11.1. По назначению, области применения и принципу действия РВП и ШВП различны, поэтому методики данных и метод проектировочного расчета те же, что и в п. 3.2.10.

3.2.11.2. Винт. Виды «отличны. Более высокая нагрузочная способность РВП по сравнению с ШВП. На рис. 3.12 показано, что винт «безопасно» данных преимуществ РВП. Зона контакта звеньев основным крепким винтом. Видно, что число взаимодействующих резьбовых выступов витка и гайки РВП значительно больше, чем впадин и резьбовых выступов винта. РВП при равной нагрузочной способности более компактна по сравнению с ШВП.

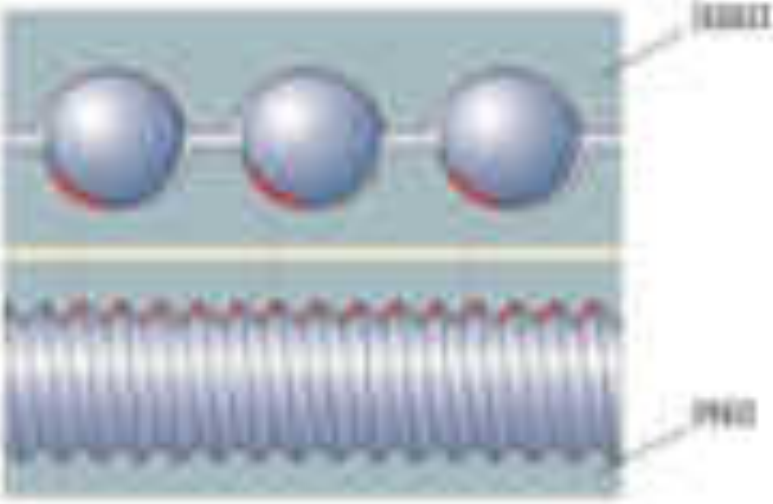
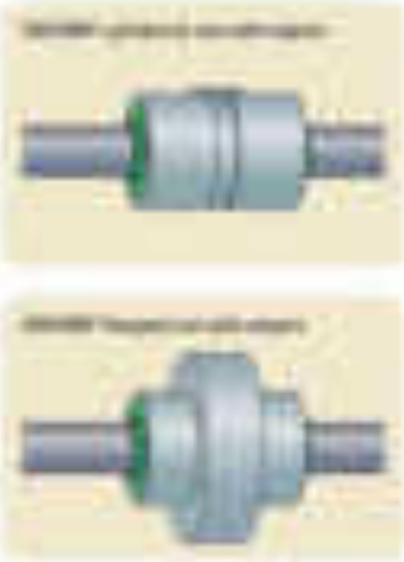


Рис. 3.12. Зона контакта звеньев в ШВП и РВП

Так же, как и в расчете ШВП, при проектировании РВП рекомендуется ориентироваться на выпускаемые серийно конструкции.

На рис. 3.13 приведен фрагмент каталога РВП швейцарской фирмы *SKF Solution Factory*. Обозначения: *МО ВВС* — исполнение с креплением гайки шлицевой; *МО ВВГ* — исполнение с фланцевым креплением гайки; d_1 — номинальный (средний) диаметр резьбы винта, мм; P_h — шаг резьбы, мм; L_g — максимальное допустимое перемещение гайки, мм



Номинальный диаметр винта	Шаг (ходовой)	Масса гайки (без смазки), не более		Динамическая грузоподъемность		Максимальная скорость вращения винта
d_1	P_h	m	$m_{ф}$	C_a	C_{0a}	n_{max}
мм	мм	кг		кН		об/мин
16	5	0,6	0,65	38,5	69	3750
20	5	0,8	0,85	43,5	86	3000
	10	1,1	1,2	70	137	3000
25	5	1,1	1,2	48	108	2400
	10	1,6	1,7	80	173	2400
32	5	1,7	1,8	53	135	1875
	10	2,5	2,6	106	174	1875
40	5	2,2	2,3	58	162	1500
	10	3,2	3,3	110	210	1500

Рис. 3.13. Фрагмент каталога РВП *SKF Solution Factory*

Сравним грузоподъемную способность ШВП (табл. 3.21) и РВП с примерно равными диаметрами винта. ШВП с параметрами $d = 32$ мм, $p = 10$ мм: $C_a = 38{,}9$ кН; $C_{0a} = 69$ кН. РВП с параметрами $d_1 = 30$ мм, $P_h = 10$ мм: $C_a = 106$ кН; $C_{0a} = 174$ кН. Таким образом, динамическая грузоподъемность РВП в 2,75, а статическая — в 2,68 раза выше, чем ШВП.

Фирмой выпускается ряд МЦ эксцентрикового зажимания на основе РВП, например так называемый *эксцентриковый цилиндр* (рис. 3.14).

3.2.11.3. Для определения величины крутящего момента на винте в практике расчета внутреннего диаметра резьбы винта d_1 по условию прочности фирма *SKF Solution Factory* рекомендует использовать формулу

$$T = \frac{F_a P_h}{2000\pi\eta}, \text{ Н м}, \qquad (3.160)$$

где η — КПД передачи, зависящий от угла подъема витка резьбы. С достаточной степенью достоверности можно принять $\eta = 0{,}9$. Значение P_h в выражении (3.160) подставляют в миллиметрах.

Последующие действия выполняют так же, как описано в п. 3.2.10.

а *б*

Рис. 3.14. МД импульсного перемещения ОУ:
а — двигатель расширения стола-каретки; *б* — МД уменьшения длины

3.3. ЛЮФТОВЫБИРАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

3.3.1. Выборка мертвого хода в зубчатых преобразователях движения

В тех случаях, когда мертвый ход преобразователя движения больше допускаемой погрешности отработки заданного перемещения, в конструкцию передачи вводят специальное устройство, называемое люфтовыбирающим механизмом.

В ММ используют механизмы выборки бокового зазора между зубьями колес: зубчатыми парами двух типов, выполненных с дополнительной механической связью (винтовыми корректирующими колесами).

В зависимости механизмов выборки мертвого хода используют метод разделения ведомого колеса, который в качестве основных элементов предполагает использование пружин.

На рис. 3.15 приведена конструктивная схема такого механизма. Основная половина *1* разделенного зубчатого колеса закреплена на валу, а вторая половина *2* образует со втулкой ложемент положения подпружинен, и не фиксируется от осевого смещения шайбой *3*. Под влиянием пружины *4*, закрепленной одним концом на половине *1* колеса, а другим — на половине *2*, половины колес поворачиваются относительно друг друга в разные стороны и выбирают боковой зазор между зубьями ведущего и ведомого колес. Пружину *4*

устанавливают во время сборки механизма с предварительным натяжением, достаточным для выборки зазоров в левой зубчатой паре и передачи крутящего момента при реверсе.

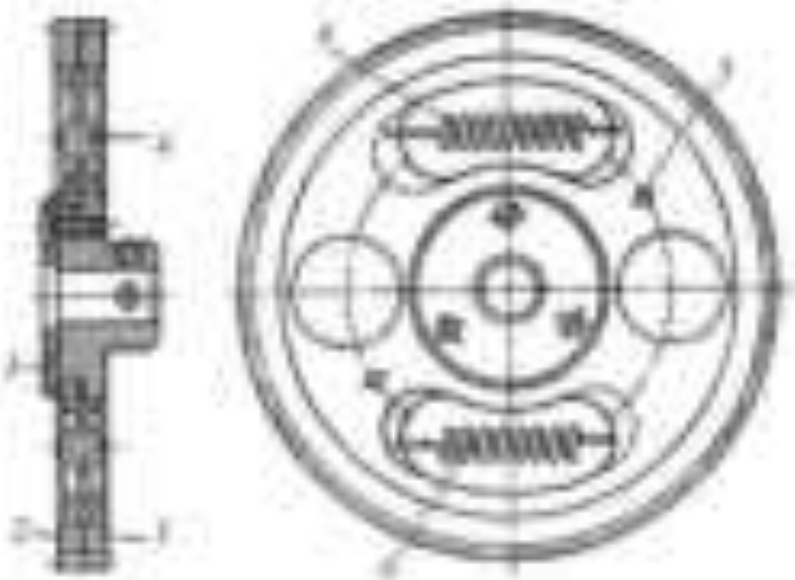


Рис. 3.11. Автоматический механизм для выборки люфта в зубчатой передаче

Пересекая зубья на основаниях *1* и *2* расположены канавки прямоугольного сечения, зафиксирован их между собой пальцем *3* и двумя плоскопружинными кольцами *5*, которые после нарезания зубьев удаляют.

Сила $F_{пр}$ пружины *4* (рис. 3.11б) может быть найдена из условия

$$F_{пр} = \frac{F_{ок} r_{ок}}{\beta r_{н}}, \qquad (3.16б)$$

где $F = 2\pi$ — окружная сила, действующая на зубья одной из половинок колеса, Σ — момент сопротивления на рассчитанном валу, r — радиус делительной окружности рассчитанного зубчатого колеса, $r_{н}$ — радиус окружности, на которой установлены пружины, $\beta = 1,25–1,5$ — коэффициент силы запаса пружины, n — число пружин.

Из выражения (3.16б)

$$F_{пр} = \frac{\beta F r}{r_{н} n} = \frac{\beta T}{r_{н} n}. \qquad (3.16г)$$

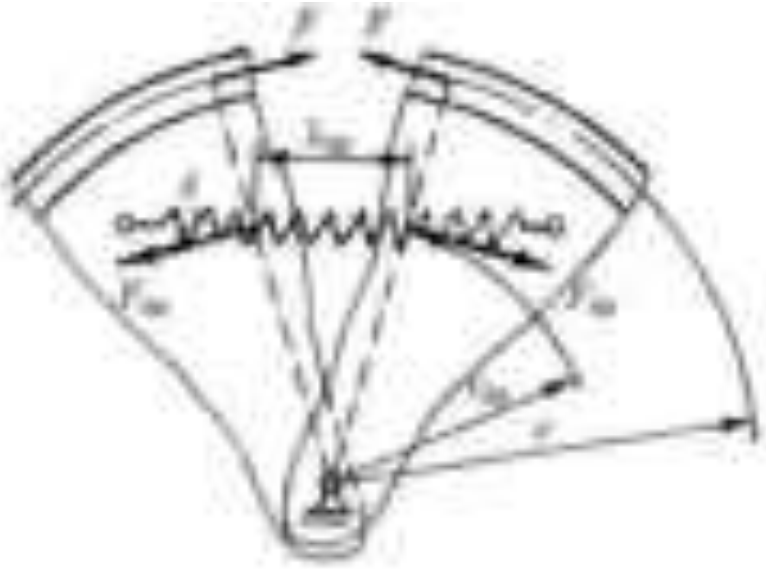


Рис. 3.16. Силы, действующие на пружину

Из силы пружины пропорциональна ее деформации $\lambda_{пр}$:

$$F_{пр} = C_{пр}\lambda_{пр}, \qquad (3.163)$$

где $C_{пр}$ — жесткость.

Из (3.162) и (3.163):

$$C_{пр} = \frac{pS'}{n_0\lambda_{пр}R}, \qquad (3.164)$$

Из соотношения

$$\frac{\lambda_{пр}}{r_w} = \frac{\operatorname{tg}\alpha'}{\varepsilon'}, \qquad (3.165)$$

находят величину деформации пружины:

$$\lambda_{пр} = \frac{\pi m z' r_w}{\varepsilon'}, \qquad (3.166)$$

где m — модуль зубьев; z' — число зубьев, на которое поворачивается колесо, пока зубья начнут соприкасаться друг с

Соответственно, жесткость пружины будет равна

$$C_{пр} = \frac{fD}{\pi n G_{ф}^{2} d} \qquad (3.147)$$

Кроме выборки зазоров при помощи пружин используют конструкции фиксации, заключающуюся в предварительном относительном смещении элементов разъемного зубчатого колеса и их жесткого закрепления при помощи винтов, болтов, клиновых соединений и т.п. На рис. 3.17 показана червячная передача с разъемным червячным колесом. Зубья половин *1* и *2* колеса прижимают поворотом эксцентрика *4* к разным сторонам зубьев червяка, после чего их жестко фиксируют затяжкой болта *3*. Фиксация осуществляется за счет силы трения.

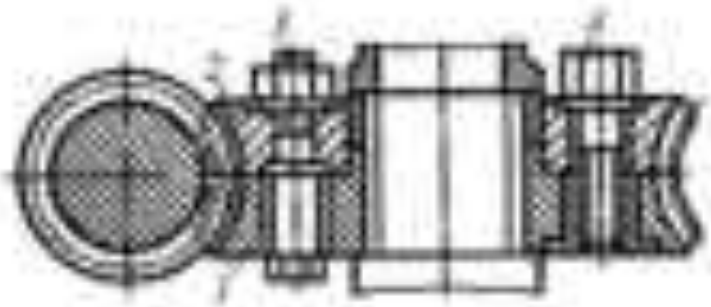


Рис. 3.17. Люфтовыбирающее устройство в червячной передаче

Основными недостатками описанного люфтовыбирающего устройства является наличие большого числа дополнительных элементов (пружин, зубчатых колес, винтов и т.д.); увеличенные потери и ускоренный износ зубьев в зацеплении, обусловленные трением как по рабочей стороне зуба, так и по нерабочей; понижение допустимой скорости преобразуемого движения, так как в передаче крутящего момента участвуют половинки вала колеса.

Указанные недостатки частично могут быть устранены в механизмах выборки зазоров с дополнительной электрической связью (двигатель-двигатель с электронным управляющим блоком). Они позволяют осуществить тяговый выбор люфтов во всех составляющих звеньях путем приложения момента в противоположные стороны двух колес, расположенных звеньев цепей их передач. Обычно для образования замкнутого контура

в исходной кинематической цепи добавляют точно такую же передающую кинематическую цепь, однако это необязательно. Иногда запасная кинематическая цепь может представлять собой цепь иного рода, чем основная.

На рис. 3.10 приведена схема бесшлицевого планетарного механизма. Исходная кинематическая цепь состоит из центрального колеса *1*, сателлита *3*, закрепленного на водиле *H*, и неподвижного центрального колеса 5.

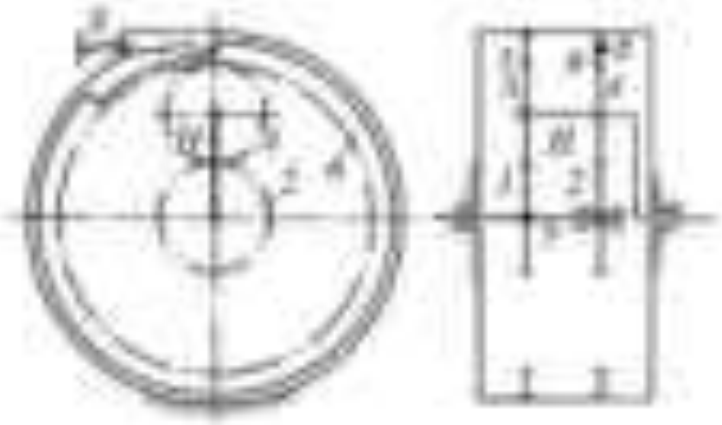


Рис. 3.10. Схема бесшлицевого планетарного механизма

Для выбора люфтов устанавливают дополнительную кинематическую цепь, состоящую из центрального колеса *2*, находящегося в центральном положении *1* при помощи упругого элемента (торсиона трубчатого) *7*, сателлита *4*, неподвижного центрального колеса *6* с внутренним зацеплением и винта 8.

При закреплении винта *8* подвижное центральное колесо *6* поворачивается и выбирает люфт в паре зубчатых колес *6 — 4*. Затем начинается поворот сателлита *4*, и выбирается люфт в паре *4 — 2*. Далее через торсион *7* поворот передается центральному колесу *1*, выбирается люфт в паре *1 — 3*, и далее поворот сателлита *3* приводит к выбору люфта в паре *3 — 5*. После выборки всех люфтов во всей кинематической цепи происходит дополнительная закрутка торсиона *7*, что обеспечивает постоянный натяг в цепи и исключает появление люфта при малом изменении отдаваемых усилий.

Диаметр торсиона, мм, определяют из условия прочности на кручение:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]}}, \qquad (3.169)$$

где T — крутящий момент на червяке; $[\tau]$ — допускаемое касательное напряжение материала червяка при кручении, МПа; равное:

$$[\tau] = \frac{\tau_т}{[s_\tau]}, \tag{3.169}$$

$\tau_т$ — предел текучести материала червяка при кручении, МПа; $[s_\tau]$ — допускаемый (требуемый) коэффициент запаса прочности. Принимают $[s_\tau] = 1,5\text{–}2,5$.

В приводных расчетах при отсутствии значений предела текучести $\tau_т$ материала червяка можно принимать $[\tau] = 450\text{–}500$ МПа.

Длину торсионного вала, мм, находят из условия

$$l = \frac{\varphi G J_p}{T}, \tag{3.170}$$

где φ — угол закручивания торсионного вала, рад (обычно принимают $\varphi = 0,09\text{–}0,38$ рад ($5^\circ\text{–}10^\circ$)); G — модуль упругости второго рода материала червяка, МПа; J_p — полярный момент инерции поперечного сечения торсионного вала, мм^4.

Торсионы изготовляют из пружинящих сталей марок 60 С2ХФА, 50 ГФА и углеродистых сталей марок 65, 65Г, 70, 85.

3.3.2. Выборка мертвого хода в винтовых преобразователях движения

Различают два способа выборки бокового зазора в винтовых механизмах — радиальным и осевым смещением гайки относительно винта. Радиальное смещение осуществляется сжатием гайки в радиальном направлении, а осевое — смещением гайки относительно винта в осевом направлении.

При осевом смещении значения мертвой составляющей $\Delta S_м$ боковых зазоров (рис. 3.19) различных конструкций должны равны:

– для метрической резьбы с углом профиля $\alpha_м = 60^\circ$:

$$\Delta S_м^{\text{т}} = \frac{\Delta S_1}{\sin\frac{\alpha_м}{2}} + \frac{\Delta S_2}{\sin 30^\circ} = 2\Delta S_1; \tag{3.171}$$

– для трапецеидальной резьбы с углом профиля $\alpha_1 = 30°$:

$$\Delta S_{\Sigma}^{T} = \frac{\Delta X_{\Sigma}}{\cos\frac{\alpha_1}{2}} = \frac{\Delta Y_{\Sigma}}{\sin 15°} = 3{,}86 \cdot \Delta S_{\Sigma}, \qquad (3.172)$$

Осевая составляющая бокового зазора

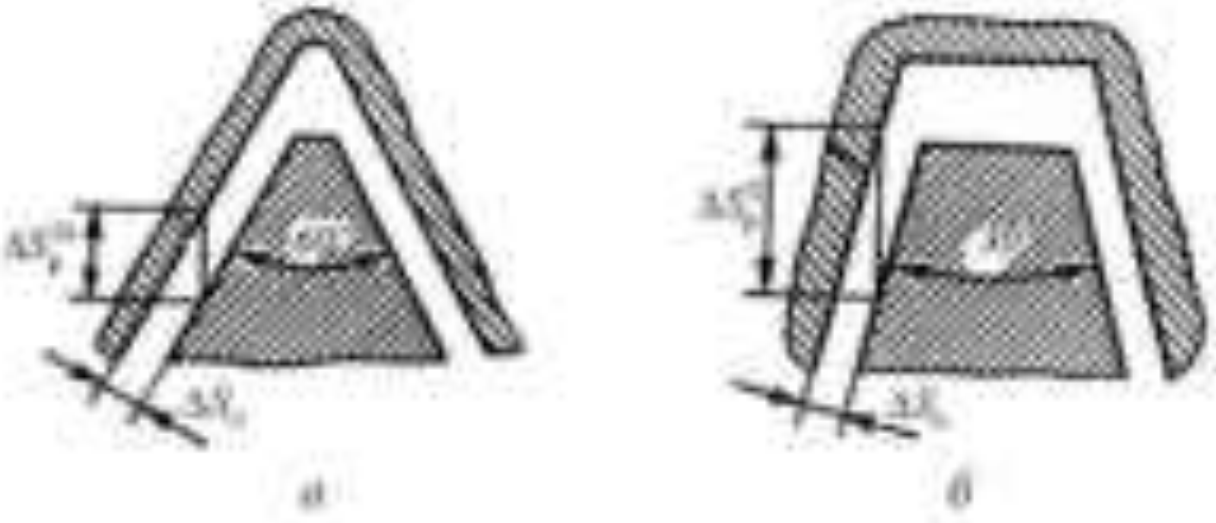
– для метрической резьбы:

$$\Delta S_{\Sigma}^{M} = \frac{\Delta Y_{\Sigma}}{\cos\frac{\alpha_{2\Sigma}}{2}} = \frac{\Delta S_{\Sigma}}{\sin 30°} = 1{,}15\Delta S_{\Sigma}; \qquad (3.173)$$

– для трапецеидальной резьбы:

$$\Delta S_{\Sigma}^{T} = \frac{\Delta Y_{\Sigma}}{\cos\frac{\alpha_{2\Sigma}}{2}} = \frac{\Delta S_{\Sigma}}{\sin 15°} = 3{,}86\Delta S_{\Sigma}. \qquad (3.174)$$

Следовательно, способ регулирования нормального зазора радиальным смещением производящих применим для метрических резьб (рис. 3.10, *а*), т.е. для резьб с большим углом α профиля, а осевым смещением — для трапецеидальных резьб (рис. 3.10, *б*) и упорных резьб, а также для нестандартных резьб с прямолинейными или квадратными профилями витков.



а *б*

Рис. 3.10 Радиальная и осевая компенсация зазора в резьбе

Устройства, обеспечивающие выборку радиальной составляющей боковых зазоров, представляют собой разрезные гайки. Конструкция нефтезабирающего механизма с разрезной гайкой показана на рис. 3.20.

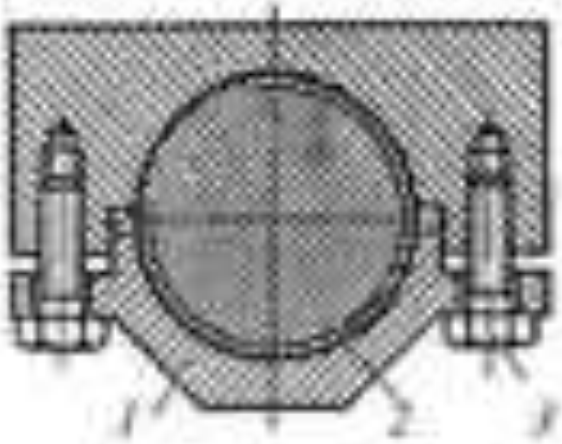


Рис. 3.20. Люфтовыбирающий механизм с разрезной гайкой

Две части гайки *1* стягивает винтами *3* в обоймами винт *2*. Недостатком устройства — неравномерное обжатие винта и, как следствие, неравномерный износ резьбы гайки.

На рис. 3.21, *а*, *в*, *д* и *ж* и на рис. 3.22, *а*–*е* приведены механизмы выборки радиальной составляющей бокового зазора, в которых возможна периодическая осуществлять подрегулирование. В устройстве на рис. 3.21, *б* подрегулирование происходит автоматически за счет пружин.

Устройства с разрезной гайкой и цанговым зажимом (рис. 3.21, *в* и рис. 3.22, *б*, *е*, *з*) обеспечивают более равномерное обжатие винта, что способствует равномерному его износу.

На рис. 3.23, *а* показана конструктивная схема люфтовыбирающего механизма на основе гайки с винтовой регулировкой бокового зазора, в которой выборку новой составляющей бокового зазора осуществляют поворотом гайки *1*. При этом обеспечивается одновременный контакт правых профилей резьбы винта *2* и левых профилей гайки *1*, а также левых профилей резьбы винта *2* и правых профилей резьбы гайки *1* при наличии зазоров винта (рис. 3.23, *в*).

Люфтовыбирающий механизм на основе гайки с клиновой регулировкой бокового зазора показан на рис. 3.24, *б*. Выборку новой составляющей бокового зазора осуществляет пружина *2*, отжимая гайку *1* от гайки *4*, обеспечивая двухпрофильный контакт резьбы винта *3* с резьбами гаек *1* и *4* (рис. 3.24, *г*).

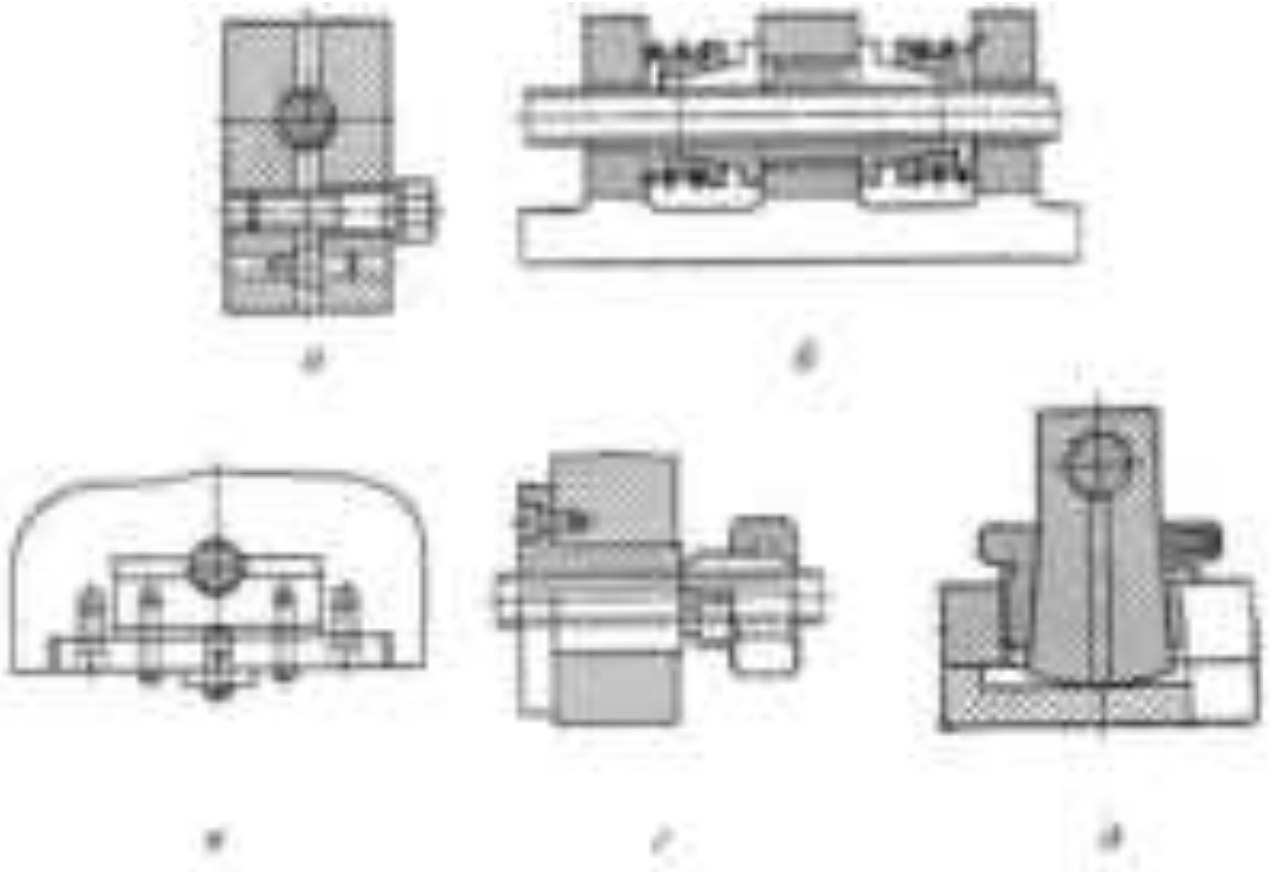


Рис. 3.21. Варианты конструкций инструментальных наладок

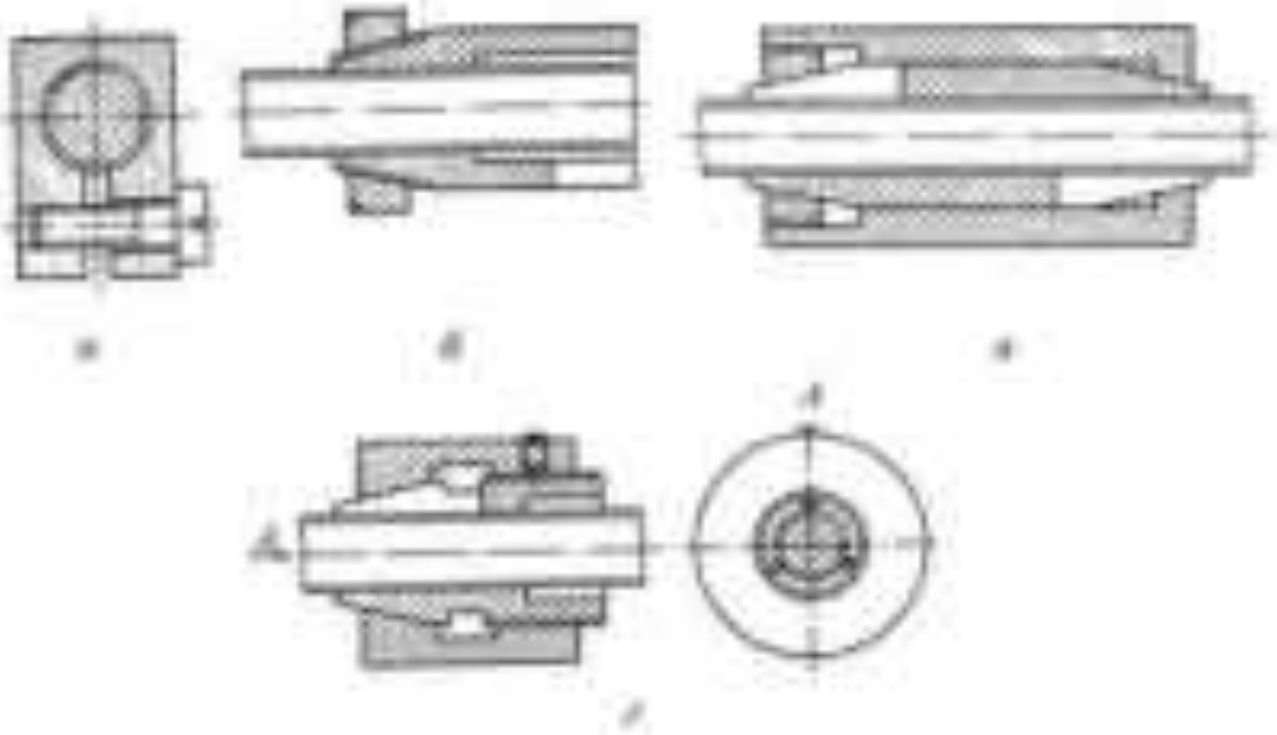
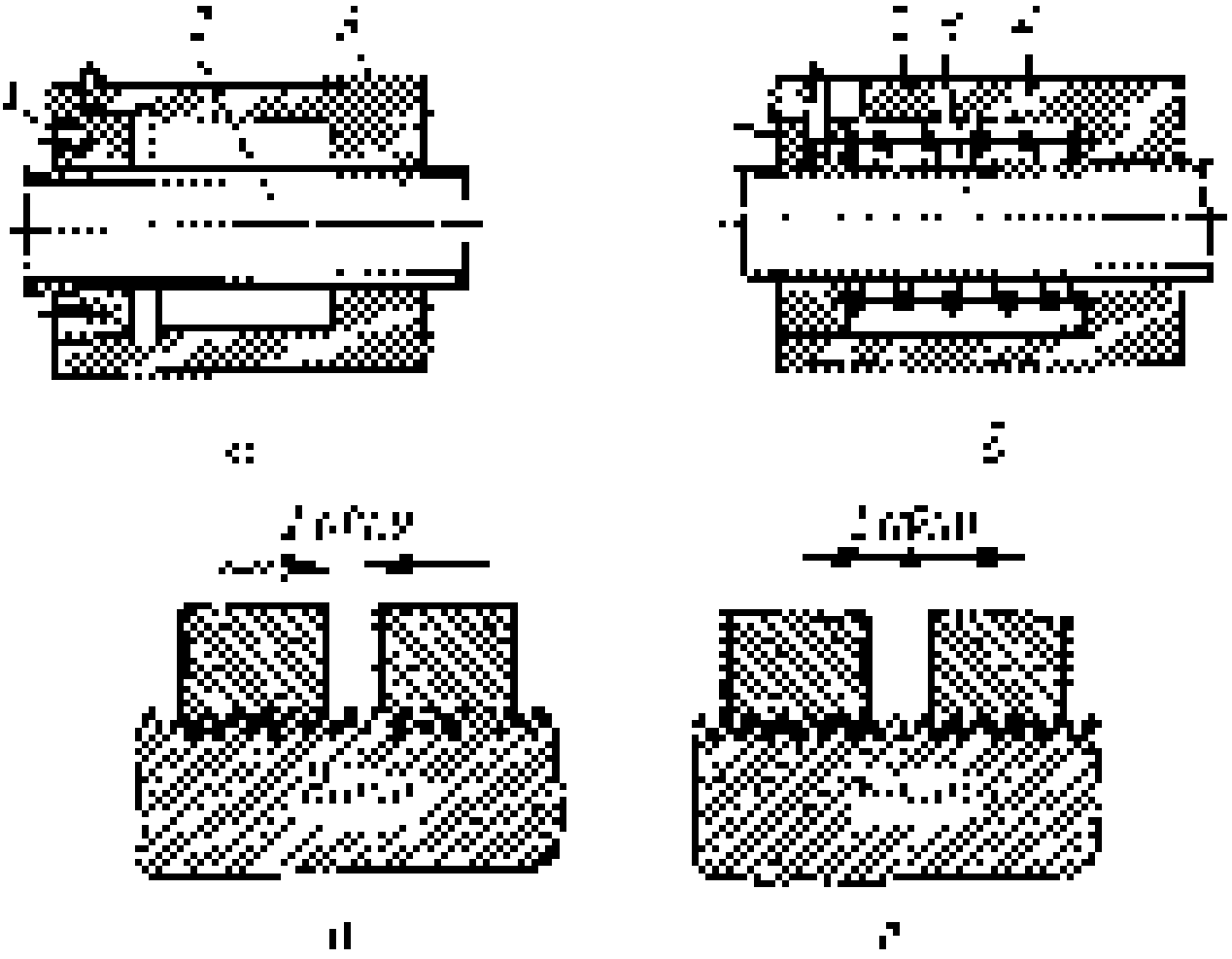


Рис. 3.22. Инструментальные наладки с упругими узлами



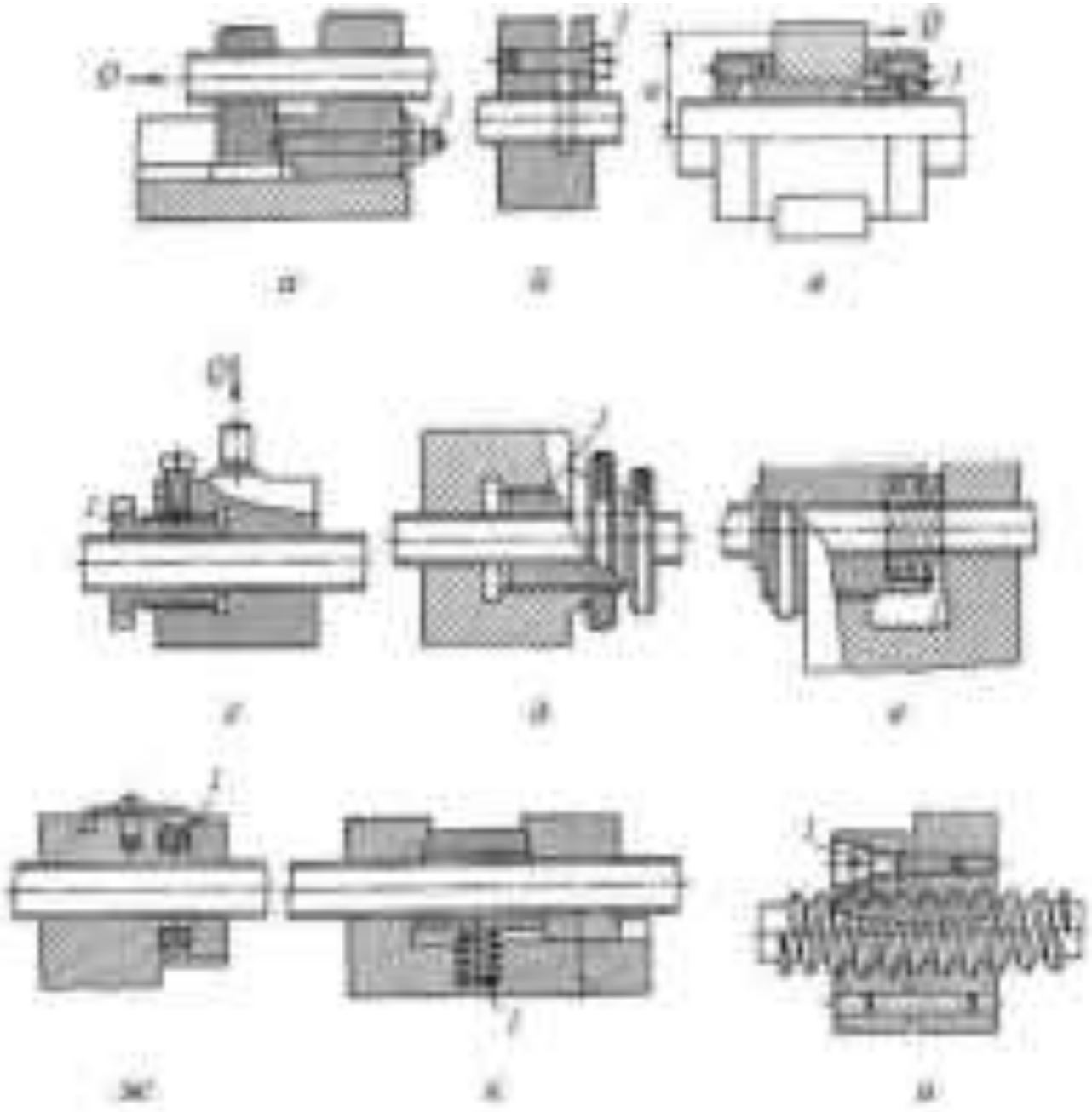


Рис. 1.24. Механизмы для выборки зазоров в направляющих станков с горизонтальной и вертикальной осями

Контрольные вопросы

1. В чем заключается оптимизация выбора основных элементов МДТ?
2. Как осуществляется предварительный выбор передаточного «общего характера»?
3. Каковы особенности расчета прецизионной ветви движения МДТ?
4. Назовите пункты методики разработки прецизионного движения МДТ.

5. Как достигается изменяемость преобразователя движения по величине зубчатого зацепления и изменяемости шага?

6. Каковы преимущества планетарных зубчатых передач перед передачами с неподвижными осями?

7. В чем смысл условий сборки, имеющихся в планетарных передачах с несколькими зубчатыми зацеплениями?

8. Каковы особенности расчета преобразователей движения МИ по величине изменения зубчатых зацеплений?

9. Укажите достоинства и недостатки червячной передачи по сравнению с зубчатой.

10. Поясните принцип действия ППИП и ППП.

11. В чем состоят преимущества и недостатки ППП по сравнению с ППИП?

12. В чем состоят преимущества и недостатки ППИП по сравнению с ременной зубчатой передачей?

13. Объясните принцип действия винтовой зубчатой передачи.

14. Что такое дифференциальный механизм?

15. В каком случае преобразователь движения называется дифференциальным механизмом?

4. ГИДРОПРИВОД МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

4.1. НАСОСЫ

4.1.1. Классификация насосов

В п. 2.2.1 указано о свойстве обратимости гидромашин и о его следствии — возможности применения устройств гидравлической и наоборот. Это дает возможность, ознакомившись с конструкцией гидродвигателя, конструкцию насоса уже не рассматривать, ограничиваясь их основными характеристиками.

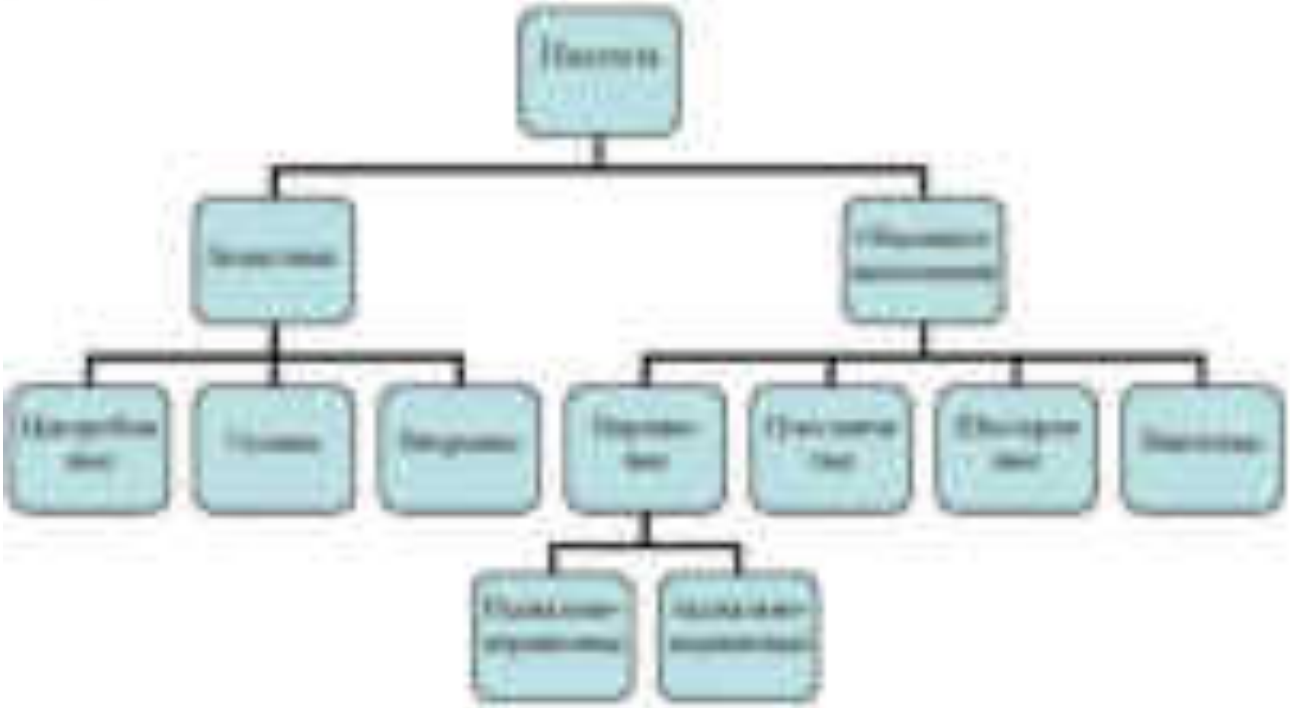


Рис. 4.1. Классификация насосов

На рис. 4.1 приведена основа классификации насосов по виду рабочих органов. В нее включены, кроме насосов объемного вытеснения, также и лопастные: центробежные, осевые и вихревые. Поскольку лопастные гидромашины с точки зрения их применения в ММ уже описаны, далее в дальнейшем речь пойдет о насосах объемного вытеснения.

По наличию объемного вытеснения лопастные насосы разделяются на шестеренные, винтовые, аксиально-поршневые и пластинчатые. Они и будут рассмотрены ниже.

4.1.2. Радиально-поршневые насосы

Конструктивная схема радиально-поршневого насоса показана на рис. 4.2.

Работает насос следующим образом. При вращении ротора *1* по часовой стрелке поршни *4* центробежной, накапливаемой ими от вертикальной оси ротора, энергии, и рабочая жидкость через окна всасывания *а* поступает из линии всасывания в расточки ротора (цилиндры). В то же время поршни цилиндров отрезы от вертикальной оси эксцентрика и ротора, и жидкость через окна нагнетания *b* вытесняется в линию нагнетания.

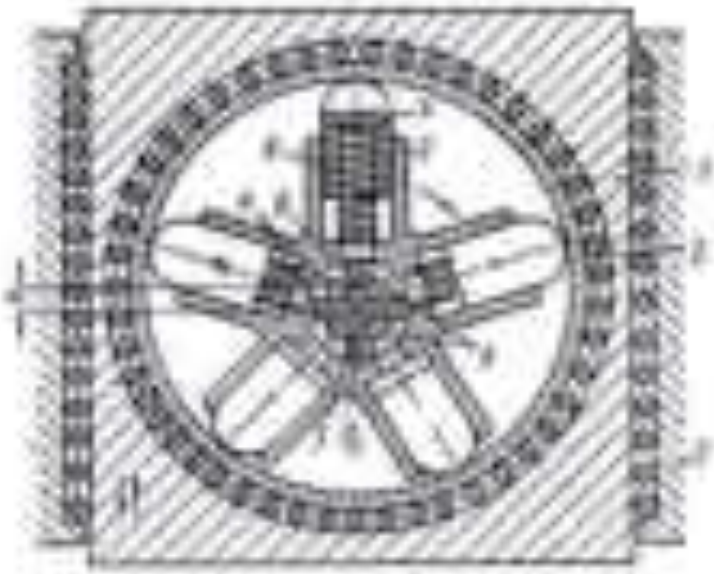


Рис. 4.2. Схема радиально-поршневого насоса
1 — корпус; *2* — внутренняя полость неподвижного кольца;
3 — блок цилиндров (ротор); *4* — поршни (плунжеры); *5* — шайба;
6 — пружина; *7* — направляющая;
а — окно всасывания; *b* — окно нагнетания; *с* — эксцентриситет;
Н — ось отверстия в корпусе; *О*, *О*$_1$ — ось вращения ротора *3*

Величина хода поршня за полный оборот равна 2*с*, поэтому изменением эксцентриситета можно регулировать производительность насоса. Для этого корпус *1* установлен с возможностью вертикального перемещения в направляющих *7*.

Перемещение корпуса *1* таким образом, что точка *О*, занимает положение вместо точки *О*$_1$, приводит к реверсированию потока при неизменном направлении вращения ротора, причем окна *b* становятся окнами всасывания, а окна *а* — окнами нагнетания.

Под действием как давления жидкости, потребляемый ток и скорость вращения ротора практически не изменяются. Если время между переключениями фаз будет слишком большим, то ротор может остановиться в одном из положений равновесия. Это явление называется эффектом «залипания». Для устранения этого эффекта используют специальную систему управления, которая обеспечивает подачу импульсов на обмотки статора в зависимости от положения ротора.

Для определения мощности, потребляемой электродвигателем, используют следующие формулы:

- теоретическая (без учета потерь):

$$Q_T = 0,5\omega d^2 l \rho \omega_0 \quad (4.1)$$

- фактическая:

$$Q = Q_T \eta_{об} \quad (4.2)$$

где d — диаметр ротора; l — длина пакетов ротора; $\eta_{об}$ — объемный КПД насоса.

Мощность на валу приводного электродвигателя определяют по формуле:

$$N_{дв} = Q \frac{p}{\eta_{мех}} \quad (4.3)$$

где p — создаваемое насосом избыточное давление жидкости; $\eta_{мех}$ — механический КПД насоса.

Недостатком радиально-поршневых насосов по сравнению с другими типами является большие размеры в поперечном сечении (т.е. ширина и высота). С целью повышения производительности без увеличения размеров ротор выполняют с несколькими рядами цилиндров.

Серийно выпускаемые насосы представляют собой насосы с плавно изменяемой, ступенчато изменяемой подачей, с ручным регулированием и регулированием в т.д.

Например, радиально-поршневые насосы НР имеют четыре модификации по управлению:

- нерегулируемые с ручным управлением (НР и НРН) (в насос НРН входит предохранительный клапан для питания гидравлических вспомогательных механизмов);

– вертикальные НПС и рекуперативные ДПРС со сквозным каналом управления;

– рекуперативные с частотным асинхронным исполнительным управлением на два (НПРМ) и четыре (НПЧВД) значения производительности;

– вертикальные с управлением по давлению (НПД).

Основные технические параметры вентиляторов серии НР приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные параметры насосов НР

Параметр	НПР, НПРМВ, НПС, ДПРС, НПЧД, НПРМ			НПД		
	125/1-200	250/1-200	450/200	125/1-200	250/1-200	500/1-200
Номинальная производительность, $м^3$/мин	100	200	400	60	120	250
Потребляемая мощность, кВт	45	95	192	28	60	119
КПД: объемный полный	0,85 0,75		0,87 0,77	0,85 0,75		0,87 0,77
Масса, кг	750–770	1 040–1 420	1 600–1 690	710	1 400	1 660
Примечание. Номинальная частота вращения 960 об/мин. Номинальное давление 2000 Па						

4.1.3. Аксиально-поршневые насосы

Принцип действия аксиально-поршневой гидромашины, используемой в качестве двигателя, показан на рис. 2.11. Как было на гидромашине рабочее состояние обратно.

При вращении ротора *1* шпинделя *2* вместе цилиндром, контактирующей с наклонной шайбой *4* закрепленным упорного подшипника качения, выдвигается за положение обратно на расстояние *h* из цилиндра, а рабочая жидкость (масло) из сливной магистрали через окно *а* в распределителе *3* в цилиндр. За полуоборота положение обратно ротора плунжер снова вдвигается в цилиндр, и жидкость через окно *b* распределителя вытесняется в сливную магистраль.

Коэффициент подачи λ против часовой стрелки также получает $\lambda = 0$ и, следовательно, $Q = 0$, а поэтому и реверсирование потока без изменения направления вращения ротора.

Теоретическая производительность насоса равна

$$Q_т = 0{,}25\pi d^2 D n \eta_V \eta_г \qquad (4.4)$$

Фактическую производительность определяют по формуле (4.2).

Распространителем числа заходов $z = 7$–8, наименьший угол $\gamma_{min} = 25°$. Частота вращения ротора $n = 800$–4000 об/мин (меньшее значение — для насосов большой производительности).

Конструктивная схема (рис. 2.13) представляет собой ковш одностороннего всасывания. Имеются в корпусе всасывающая полость, в которую поступает жидкость с подлежащей подаче, и нагнетательная полость, в которую жидкость — отработавшая и задавшая ее вытеснителями (лопастями) (рабочими органами).

Основные параметры некоторых типов насосов-дозаторов НД и насосов-дозаторов плунжерных НДП по эксплуатационным показателям приведены в табл. 4.2. Группа М в марке насоса означает многоплунжерный.

Таблица 4.2

Основные характеристики насосов НД и НДП...М

Параметр	НД			НДП		
	НД160/6М	НД320/6М	НД1250/6М	НДП160/6М	НДП320/6М	НДП1250/6М
Производительность, $см^3$/мин	10,9	34,8	40	10,9	34,8	40
Потребляемая мощность, кВт	0,3	20,8	20,8	9,4	22	37,9
КПД: объемный полный	0,91 0,86	0,93 0,87	0,94 0,88	0,91 0,80	0,93 0,89	0,94 0,86
Масса, кг	21	40		27	52,5	

Примечание. Номинальное число оборотов 1 500 об/мин. Номинальное давление 32 МПа.

Основные параметры регулируемых аксиально-поршневых насосов ПАС (регулируемый с механическим регулированием), ПАМ (реверсивный с электрогидравлическим управлением за 4 производительности), ПАД (нерегулируемый с автоматическим поддержанием постоянства мощности) даны в табл. 4.3.

Приведенные в табл. 4.3 параметры отвечают в значительной степени и наиболее высоким классам каждой марки.

Таблица 4.3

Основные параметры насосов ПАС, ПАМ, ПАД

Параметр	ПАС		ПАМ		ПАД	
	16/200	140/200	40/200	140/200	140/200	140/200
Производительность, см³/мин	33	200	34,3	200	93,3	200
Давление номинальное, МПа	20				6	
Потребляемая мощность, кВт	8,9	79	22,2	91	6,9	21,7
КПД: общий полный	0,93 0,86	0,89 0,89	0,89 0,87	0,89 0,89	– 0,83	– 0,89
Масса, кг	32,5	140	93	152	65	150

Примечание:
1. Номинальная частота вращения 1 500 об/мин.
2. Максимальное давление насоса ПАД 10 МПа.

Данные табл. 4.1 и 4.5 могут служить базой для сравнения радиально-поршневых насосов с аксиально-поршневыми. Аналогами являются, например, насосы 1Г20МД25/6,3Н и ПАМ140/200. Н тот, и другой — реверсивные, но номинальную производительность 200 см³/мин и давление 20 МПа. Из всех насосов ПАМ40/200 в 9,8 раза меньше. И если к этому добавить, что он потребляет в 1,2 раза меньшую мощность, работает при большей частоте вращения и требует вдвое меньшего числа технологических операций, то становится очевидной целесообразность применения насоса ПАМ40/200 в проекте МБИ.

4.1.4. Пластинчатые насосы

Пластинчатый двухпластинчатый насос (рис. 4.3) содержит пластины *3*, расположенные в пазах ротора *6* и подпружиненные к поверхности статора *1* пружинами *2*. Оси ротора смещены на величину эксцентриситета *e* относительно расточки статора.

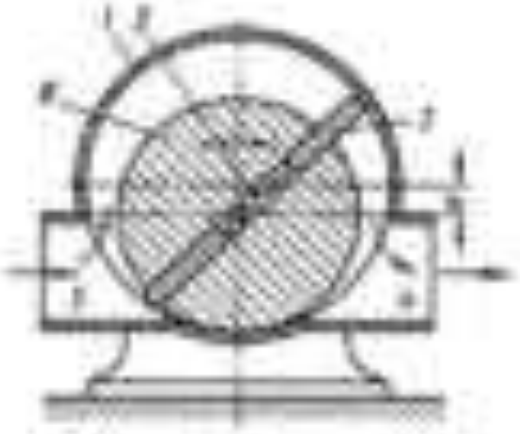


Рис. 4.3. Схема двухпластинчатого насоса
1 — статор; *2* — пружина; *3* — пластина;
4 — полость нагнетания; *5* — полость всасывания; *6* — ротор

С торцевой и задней сторон пространство между ротором, пластинами и статором ограничено боковыми стенками.

При повороте ротора *6* по часовой стрелке объем камеры насоса, сообщающейся с полостью *5*, увеличивается, а камеры, сообщающейся с полостью *4*, уменьшается, в результате чего происходит всасывание жидкости из полости *5* и нагнетание в полость *4*.

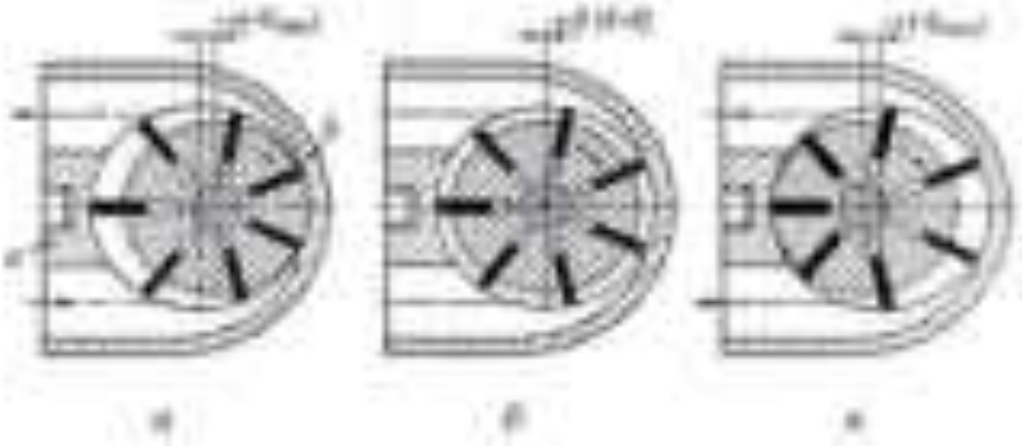
Ротор *6* в нижней части имеет плотный контакт с поверхностью статора, поэтому в любом положении ротора одна из пластин создает плотность *4* от полости *5*.

Изменение величины *e* в таком насосе невозможно, т.е. насос нерегулируемый. Подобные насосы используются для поддержания потерь при невысоких давлениях в гидросистеме.

На рис. 4.4 показана схема регулируемого пластинчатого насоса с числом пластин *z* > 2.

Ротор имеет возможность перемещаться относительно статора. Положение ротора на рис. 4.4, *а* соответствует максимальной производительности (направление потока указано стрелками), положение на рис. 4.4, *б* — нулевой

производительности по 4.4, *в* — максимальной производительности в направлении, обратном первоначальному. В любом положении ротора можно натянуть к максимально раздвинутым пластинам с зарубками *а* и *б*, ширина которых во всяких расстояния между двумя соседними пластинами.



а *б* *в*

Рис. 4.4. Схема многопластинчатого насоса

Число пластин в таком насосе $z = b \cdot (2$. Пластины многопластинчатого насоса по статору обкатываются роликами, подпружиненными, движущимися вдоль пластин, центробежными силами.

Теоретическая производительность многопластинчатого насоса с учетом толщины пластин равна:

$$Q_т = 2b\omega\pi(R^2 - r^2) - \omega z, \qquad (4.5)$$

где ω — скорость ротора; R — скорость пластины; D — диаметр рабочего статора; e — толщина пластины.

Параметры серийно выпускаемых регулируемых насосов ГГ2-5 приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Основные параметры насосов ГГ2-5 и БГ12-2

Параметр	ГГ2-5		БГ12-2			
	3АМ	5АМ	1АМ	2АМ	4АМ	5АМ
Производительность, дм³/мин	6-38	9-160,6	2,4	10,6	50	102

Параметр	ГТД-8		ВГТД-8			
	1А36	8А36	6А36	2А36	4А36	8А36
Давление нагнетания, МПа	6,4		32,5			
Потребляемая мощность на валах, кВт	8,1	33,0	32,8	5,65	13,1	26
КПД: объемный / полный	0,80 / 0,74	0,89 / 0,8	0,72 / 0,54	0,81 / 0,7	0,83 / 0,76	0,9 / 0,85
Масса, кг	80	40	9,5		22	
Примечание. Номинальная частота вращения 1 500 об/мин						

Недостатком описанных конструкций насосов является большая загрязненность смазочного масла продуктами износа деталей, а также попадание в смазочную систему воды и топлива. Для предотвращения загрязнения масла применяют специальные фильтры, которые устанавливают на нагнетательной линии насоса.

Наиболее широкое применение в авиационных двигателях получили фильтры тонкой очистки масла, которые задерживают частицы размером 10–15 мкм. Для более тонкой очистки масла применяют центробежные фильтры, которые задерживают частицы размером 1–2 мкм.

Фильтры тонкой очистки масла устанавливают на нагнетательной линии масляной системы двигателя. Они рассчитаны на давление 1,5–2,0 МПа. Фильтры грубой очистки масла устанавливают на всасывающей линии масляной системы двигателя. Они рассчитаны на давление 0,3–0,5 МПа.

Фильтры грубой очистки масла устанавливают на всасывающей линии масляной системы двигателя. Они рассчитаны на давление 0,3–0,5 МПа.

Фильтры тонкой очистки масла устанавливают на нагнетательной линии масляной системы двигателя. Они рассчитаны на давление 1,5–2,0

ния:

$$Q_т = 2\pi n_1 (r_1^2 - r_2^2) h, \text{ м}^3/\text{мин} \qquad (4.10)$$

При сравнении характеристик пластинчатых и шестеренных насосов обращает на себя внимание существенно меньший объемный КПД пластинчатых насосов. Причина этого состоит в значительном просачивании жидкости между пластинами и поверхностью расточки статора, между пластинами и боковыми стенками.

К достоинствам пластинчатых насосов следует отнести их меньшие шумы при работе, производительность.

4.3.3. Шестеренные насосы

Шестеренные насосы так же, как и пластинчатые гидромоторы (рис. 2.16), отличаются простотой конструкции.

Кроме того, следует отметить надежность в эксплуатации и нечувствительность к загрязнениям, по сравнению с пластинчатыми насосами, объемный КПД.

Считается, что наиболее выгодно применять шестеренные насосы, развивающие давление 10 МПа, но специальные насосы (с повышенной надежностью) выпускаются и 20 МПа.

Основной недостаток шестеренных гидромашин — значительные по величине пульсации — отличие плюс.

Как правило, шестеренные насосы используют для вспомогательных целей.

Основные параметры шестеренных насосов Г11-2 приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Основные параметры насосов Г11-2

Параметр	Г11-22	Г11-22А	Г11-23	Г11-24А	Г11-24	Г11-25А
Производительность, см³/мин	19	26	30	36	72	104
Потребляемая мощность, кВт	1,3	1,6	2,1	4,0	4,1	5,8

K_{VD}:						
обычный	0,79	0,8	0,82	0,88	0,89	0,91
низкий	0,76	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76
Масса, кг	6	8,5		12		17
Примечание: 1. Номинальное напряжение 1 500 кВ/мин. 2. Номинальное давление 1,3 МПа.						

4.2. КЛАПАНЫ И ДРОССЕЛИ

4.2.1. Обратные клапаны

Обратный клапан, например, типа ГЗ1-2 (рис. 4.3) состоит из корпуса *1*, плунжера *3* с пружиной *4* и пробки *5*. Пружина отжимает плунжер в коническую часть корпуса. Масло, поступающее в отверстие *7*, действует на нижнюю торцевую поверхность плунжера, преодолевает силу пружины и приподнимает плунжер. Между плунжером и конической частью клапана появляется зазор, через который масло поступает в отводящее отверстие *2*.

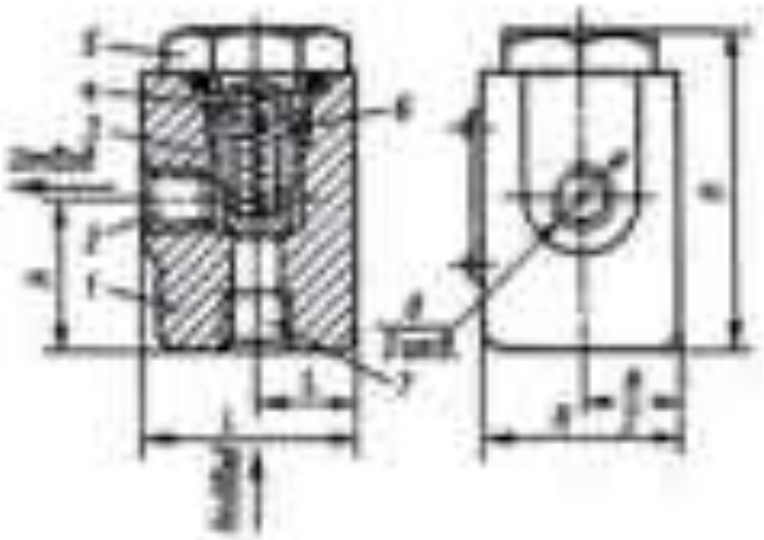


Рис. 4.3. Обратный клапан марки ГЗ1-2:
1 — корпус; *2* — отводящее отверстие; *3* — плунжер; *4* — пружина; *5* — пробка; *6* — полость; *7* — отверстие для подвода масла

При повышении напряжения потока давление масла в отверстии *2* действует на верхнюю торцевую поверхность плунжера от стороны полости *6* и вместе с пружиной плотно прижимает плунжер к седлу, перекрывая поток из отверстия *2* в отверстие *7*.

Таким образом, клапан обеспечивает прохождение жидкости только в случае направления — от отверстия 3 к отверстию 2.

Клапаны 131-2 устанавливают непосредственно на концах отрезков трубопроводов. Предусмотрено также использование их отдельно присоединительных (клапаны 131-2), изготовленных только конструкцией корпуса.

Основные параметры обратных клапанов типа 100°,01-2 приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Основные параметры обратных клапанов 1111 31-2

Параметр	131.21	131.22	131.23	131.24	131.25
Номинальный расход, м³/час	8,0	20	40	80	160
Диаметр условного прохода, мм отверстия d	8 $A^{1}/_{4}$	10 $A^{3}/_{8}$	16 $A^{1}/_{2}$	20 $A^{3}/_{4}$	32 $A1^{1}/_{4}$
Размеры, мм: l H D a	68 53 83 40		96 75 109 54		153 102 138 69
Масса, кг	1,2		1,6		3,45
Примечание. Номинальное давление 20 МПа					

Существует ряд типовых случаев применения обратных клапанов. Один из них — установка запорного клапана — будет рассмотрен ниже.

Применительно конструкции обратных клапанов различных конструкций

4.2.2. Предохранительные клапаны

Предохранительные клапаны в гидроприводах предназначены для предохранения трубопроводов от давления жидкостей выше заданного. Они действуют эффективно в аварийных режимах работы — при отсутствии масла из напорной линии в сливную.

Схема действия предохранительного клапана прямого действия показана на рис. 4.6.

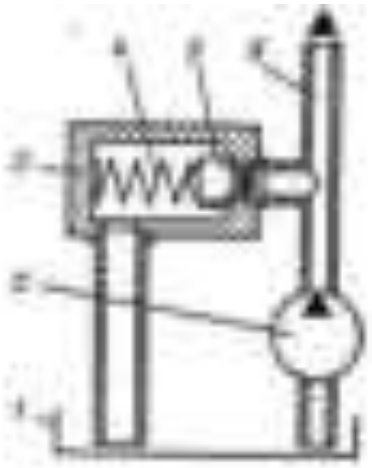


Рис. 4.6. Схема работы предохранительного клапана:
1 — насосбак; *2* — насос; *3* — клапан; *4* — пружина;
5 — шарик; *6* — трубопровод

Насос *2* всасывает масло из насосбака *1* и подает в гидросистему по трубопроводу *6*, давление масла действует на шарик *5* предохранительного клапана *3*, прижатый к седлу пружиной *4*. В момент, когда сила давления жидкости на шарик превысит силу пружины, шарик отойдет от седла клапана, и масло через образовавшуюся щель начнет сливаться в бак. Таким образом, клапан будет поддерживать в трубопроводе давление не выше значения, определяемого силой воздействия пружины на шарик. Изменяя силу пружины, можно регулировать величину максимального давления в гидросистеме.

Кашими причин действия приводит при небольшом расходе и давлении рабочей жидкости, так как увеличение этих параметров приводит к резкому возрастанию размеров пружины. Поэтому в гидросистемах чаще используют конструкции шарикового клапана, в которых небольшой вспомогательный клапан управляет перемещением переливного клапана, подключенного к напорной и сливной линиям.

В качестве примера могут быть приведены предохранительные клапаны непрямого действия марки Г52-3 (рис. 4.7 и табл. 4.7).

Таблица 4.7

Основные параметры предохранительных клапанов Г52-3

Параметр	Г52-32	Г52-24	Г55-34	Г55-38
Номинальный расход, см³/мин	20	40	80	160

Параметр	ГРД-21	ГРД-23	ГРД-24	ГРД-29
Диаметр условного прохода, мм площадь, см²	10	16	20	32
Размеры, мм:				
L	64	86		120
B	66	82		100
H	180	200		240
h_1	31	37		47
h_2	49	62		91
Масса, кг	2,9	4,6		8,4
Примечание. Начальное давление 0,4 МПа				

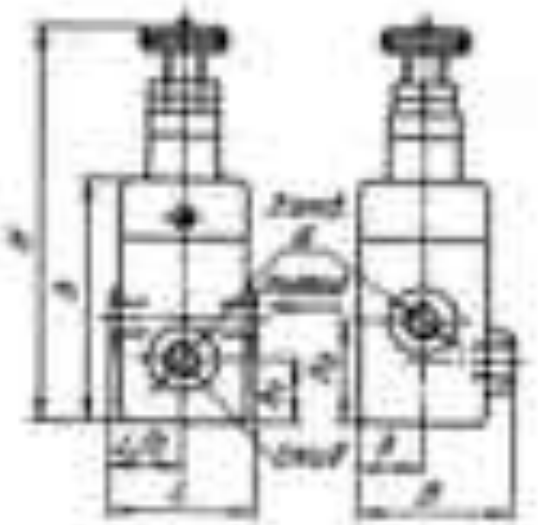


Рис. 6.7. Предохранительный клапан марки ГРД-21

6.2.3. Дроссели и дроссельные регуляторы скорости гидроцилиндров

Дроссель является местным гидравлическим сопротивлением изменяемой величины и применяется для ограничения расхода или создания перепада давления. Как правило, дроссели используются для регулирования скорости перемещения штока гидроцилиндра или частоты вращения вала гидромотора.

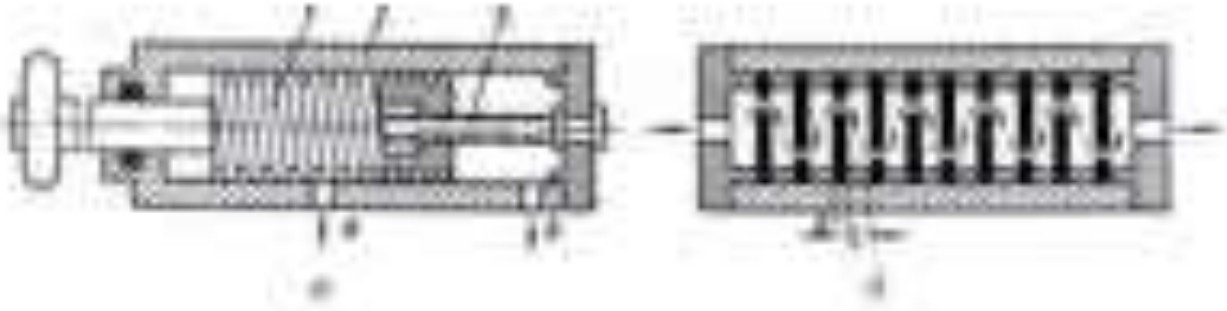
Дросселирование жидкости сопровождается интенсивным тепловыделением, поэтому дроссельное регулирование не рекомендуется к гидросистемам мощностью свыше 4 кВт.

Различают дроссели постоянного сопротивления и нерегулируемого сопротивления. В дросселе постоянного сопротивления которое дается обозначается, как показывает свое название, применяется постоянное сопротив-

ленным потоку жидкости в длинном дроссельном канале. В процессе вязкостного сопротивления длина канала мала, а потеря давления определяется в основном деформацией потока жидкости, сопровождающейся микровихреобразованием при внезапном сжатии русла, расширении и т. п.

Примером дросселя вязкостного сопротивления служит так называемый линейный дроссель (рис. 4.8, *а*), состоящий из дроссельного винта *1*, ввинчиваемого во втулку *2*, и жиклерного винта *3*, предназначенного для осевого перемещения винта *1*. Жидкость подается в отверстие *а*, проходит по винтовой канавке дроссельного винта и отводится через отверстие *б*. При вращении винта *1* он перемещается вдоль винта *3*, вследствие чего изменяется длина пути прохождения жидкости по винтовой канавке, а значит, и сопротивление дросселя.

Схема многощелевого вязкостного дросселя, содержащего набор из последовательно щелей, показана на рис. 4.8, *б*. Суммарное сопротивление такого дросселя регулируется подбором требуемого количества щелей.



а *б*

Рис. 4.8. Дроссели:
а — вязкостного сопротивления, *б* — вихревого сопротивления

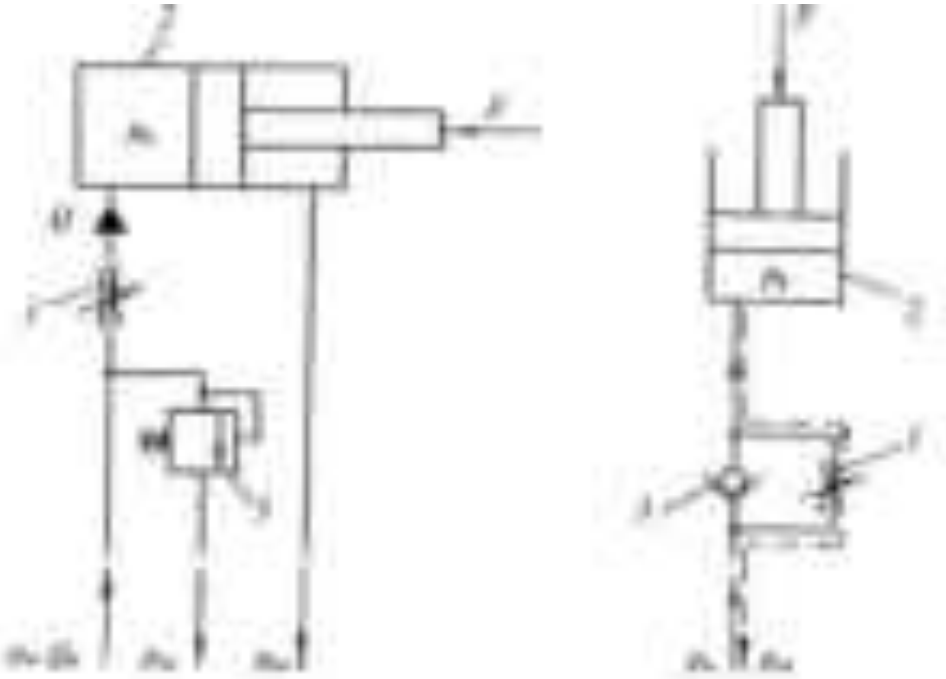
Кроме приведенных используют дроссели поверхностного (кромочного) типа, игольчатые и т. д.

На основе дроссельной системы проектируют устройства для регулирования скорости гидродвигателя в приводах с нерегулируемым насосами.

Принцип регулирования скорости гидродвигателя с дроссельным регулятором на входе показывает рис. 4.9, *а*.

Регулируемый дроссель *1* расположен на линии нагнетания жидкости в цилиндр *2*. Перед дросселем в систему включен переливной клапан *3*. Конструкция переливного клапана подобна конструкции клапана предохранительного.

Нерегулируемый насос создает давление $p_н$, перемещающее поршень, нагруженный силой F, происходит при давлении в поршневой полости $p_ц$, которое всегда больше сопротивлений линий, полость в которой находится под давлением $p_ц$.



а *б*

Рис. 4.9. Схемы дроссельного регулирования
а — регулирование скорости гидродвигателя двустороннего действия
с дросселем на входе; *б* — регулирование скорости обратного хода
гидродвигателя одностороннего действия

Расход жидкости через дроссель равен

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}, \qquad (4.11)$$

где μ — коэффициент расхода; f — площадь проходного сечения дросселирующей щели; ρ — плотность жидкости.

Скорость подачи крана пропорциональна Q.

Насос отдает в сеть расход жидкости $Q_н = Q$. Разность расходов $(Q_н - Q)$ поступает через переливной клапан в сливную линию. Для этого клапан 3 должен быть установлен на давление, называемое настройкой, $p = p_н$.

Следовательно, при $Q_н$ = const и F = const ($p = p_н$ = const) скорость перемещения крана пропорциональна величине f. Это дает возможность регулировать скорость с помощью дросселя.

Используются также схемы с установкой дросселя на сливной линии или на ответвлении.

Схема принципа регулирования скорости обратного хода гидроцилиндра стеклотянущего действия типа домкрата, поступающего на который постоянно по напорной линии, приведена на рис. 6.8, б.

В полости жидкости в цилиндр 2, в отличие от цилиндра (показанного на схеме) участок трубопровода, который при рабочем ходе поршня (вверх) отключается от насоса, а при обратном ходе — с масляным. Перемещение движение 1 установлено обратный клапан 3.

В период рабочего хода жидкость под давлением $p_н$ поступает от насоса. Обратный клапан открывается, жидкость движется в полости через него, и давление в цилиндре $p_ц$ незначительно (на величину сопротивления обратного клапана) меньше $p_н$. Обратный ход поршня осуществляется под действием силы F. Обратный клапан закрывается, и цилиндр отключается с масляным магистралью, причем скорость опускания поршня при данном перепаде давлений $p_ц - p_{сл}$ определяется площадью f дросселя (согласно (4.1)).

Дроссель является составной частью устройства, называемого *регулятором давления*, предназначенного для поддержания постоянного расхода в гидросети независимо от колебаний нагрузки на гидродвигатель. Подробно конструкция регуляторов потока рассмотрена в [1, 2, 10] и здесь не приводится.

В качестве примера в табл. 6.8 приведены основные рабочие параметры регуляторов потока ПГ55-2 [7].

Таблица 6.8

Основные параметры регуляторов потока ПГ55-2

Параметр	ПГ55-22	ПГ55-24	ПГ55-25
Расход, $см^3$/мин максимальный минимальный	25 0,06	80 0,13	160 0,25
Диаметр условного прохода, мм	10	20	32
Габаритные размеры, мм длина ширина высота	132 105 100	135 130 120	140 175 220
Масса, кг	4,5	7,5	15,5
Примечания: 1. Максимальное давление 50 МПа. 2. Отклонение расхода от установленного — 5 %			

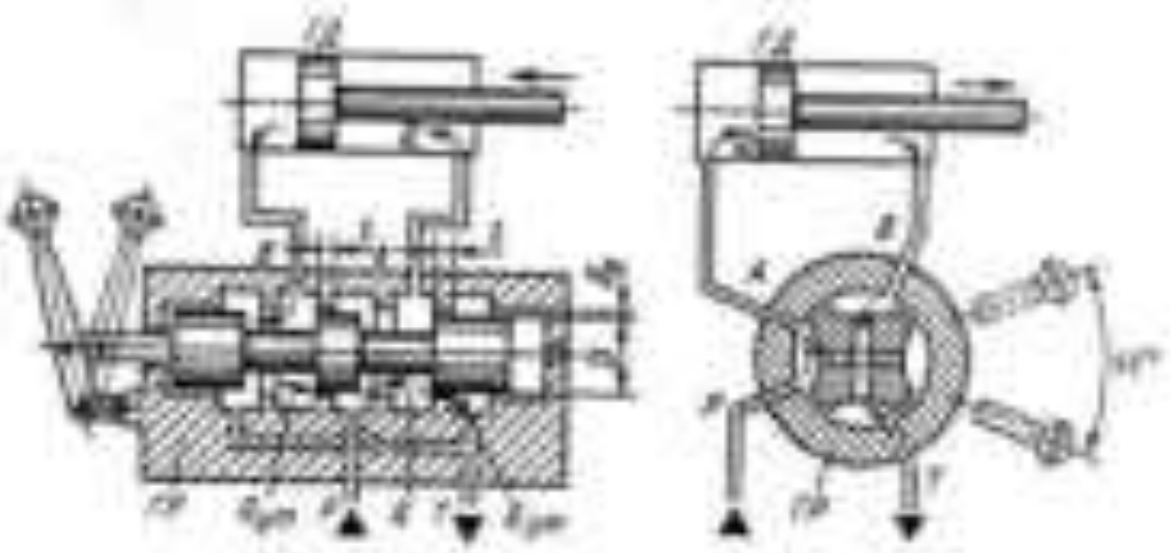
4.3. ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

4.3.1. Общие сведения

Распределение рабочей жидкости между агрегатами гидросистемы осуществляется специальным устройством — гидрораспределителем. По виду рабочего элемента различают распределители золотниковые, крановые и тарельчатые.

Принцип действия золотникового распределителя показан рис. 4.10, *а*.

Золотник представляет собой цилиндрическую деталь типа поршня с проточками (канавками), установленную в корпусе (*Г*) с отверстиями соответствующими и соединенную с приводом управления. На рис. 4.10, *а* изображен распределитель с ручным управлением посредством рукоятки. В корпусе выполнены каналы для подвода жидкости от насоса (*Р*), слива (*Т*) и соединения полостей гидродвигателя (в данном случае гидроцилиндра (*Ц*) либо с насосом, либо со сливом (*А, Б*).



а *б*

Рис. 4.10. Схемы распределителей:
а — золотникового; *б* — кранового

В положении золотника, показанном на рис. 4.10, *а*, почти вся жидкость *Q* от насоса по каналу *Р* и запасу по сливу *А* поступает в гидробак по каналу *Т*, а из поршневой полости выталкивается по каналу *Б* в сливной канал *Т*.

Первоначально развитие в человеке психологической структуры, приводит к тому, что логика от явления по каналу P в канал N поступает в переменную полость системы TS, а из оптической — выталкивается из канала A в канал S. Происходит реверсирование логики, информационные показания направления движения теряются.

Переключение элемента в короткозамкнутое только при наличии четырех K_0 между его поверхностью диаметром D и рабочей кромкой, а потери обусловливают утечки (скорости) жидкости между элементом. Причину и характер выполняет соответствующие каналы для отвода утечки в сливную линию.

Распределитель, имеющий четыре позиции может занимать две положения, называется *переключением*. Применяемые распределители имеют среднее (нейтральное) положение, в которой питающая магистраль перекрывается.

Принцип распределителя с управлением в линейно-развитая конфигурация на рис. 4.10, *б*. Он содержит (цилиндрическую или золотниковую пробку), помещенную внутрь корпуса (TP) и имеющую возможность относительного поворота (причем управляющая данная случая развития).

В пальцевом положении пробка жидкость от линии по каналу P в линию по каналу A поступает и переменную полость системы TS, а из противной полости — по каналу B в сливной канал T. Первый развитие в положение, показанное пунктирными линиями, обеспечивает реверсирование потока.

В конструкции распределителя с ручным приводом (рис. 4.11) поворот рукоятки 1 из нейтрального положения, например, против часовой стрелки приводит в тем, что в канал 2 перемещается плиту, и жидкость от насоса поступает в каналу 4 и затем — через канал 5 к гидродвигателю. Другой конструкции подключается в линии слива.

Распределители каждого типа имеют свои преимущества. Так, кранового распределителя наиболее прочны по конструкции, а для клапанного распределителей характерна практически абсолютная герметичность в закрытом положении. По срокам эксплуатационных качеств золотниковые гидравлики классифицируются, в их конструкции легко реализуются многопозиционность, разнообразие приводов (ручной, электрический, электрогидравлический, гидравлический и т.д.), точная управляемость. Поэтому золотниковые распределители получили наиболее широкое распространение в следующих типах машин.

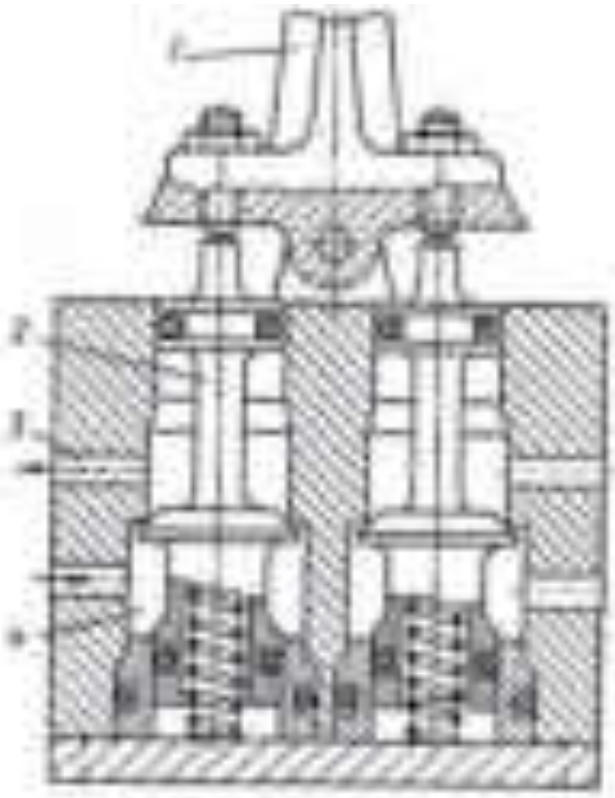


Рис. 4.11. Клиновый распределитель

4.3.2. Золотниковые распределители

По типу управления различают гидрораспределители с ручным управлением от рукоятки или внешней кнопки, с ножным управлением, с механическим управлением от кулачка, с гидравлическим управлением от вспомогательного распределителя (золотника), с электрическим управлением от телевизионного электромагнита постоянного или переменного тока, с электрогидравлическим управлением, с пневматическим управлением, с пневмогидравлическим управлением.

Для неответственных нагрузок и систем характерна высокая степень автоматизации, при которой ручное и ножное управление неприемлемы. Остальные же типы управления могут применяться в зависимости от конкретного назначения нагрузки и окружающей обстановки.

Распределители подразделяются в зависимости от диаметра условного прохода D_y, который принято равным диаметру подводящего и сливного отверстий. В табл. 4.9 приведены рекомендуемые соотношения между D_y и максимальным расходом жидкости через распределитель.

Таблица 4.9

Рекомендуемые соотношения между диаметрами условного прохода и расходами жидкости

D_y, мм	6	8	10	16	20	32
Q_{max}, м³/час	4,3	12,5	20	50	80	200

Считая D_y равным диаметру измерительного канала, могут определить начальную скорость потока жидкости для каждой пары (D_y, Q_{max}) и убедиться, что она превысит уровень 4 м/с. При необходимости расход жидкости через расходомер может быть увеличен до $2Q_{max}$ по скорости жидкости и требованиям не должны вызвать появление кавитации, потерю и тем случае, когда $Q = Q_{max}$ имеют соответственно увеличить диаметр трубопровода по формуле

$$d = d_{min}\sqrt{\frac{Q}{Q_{max}}} \qquad (4.12)$$

где d — увеличенный диаметр, d_{min} — диаметр, при котором скорость имеет начальное значение.

По виду применяемого регулятора различают регулирующие расходомеры. В расходомерах с регулятором проходного сечения для подачи и отвода жидкости выполнены патрубки-штанги и корпуса. В расходомерах со стабилизацией проходного сечения имеющиеся на стабилизирующей основе, изменяющие в перпендикулярной протекающей через сечение поля плоскости.

Расходомеры выполняют двух- и трехлопастными, в зависимости от числа лопастей (прикрепленных лопастей) плоскости относительно корпуса. Каждая лопасть обеспечивает надежную определенную зависимость расхода и высокой и условной зоны скорости потока. Например, наличие только на плоскость двухлопастного расходомера соответствует проходящему расходомеру по высокой скорости, а второму положению — против часовой стрелки. Трехлопастный же расходомер позволяет увеличить пределы измерения в обратном направлении (вперед и против положения лопасти), или в сторону уменьшения (вперед положения плоскости).

От того, как сосредоточится линия в точке пересечения золотника, зависит [illegible] распределителя. Полная схема содержит также условное изображение устройства управления (ручного, электромагнита, воздушной пружины и т.д.) [10].

Утечки по зазорам золотника зависят от перепада давлений и вязкости рабочей жидкости. Ориентировочные максимальные значения утечек при давлении 20 МПа и вязкости масла около 40 сСт даны в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Максимальная утечка по зазорам золотника

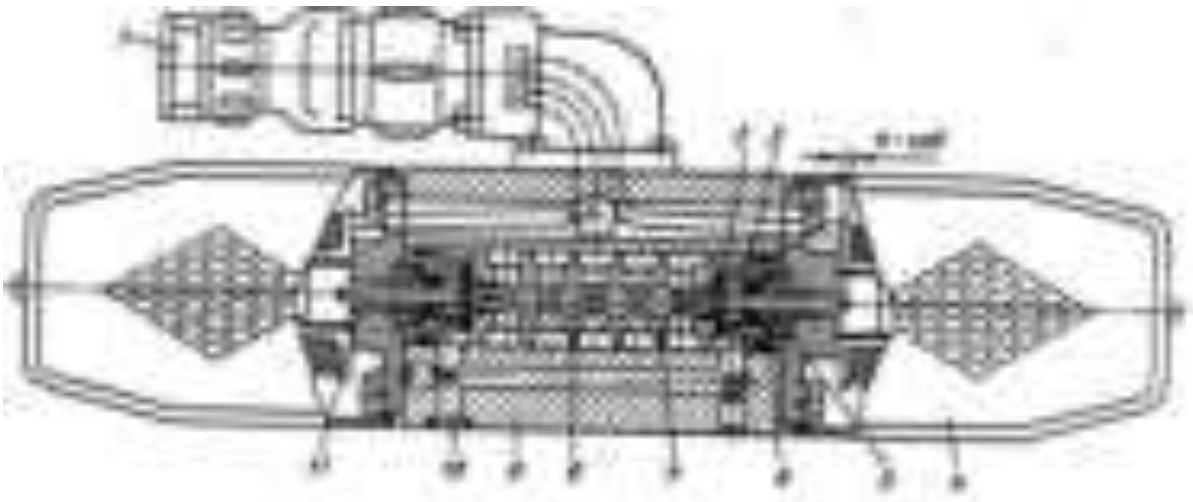
Условный проход, мм	8	10	16	20	32
Утечка, см³/мин	0,05	0,1	0,2		0,3

Потери давления потока при максимальном расходе в подводящих большинстве распределителей лежат в интервале 0,8–1,0 МПа.

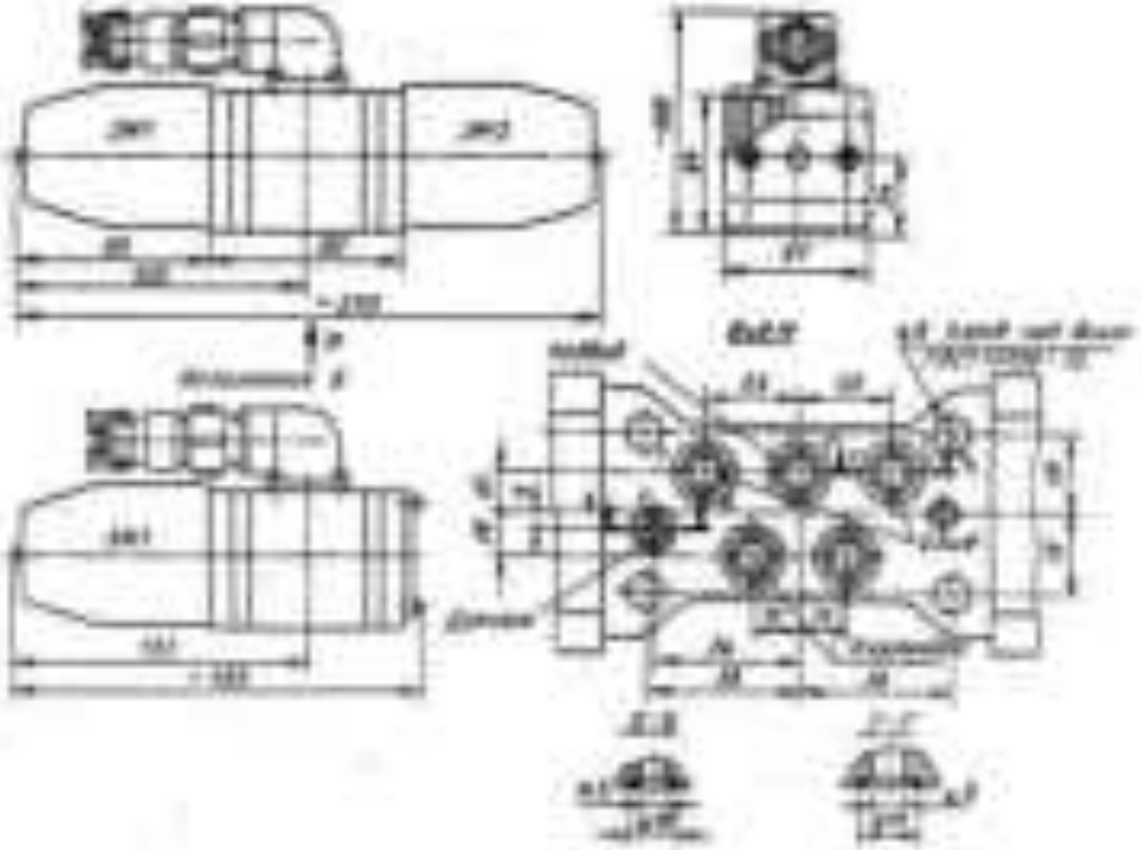
На рис. 4.12 представлен внешний вид, а на рис. 4.13, *а* — устройство трехпозиционного гидрораспределителя ПГ73-1 с электрическим управлением.

Рис. 4.12. Внешний вид гидрораспределителя ПГ73-1

Управление осуществляется двумя толкающими электромагнитами *4* (рис. 4.13, *а*). Поскольку электромагниты применяемых размеров не способны развить большие усилий, то непосредственное воздействие на золотник *3* используется в распределителе с малыми условными проходами 10 мм и 8 мм.



а



б

Рис. 4.11. Электроинструменты (М 1:1):

а — инструмент; *б* — габаритные и присоединительные размеры;

1 — асинхронный двигатель; *2* — выключатель; *3* — кронштейн; *4* — электромагнит;

5 — втулка; *6* — пружина; *7* — сальник; *8* — заклепка; *9* — корпус;

10 — дополнительная рукоятка; *11* — планшайба.

Левый электромагнит гидрораспределителя (позиция 11) переводит золотник вместе с пружиной 7 в правое крайнее положение, а правый — в левое крайнее положение. Пружины 7 гидрораспределителя центрируют золотник в среднее — нейтральное — положение. Утечки по торцовым зазорам, а контроль давления пружины, показаны в дренажное отверстие 10. Шайба 2, втулка 3 и чашка 4 предназначены для установки пружины 7 в корпус 9 и передачи усилия на толкатель 11.

Подключение в сливные отверстия выполнены в нижней торцевой крышке (рис. 4.11, б). Подключение распределителя в гидросистему осуществляется аналогично с выполнением дополнительного отверстия.

Рассмотренный распределитель может быть выполнен двухпозиционным (рис. 4.11, в), золотник 11, при этом он помещается не двумя, а одним электромагнитом, и может золотник в исходное положение пружинами пружинами.

Гидрораспределитель с дополнительным усилением пружины ПГ73-2 и электрогидравлическим управлением представляет собой комбинацию управляющего распределителя (насоса) ПГ75-11 и управляемого исполнительного распределителя. В основном распределителе золотник перемещается давлением на торцевой поверхности золотника жидкости.

Основные параметры распределителей ПГ73 приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Основные параметры гидрораспределителей с электрическим и электрогидравлическим управлением

Параметр	ПГ73-11	ПГ73-12	ПГ73-24	ПГ73-25
Условный проход, мм	8	10	16	32
Расход номинальный, $см^3$/мин	6	25	60	160
Время срабатывания, с	0,02	0,05	0,05–1,5	0,05–3,0
Потеря давления, МПа	0,78	0,01		0,78
Утечки, $см^3$/мин	0,05	0,15	0,3	0,5
Усилие электромагнита, Н	14	25	30	
Масса, кг	3	6	15	28
Примечание. Рабочее давление 20 МПа.				

4.3.3. Дросселирующие распределители

В неследящих гидравлических системах с программным и адаптивным управлением, в гидросистемах рабочим жидкостью используются так называемые *дросселирующие распределители*, обладающие высокой чувствительностью к управляющим воздействиям и способные обеспечивать весьма малые (порядка 0,1 мм и менее) перемещения рабочего органа.

Принцип действия дросселирующего распределителя показан на рис. 4.14.

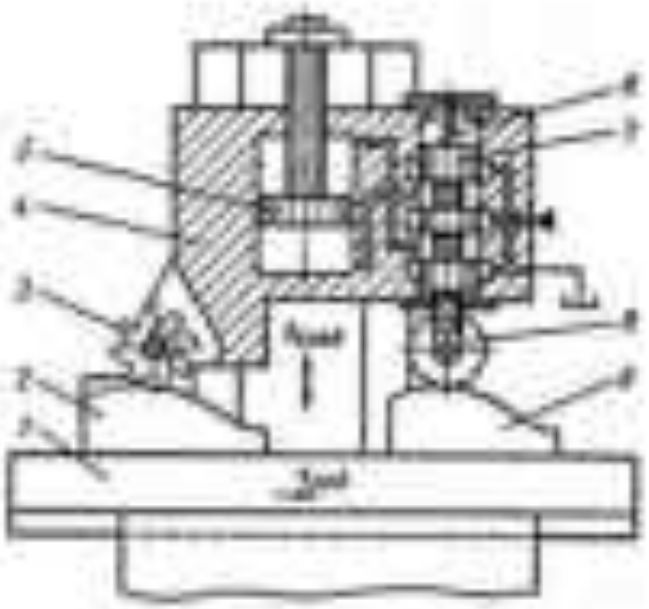


Рис. 4.14. Схема гидравлической копировальной системы фрезерного станка:
1 — стол станка; *2* — деталь; *3* — инструмент (фреза);
4 — каретка; *5* — корпус гидроцилиндра; *6* — пружина;
7 — плунжер; *8* — рычаг; *9* — копир

Гидравлическая копировальная система фрезерного станка содержит инструмент *3* (фрезу), установленный на каретке *4*, которую перемещает гидроцилиндр с плунжером *7*. Шток плунжера кинематически связан со столом станка. Золотник *7* дросселирующего распределителя пружиной *6* прижат через рычаг *8* к фасонной поверхности копира *9*. Обрабатываемая деталь *2* и копир *9* закреплены на столе *1* станка, перемещающемся со скоростью подачи величиной $v_{пр}$.

Золотник *7* имеет три пояска с четырьмя рабочими кромками, частично перекрывающими кольцевые канавки в корпусе. Канавки в корпусе средняя кольцевая канавка соединена с напорной линией гидросистемы, две крайние — со сливной линией, а кромки точные пояски — с полостями цилиндра. Таким

перемещения копирного суппорта профиля копира, а каретка 4, отслеживая его перемещения, обеспечивает копирную подачу инструмента $s_{кон}$ с усилием, достаточным для преодоления сил резания.

В положении, показанном на рис. 4.14, копирная система пружинных толкателей перекрывает канавку и сливную линию. При перемещении стола 1 вправо копирная опускается, канавка линии соединяется с напорной масляной магистралью, а сливная линия — со сливной полостью. Плунжеры сами напорные выталкивают, со перемещается каретка вместе с инструментом, в данном случае — вниз, до тех пор, пока копирная система не перекроет канавку и сливную линию, т.е. пока каретка не отработает такое же перемещение, что и копирная. В результате инструмент 3 в процессе обработки движется по кривой, точно соответствующей заданной конфигурации копира.

Для применения в составе гидросистемах разработан управляющий золотник ГУЗ-41 (рис. 4.15), встраиваемый в корпус трехпозиционного распределителя. Он состоит из золотника 1 и гильзы 2. Золотник имеет три пояска, а в гильзе выполнены три внутренние кольцевые канавки и пять выходных окон. Радиальными отверстиями внешние канавки гильзы с внутренними канавками и промежуточными полостями 3 и 4. Каждая из корпусе распределителя средняя напорная канавка гильзы сообщается с напорной линией, две крайние — со сливной, две промежуточные — с линиями гидроцилиндра.

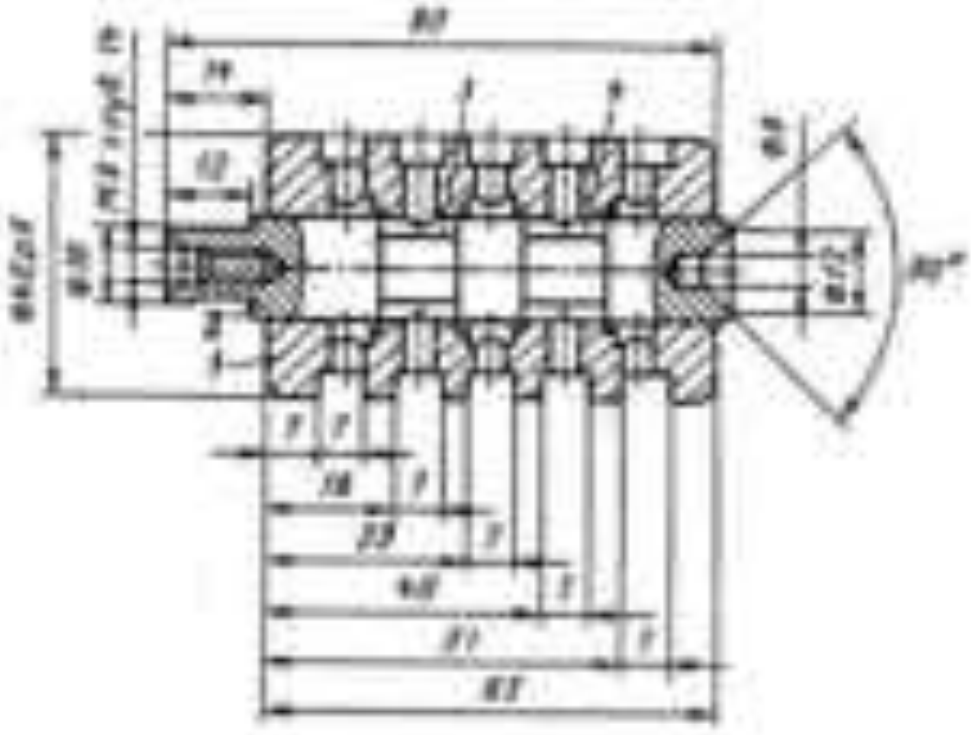


Рис. 4.15. Управляющий золотник ГУЗ-41

Левым концом золотник взаимодействует с пружиной, а правым через промежуточные передаточные звенья — с кулачком, толкателем и т.п.

Техническая характеристика управляющего золотника дана в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Техническая характеристика управляющего золотника Г61-41

Параметр	Величина
Расход номинальный, дм³/мин	20
Давление наименьшее, МПа	6,3
Диаметральный зазор в опорном золотнике — сталь, мм	18–20
Наружная утечка по зазорам при подаче в каждый канал 0,2 МПа, дм³/мин, не более	0,001
Масса, кг	0,45

Широкое распространение в гидроприводах получили электроуправляемые дросселирующие распределители типа Г68-1 (рис. 4.16), предназначенные для изменения величины и направления потока рабочей жидкости в большой гидравлической мощностью в соответствии с управляющими электрическими сигналами малой мощности. Здесь они подробно не рассматриваются. Необходимо лишь отметить следующие их конструктивные особенности.

Рис. 4.16. Внешний вид гидрораспределителя Г68-1

Во-первых, распределители Г68-1 имеют систему промежуточного гидравлического управления, по сути — гидравлический усилитель, через которую электромагнит воздействует на золотник.

Вычитатель, масло, вытекающее в сливную линию, проходит через регулируемый дроссель типа «штепсельный клапан», закрепленную на золотнике и показанную его конфигурацию проходит с высокой скоростью 300 об/мин. Таким образом исключается сухое трение в паре золотник — гильза.

Основные параметры распределителей Г68-1 приведены в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Основные параметры дроссельных распределителей Г68-1

Параметр	Г31 68-11	Г31 68-12	Г31 68-13
Расход номинальный, см³/мин	4,3	20	35
Давление рабочее, МПа	6,3		
Наименьшая площадь сечения проходная, дм	0,42	1,0	1,82
Расход в линию управления, см³/мин	1,2		
Утечки по слив в закрытом положении при рабочем давлении, см³/мин	2,0		
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	150 100 200		
Масса, кг	10		

4.4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ГИДРОПРИВОДОВ

4.4.1. Гидроаккумуляторы

Гидроаккумулятором называется устройство, служащее для накопления гидравлической энергии в период паузы и ее потребления в период работы машины. Использование гидроаккумуляторов позволяет снизить мощность насоса до потребляемой во время паузы мощности гидродвигателей. В связи с этим уменьшаются размеры гидравлической системы гидроаккумулятор дает возможность обеспечить запас в работе непродолжительное время. Кроме того, в результате наличия в гидросистеме машины аккумулятора давление жидкости в гидравлической рабочей среде сначала медленно повышается при включении двигателя от нуля, что также способствует плавности при включении гидравлической системы.

Изготовление и монтаж запорно-пускового клапана должны быть отражены в очень короткие сроки, поэтому гидроаккумулятор способен кратковременно развивать высокую мощность. Применение этих агрегатов позволяет экономить средства и повышает надежность работы. Но в случае отказа гидроаккумулятора или его неправильной работы возникает опасность для жизни людей, находящихся в зоне действия клапана.

Для обеспечения безопасной работы гидроаккумулятора необходимо соблюдать следующие требования.

Для каждого гидроаккумулятора должен быть паспорт, в котором должны быть указаны все данные, необходимые для его эксплуатации.

Гидроаккумулятор должен быть установлен в таком месте, где исключено воздействие на него солнечных лучей, атмосферных осадков, а также отрицательных температур

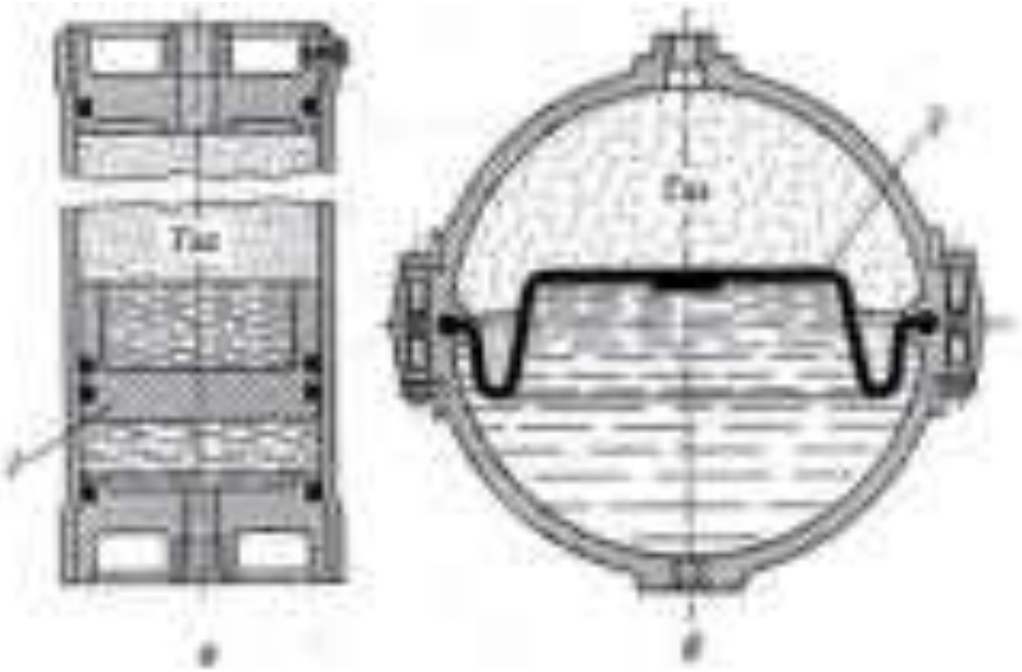


Рис. 4.11. Напоминание параметры:
а — нормальный; *б* — дифференциальный;
1 — корпус; *2* — диафрагма

4.4.2. Резервуары для рабочей жидкости

Резервуар для рабочей жидкости (масляный) является относительно узлом гидросистемы, так как от правильности его исполнения зависит надежность и долговечность входящих в систему агрегатов.

Выделяющийся во время работы агрегатов тепло рассеивается через стенки масляного, поэтому это обычно оказывает значительное влияние на тепловой режим гидропривода.

Средний количество теплоты, выделяемое гидроприводом в единицу времени (средняя тепловая мощность), определяют по формуле:

$$P_{ср} = (P_{дв} - P) \cdot \Pi\Pi, \qquad (4.11)$$

где $P_{дв}$ — мощность на валу приводного электродвигателя насосной установки; P — суммарная полезная мощность одновременно работающих гидродвигателей; ПВ — продолжительность включения гидропривода (относительное время работы под нагрузкой в общему времени цикла).

В табл. 4.14 даны значения объема бака в зависимости от $P_{ср}$.

Таблица 4.14

Зависимость объема насосбака от теплонапряжения и гидравлики

Удельная тепловая мощность, кВт	0,8	1,0	1,4	1,8	2,2	3,0
Объем насосбака V, $м^3$	56	150	220	320	420	540
Примечание. Приведенные температуры масла в баке над температурой окружающего воздуха не более 35 °С.						

Внутренний объем должен быть округлен до ближайшего от расчетного значения размера ряда [1], если это не противоречит требованиям технического задания на проектирование конкретного масла.

Площадь поверхности масляного, $м^2$

$$A = (1,06 \div 1,1)\sqrt[3]{V^2}, \qquad (4.14)$$

где V — объем, $м^3$.

Очевидно, что во многих случаях имеющаяся расчетная поверхность охлаждения объема масляного. Это достигается за счет интенсификации теплообмена между маслом и окружающим воздухом следующими способами:

– приданием стенке бака (или вмонтированному в масляный контур теплообменнику) развитой поверхности (1);

– обдувом бака струей воздуха от вентилятора;

– помещением бака теплообменника, выполненного, например, в виде змеевика в масло (вместо от теплообменных трубок, по которым циркулирует охлаждающая среда (обычно воздух или вода).

Для гидравлически замкнутых масляных систем применяется комбинация двух первых способов.

Днище масляного должно располагаться на высоте не менее 100 мм над полом для обеспечения циркуляции через поверхность днища.

Конец выхлопной и бак трубы отливной линии необходимо сделать на высоте больше расстояния от начала трубы всасывающей линии, чтобы создать условия для перемешивания выходящего из отливной трубопровода нагретого масла с уже охлажденным. С этой целью часто выполняют в баке перегородку и выводят всасывающий трубопровод-установить в бак перегородку.

Глубина погружения труб в масло должна быть не менее четырехкратной их диаметров, расстояние от дна — не менее двух диаметров, концы труб желательно срезать под углом около 45°. Это позволит предотвратить перемешивание масла с воздухом и осадком.

Производительность системы должна быть не менее 200 – 250 л/м.

Элемент горловины следует снабдить фильтром с тонкостью фильтрации 40–60 мкм.

Давление должно иметь указатель с отметкой «опасно».

Масляный бак может быть снабжен указателем уровня масла, термометром и т.п.

4.4.3. Фильтры

Опыт эксплуатации гидросистем показывает, что выполнение всех требований по поддержанию чистоты рабочей жидкости начинает позднего выполнять правила и хранить неиспользованные фильтры в две руки. Главную роль в качестве масла от твердых частиц играют фильтры различных типов.

Фильтры могут задерживать механические или электромагнитные частицы масла по назначенной линейке или главной связи гидросистемы.

При последовательной очистке через фильтр проходит вся жидкость от насосной установки в гидравлическую гидросистему. *Дифференциальная* очистка подразумевает прохождение через фильтр части рабочей жидкости, то расход фильтрованного масла составляет часть полного расхода насосной установки.

Фильтр, установленный на напорной линии, — напорный, или пластовый фильтр — обеспечивает эффективную защиту насоса от сравнительно крупных частиц, это значение очень велико. К основным, пластовый фильтр, можно подключением сопротивлением, создающее условие нормальную работу, потому перепад давлений на нем не должен превышать 0,02 МПа. Отсюда следует, что, во-первых, использовать пластовые фильтры только в напорных установках с повышенными давлениями, во-вторых, следует учитывать, что фильтры требуют строгого выполнения правил обслуживания.

Фильтр, установленный на главной линии, называемый сливным, не оказывает непосредственного воздействия на напорную линию насоса. Применение в гидросистемах только сливного фильтра нередко в тех случаях, если отсутствуют условия от попадания загрязнений извне. Если такой защиты нет, то необходимо комбинация напорного и сливного фильтров. Оптимальным считается сочетание пластового фильтра по крупности частиц 80 мкм или 100 мкм и сливным на 10 мкм или 25 мкм.

Для защиты высокочувствительного к загрязнению элемента гидросистемы непосредственно перед ним на напорной линии устанавливают тонкий очистки (напорный фильтр). Через напорный фильтр проходит жидкость с высоким давлением, поэтому, в отличие от пластовых и сливных фильтров, он имеет высокопрочный корпус.

Как неотъемлемая практика, фильтр может эффективно защищать только тот сегмент гидросистемы, который установлен непосредственно после него, а остальная полученная часть частично защищается. Это особенно важно для систем с несколькими контактами фильтров, которые выполняют по отдельности, а чем было описано выше.

При выборе фильтров можно использовать следующие рекомендации по точности фильтрации:

– насосы шестеренные на давление до 2,5 МПа; насосы и гидромоторы пластинчатые нерегулируемые на давление до 6,3 МПа — 40 мкм;

– насосы пластинчатые нерегулируемые на давление до 16 МПа; насосы пластинчатые регулируемые на давление до 6,3 МПа; насосы и гидромоторы аксиально-поршневые на давление до 16 МПа; направляющая и регулирующая гидроаппаратура на давление до 20 МПа — 25 мкм;

– электрогидравлические клапаны и системы модулем; прецизионные гидрораспределители — 10 мкм.

Особый рекомендательно фильтров может иметь магнитные сепараторы (сепараторы, магнитные фильтры), предназначенные для извлечения ферромагнитных частиц. Включение сепаратора в гидросистему рекомендуется производить после фильтров тонкой очистки, так как они задерживают также и немагнитные включения ферромагнитных частиц. Включение сепаратора рекомендуется ставить через каждые 500 ч работы.

4.5. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОСИСТЕМ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Основные данные.

Исходные данные для проектирования гидросистемы содержатся в техническом задании на ММ:

1. Функциональное назначение гидравлической в гидросистеме.

В числе основных требований к гидросистеме входят:

– усилие (крутящий момент) или мощность на рабочем органе;

– линейная (угловая) скорость рабочего органа;

– цикл работы машины, основные характеристики гидросистемы — значений усилия и рабочего органа.

– необходимость регулирования, если регулирование необходимо, то его пределы;

– прочие требования (перепады температуры, условия безопасной эксплуатации, максимальные габариты и т. д.).

2. Просмотреть каждый набор «сильных» характеристик.

На данном этапе проектирования еще не идет речь о конкретных марках оборудования, поэтому сильные характеристики, аппаратное управление и т.п. Интегратор, анализируя технические требования, устанавливает, какие типы устройств этим требованиям удовлетворяют. Необходимо руководствоваться принципом минимизации.

Пример 1. Согласно техническому требованию нужно должен обеспечивать поворот рабочего органа на 90°. Требование может быть реализовано: а) с помощью гидроцилиндра, воздействующего на рычаг; б) червячным редуктором.

Пример 2. Необходимо регулирование скорости рабочего органа. Его можно обеспечить: а) с помощью регулируемого насоса; б) с помощью регулируемого гидродвигателя; в) с помощью дроссельного регулятора.

3. Составление перечня гидроузлов.

Гидроузлы составляются в зависимости выявленных в соответствии с выбранной архитектурой, правилами по предыдущему пункт. Желательно, чтобы они давали представление о приводимых требованиях (скорость, величина рабочих усилий и т.п.), что позволит в дальнейшем оценить их гидравлическое согласование.

При составлении гидросхем следует использовать правильные условные обозначения согласно и соответствии с действующими стандартами.

4. Определение значений рабочих параметров и выбор марки гидрооборудования рабочего органа для каждого варианта.

Основными параметрами являются давление и расход рабочей жидкости. Их следует определить из технических требований (этап 1), относящихся к рабочему органу. На данном этапе конструктор-гидравлик ознакомится с необходимыми ему расчетными формулами.

Пример. Технические требования задают мощность P на выходном звене рабочего органа. Так как

$$P = pQ, \tag{4.13}$$

то из этого выражения определить расчетные значения p и Q. После чего, зная ограничения габаритов насоса, по каталогам выбирают насосы с ближайшим к расчетному значением расхода. Следует иметь в виду стандартный ряд давле-

ней и расходом. Наиболее часто применяют заливки в диапазоне 6,3–25 МПа. Давление менее 6,3 МПа считают низким, более 25 МПа — высоким. В ММ, в которых требования либо низки, габариты не ограничиваются, следует применять средние заливки (12,5–20 МПа).

По найденным значениям основных параметров принимают марку гидрожидкости и применительно к каждому варианту гидросистемы:

5. Выбор марки гидронасоса.

Ориентируясь на значения p и Q гидрожидкости рабочего органа, назначают марки конструкции гидронасоса и регулирования для каждого варианта.

6. Окончательный выбор варианта и типоразмера гидронасоса.

Рассматривают варианты гидросистем с учетом конкретных типов гидрожидкости рабочего органа и гидроаппаратуры и оценивают их по критериям конструктивной сложности, количеству утечек, взаимозаменяемости, трудоемкости обслуживания, надежности, стоимости.

Принимают оптимальный вариант, при необходимости корректируют гидросхему, определяют данные по утечкам.

7. Определяют диаметры труб и расчет напорного трубопровода.

Выбор размера трубы для той или иной линии трубопровода производят с учетом рекомендаций по ограничению скорости потока в зависимости от давления в линии (табл. 4.13).

Таблица 4.13

Скорость потока в трубопроводе в зависимости от давления жидкости

Давление, МПа	2,5	6,3	10	32	63
Скорость, м/с, не более	2	3,2	4	5	6,3

Для сливных линий обычно принимают $v = 2$ м/с, для всасывающих линий — $v \le 1,6$ м/с.

Затем по известному расходу жидкости в линии Q, и принятой скорости v вычисляют внутренний диаметр трубы:

$$d_i = 4,6\sqrt{\frac{Q}{v}}, \qquad (4.16)$$

Размеры труб подбирают для этих линий по табл. 4.14.

Таблица 4.10

Рекомендуемые размеры труб высокого давления

Номинальный расход, дм³/мин	Диаметр условного прохода, мм	$d_н \times s$, мм	
		стальная труба	медная труба
3,2	8	–	4 × 0,5; 6 × 0,8
12,5	8	12 × 2	8 × 1; 10 × 1
20	10	14 × 2	12 × 1; 14 × 1
50	16	20 × 2,5	18 × 1,5
80	20	25 × 3	22 × 2
200	32	40 × 4	–

Обозначения: $d_н$ – наружный диаметр; s – толщина стенки.

После назначения диаметров линий трубопровода по формуле п. 4.5.3 находят гидравлические участки и полное гидравлическое трубопровода.

8. Определение «узкого» гидравлического пути и суммарных утечек.

«Узкий» гидравлический путь определяется как сумма гидравлических трубопровода и гидрораспылителя, а утечки в сети — как сумма утечек в гидрораспылителях.

9. Определение давления в гидравлической последовательности высокой установки.

Давление, которое должен обеспечить насос, равно сумме давления перед распылителем рабочего органа и общего сопротивления сети.

Производительность насосной установки равна расходу в гидравлически рабочего органа и суммарных утечек в сети.

Контрольные вопросы

1. Назначение достоинства и недостатки гидравлического привода МБМ по сравнению с электрическим.

2. Дайте сравнительную характеристику различных нефтяных и минеральных масел.

3. Дайте сравнительную характеристику вязкостных и вязкостно-температурных свойств.

4. Для чего используется предохранительный клапан?

5. Что такое дроссель?

6. Какую функцию выполняет гидрораспределитель в гидроприводе?

7. Гидрораспределители какого типа получили самое широкое распространение в гидроприводе МБМ?

8. Показать потребителя гидравлической энергии.

5. ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

Тормозные механизмы устройства, которые служат для остановки ММ или изменения скорости исполнительного звена, остановки и удержания (фиксации) его в заданном положении.

При торможении кинетическая и потенциальная энергия движущихся масс механической энергии переходит в другие (обратимые или необратимые) виды энергии (электрическую, тепловую). Тормозные устройства создают дополнительную силу и момент сопротивления, направленные против движения и совершающие отрицательную работу на участке торможения. Кинетическая энергия звеньев ММ частично или полностью преобразуется (рассеивается или рекуперируется), поэтому скорость движущихся масс за счет их инерции и заданий точно остановка, исполнительное действующие на них движущие моменты и силы, что способствует устранению отказов и возможный рабочий органов.

В зависимости от природы сил торможения тормозные устройства разделяются на механические, гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные. Механические тормозные устройства подразделяют на фрикционные, ременные, кулачковые, инерционные и фрикционно-гидравлические. Гидравлические представляют собой устройства дроссельного регулирования, пневматические могут быть вакуумные и вакуумные (применяются редко), а электрические служат электромагнитные, индукционные и гистерезисные, а также перечисленные тормозные устройства в основе их входящим механическим фрикционного и фрикционного типов. Комбинированные представляют собой комплекс из двух или более типов перечисленных устройств (электромагнитно-фрикционные, пружинно-пневматические и т.д.).

Ко всем типам тормозных устройств ММ предъявляются следующие основные требования:

– обеспечение заданного закона торможения;

– быстродействие (малое время срабатывания и отпускания, малое время нарастания);

– высокая надежность и долговечность;

– высокое быстродействие;

– простота и доступность конструкции.

– стабильность характеристик при изменении условий работы;

– малая чувствительность к изменению температуры, плотности, тормозной массы, вибрации;

– возможность настройки и регулировки рабочего органа;

– удобство монтажа и обслуживания;

– минимальные габариты и масса.

5.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

В механических тормозных устройствах силу сопротивления создает деформация рабочего элемента (корпуса тормозного устройства) или третьего (промежуточного тормозного устройства).

В качестве упругих элементов наиболее часто применяются цилиндрические пружины сжатия, реже — растяжения. Распространение получили резиновые и резино-металлические, а также пневматические упругие элементы.

Основными рабочими элементами фрикционных тормозных устройств являются пружины или пневматические шины.

Пружинные тормозные устройства обладают тем или иным видом характеристик пружины, установленной либо непосредственно между функциональными звеньями и упорами определенной конструкции, либо эффективным плечом приложения конструктивных усилий.

Сила сопротивления пружины записывается по следующей форме [4]:

$$F_{пр} = cx = c(x_0 + x_1) = F_0 + F_{x1}, \qquad (5.1)$$

где c — осевая деформация пружины; x_0 — начальная деформация (осадка) пружины; x_1 — дополнительная деформация пружины; F_0 — начальная сила сопротивления пружины; F_{x1} — дополнительная сила сопротивления пружины; c — жесткость, которая для цилиндрической витой пружины равна [3]:

$$c = \frac{F}{x} = \frac{Gd^4}{8kD^3}, \qquad (5.2)$$

G — модуль упругости 2-го рода материала пружины (для пружинных сталей $G = (7,85–8) \cdot 10^4$ МПа); d — диаметр проволоки пружины, мм; D — средний диаметр витка пружины, мм; k — число рабочих витков пружины.

Сплав эффекта эмиссии применяют при работе кинетической энергии изделия типа и потенциальной энергии упругой деформации пружины

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{cx^2}{2}, \qquad (3.3)$$

К достоинствам пружинных устройств следует отнести возможность больших деформаций, сохранение характеристик под воздействием продолжительной статической нагрузки, нечувствительность к значительным перепадам температур. В то же время они обладают такими недостатками, как малое демпфирование, трудности регулирования (настройки) их силовой характеристики, низкими скоростями нагружения приводят к возникновению скачка нагрузки на характеристике машины.

Упругими пружинами устройства обычно называют весьма широко используемые установленные элементы (рис. 3.1, *а*), состоящие из резиновых втулок 1 и металлических шайб 2. В зависимости от конструкции пружинных устройств резиновые втулки могут работать на сжатие (рис. 3.1, *а, б*) или сдвиг (рис. 3.1, *в*). Втулки, работающие на сжатие, обладают небольшой податливостью, но значительной нагрузочной способностью, втулки сдвига — наиболее большой податливостью и сравнительно небольшой нагрузочной способностью.

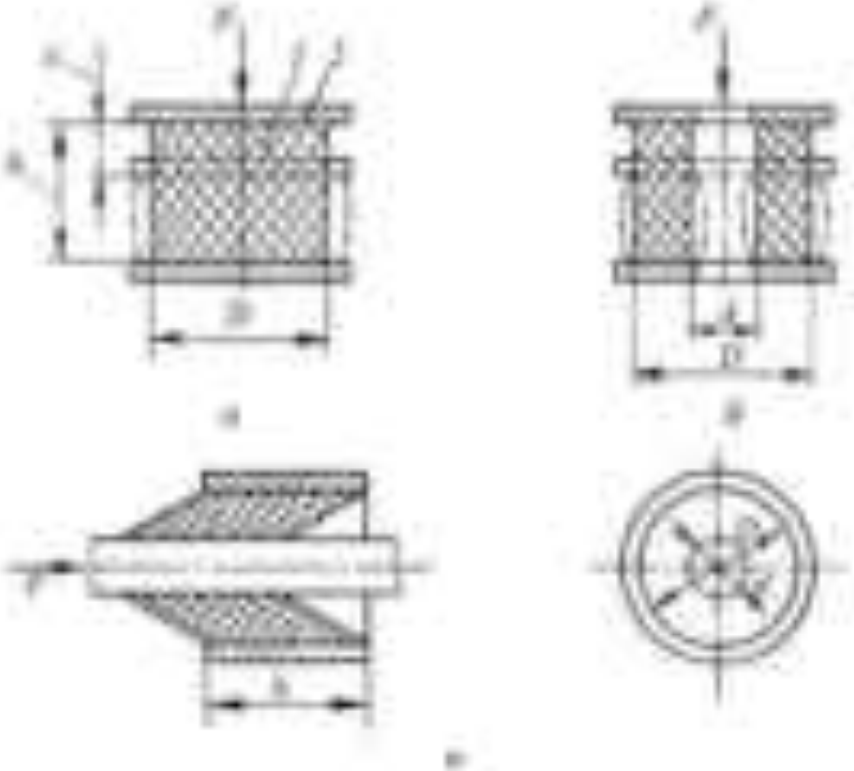


Рис. 3.1. Резиновые пружинные элементы

Нужно знать какие формулы при вычислительном исследовании головки. В зависимости от того какие они несут себя под напряжением твердость. Условие для расчета напряжения, работающего на сжатие, должно быть предусмотрена возможность по дифференциальному переходу через головки.

При сжимании сжатии резинового элемента с выполнением поперечных отношений (рис. 3.1, а, б) упругая сила определяется равно:

$$P = \frac{\pi \Delta a}{h - a}, \tag{3.4}$$

где a — предельная высота резины, [1]мм

$$a = \frac{MG\delta}{h}, \tag{3.5}$$

M — динамический модуль упругости резины, равный (0,6÷1,0) · 10^3 МПа; A — площадь поперечного сечения резинового элемента; h — высота неформированного элемента; ε — величина деформации сжатия; N — коэффициент учитывающий, равный:

$$N = 1 + f \cdot K_\phi, \tag{3.6}$$

f — коэффициент трения между резиной и материалом опоры (f = 0,12÷0,15 для несмазанных поверхностей и при резине — сталь); K_ϕ — коэффициент формы (для отливки цилиндрических резиновых элементов с диаметром D и высотой h коэффициент $K_\phi = \frac{D}{4h}$; для резиновых втулок с наружным диаметром D и внутренним диаметром d $K_\phi = \frac{D - d}{4h}$).

Условие прочности резиновой втулки при сжатии:

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{A} \le [\sigma_{сж}], \tag{3.7}$$

где $[\sigma_{сж}]$ — допускаемое напряжение сжатия, для резины средней твердости $[\sigma_{сж}]$ = (2,5÷5,0) МПа.

Для резьбового замка, работающего на сдвиг (рис. 3.1, е), окружное усилие от натяжения определяют по формуле:

$$F = \gamma' V, \tag{3.8}$$

где γ' — коэффициент жесткости резьбы на сдвиг, Н/мм:

$$\gamma' = \frac{2\pi G d h}{\ln \frac{d}{D}}, \tag{3.9}$$

Условие прочности резьбовой втулки, работающей на сдвиг:

$$\tau_{max} = \frac{F}{\pi d b} \le [\tau], \tag{3.10}$$

где $[\tau]$ — допускаемое напряжение сдвига резьбы при single кратковременной нагрузке, для резьбы средней твердости $[\tau] = (1–2)$ МПа.

Максимальное напряжение сдвига возникает на внутренней поверхности резьбовой втулки.

Резьбо-винтовые крепежные устройства обладают высокой надежностью, простотой конструкции и технологичностью изготовления, удобством обслуживания, большой универсальностью. К недостаткам следует отнести чувствительность к изменению температуры и влажности, неравномерность распределения нагрузки (все витки одновременно работают редко, чаще всего нагружен один виток).

Фрикционные крепежные устройства используют как для крепления и позиционирования в пространстве точек, так и для удержания (фиксации) звеньев.

Главной особенностью фрикционных устройств является то, что они преобразуют значительную часть кинетической энергии в теплоту, которая рассеивается в окружающем пространстве. Фрикционные устройства с упругими элементами аккумулируют небольшое количество потенциальной энергии, обусловленной силу упругих, а фрикционные устройства без упругих элементов полностью поглощают (рассеивают) кинетическую энергию.

Конструкции фрикционных крепежных устройств весьма разнообразны. Они могут быть как неподвижными, так и перемещаемыми в пространстве, управляемыми и неуправляемыми, нормально замкнутыми и разомкнутыми, одно-

в двустороннего действия. Однако независимо от типа и конструкции они содержат один или несколько фрикционных пар, при относительном движении элементов которых возникает сила трения. Обычно одно из звеньев фрикционной пары удерживают или управляют его вращением относительно корпуса или другого узла, по отношению к которому осуществляется торможение.

Упруго-фрикционное торможение у устройство с цилиндрической пружиной и разрезной конической втулкой изображено на рис. 5.2. При вкручивании винта 5 с конической Рутинной сегменты 2 сжимаются по внутренней цилиндрической поверхности корпуса 1, прилегают к ней с возрастающей силой вследствие сжатия пружины 3, расположенной между конической втулкой 4 и конической регулировочной втулкой 5.

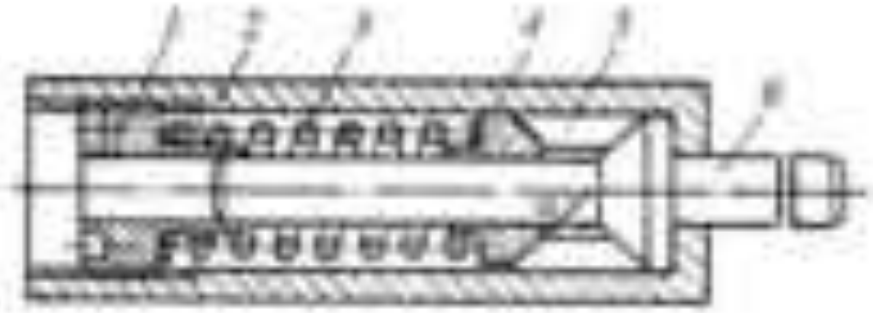


Рис. 5.2. Упруго-фрикционное тормозное устройство

Сила сопротивления перемещению сегмента равна

$$F_{тор} = F_{уп} + F_{т.т}, \tag{5.11}$$

где $F_{уп}$ — сила упругости пружины (формула (5.11)); $F_{т.т}$ — сила сухого трения между сегментами и корпусом:

$$F_{т.т} = F_N f = \frac{2F_{уп} f (1 - \Omega \mu \alpha)}{f_1 + \operatorname{tg}\varphi}, \tag{5.12}$$

F_N — сила нормального давления между сегментами и корпусом; f — коэффициент трения скольжения между цилиндрическими поверхностями сегментов и корпуса (табл. 5.1); f_1 — коэффициент трения скольжения между коническими поверхностями винта 5, втулки 4 и сегментов 2 (табл. 5.1); α — угол между образующей корпуса и осью винта.

Приложение

Нормативные значения коэффициентов трения

Материалы	Покрытие отсутствует		Битумная мастика	
Вид поверхности основания	Да	Нет	Да	Нет
Бетон — бетон	1,4	0,65	1,3	0,6
Бетон — кирпич	1,3	0,6	1,2	0,55
Бетон — металл	1,2	0,55	1,1	0,5

Значение коэффициента трения для конструкций, подвергающихся воздействию [illegible]

Фрикционная стойкость [illegible] определяется по формуле

$$[illegible] \qquad (1)$$

где [illegible] — коэффициент трения;

[illegible] — коэффициент [illegible]

Рис. [illegible] Схема [illegible]

По условию износостойкости:

$$u = \frac{2KT}{\pi d' C_u / \psi} \le [u] \qquad (3.14)$$

находят средний диаметр поверхности трения

$$D_{ср} \ge \sqrt{\frac{2KT}{\pi^2 d [p] \psi}} \qquad (3.15)$$

где d — диаметр вала; $[p]$ — допускаемое давление между поверхностями (табл. 3.1); ψ — коэффициент рабочей ширины диска ($\psi = b/D$) = = 0,15-0,25).

Ширина поверхности трения находится по формуле

$$b = \frac{2KT}{\pi d' C_u [u]} \qquad (3.16)$$

С другой стороны

$$D_{ср} = \frac{D_1 + D_2}{2}, \qquad (3.17)$$

где D_1 и D_2 — наименьший и наибольший диаметры поверхностей трения соответственно

$$D_1 = D_{ср} - b\sin\alpha; \qquad (3.18)$$

$$D_2 = D_{ср} + b\sin\alpha. \qquad (3.19)$$

Для растормаживания необходимо приложить усилие $F > F_{пр}$.

В диске трения фрикционном торцевом (рис. 3.4) диски *1* находятся в прямом шлицевом соединении с полумуфтой *2*, а тормозные диски *3* — в полумуфтой *4*. Зазор между дисками *1* и *3* регламентирует величину $\delta = 0,3-0,5$ мм. Диски имеют осевую подвижность. При действии тормозных *3* они сжимаются и прижимаются к поверхностям друг с другом, образуя фрикционные пары.

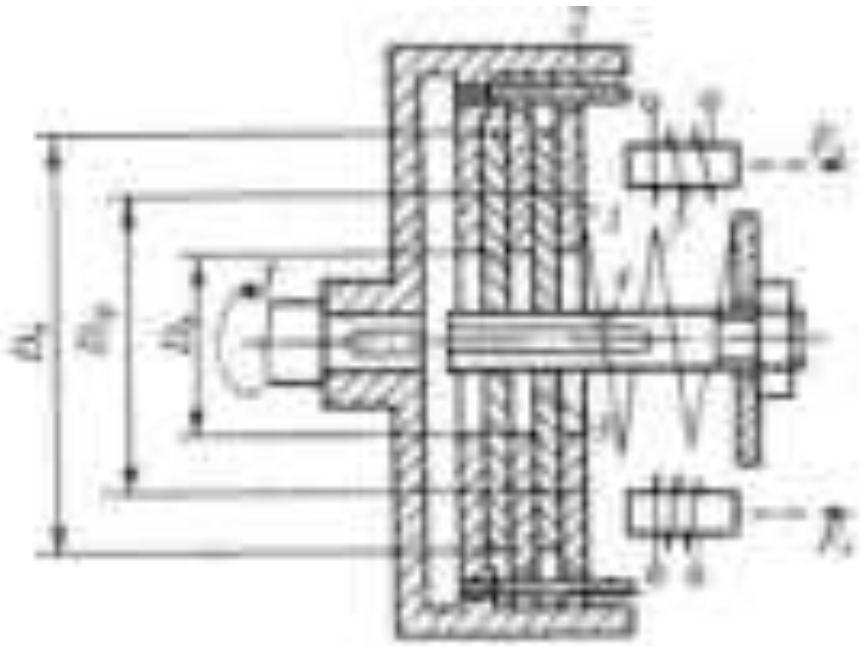


Рис. 5.6. Схема расчета фрикционного горизонта

Число фрикционных пар, необходимое для затормаживания подвижного звена, нагруженного крутящим моментом T, находят так же, как в ленточном тормозе, из условия износостойкости:

$$q = \frac{2KT}{\pi D_{ср}^2 b i f} \le [q], \tag{5.20}$$

откуда:

$$i \ge \frac{2KT}{\pi D_{ср}^2 b [q] f}, \tag{5.21}$$

где q — давление на трущихся поверхностях; $D_{ср}$ — средний диаметр контактирующих поверхностей:

$$D_{ср} = \frac{D_н + D_в}{2} = \frac{D_н}{1 + \psi}, \tag{5.22}$$

$D_н$ — наружный диаметр кольца контакта дисков:

$$D_в = D_н(1 + \psi) = (1{,}4 \ldots 5)d. \tag{5.23}$$

d — диаметр вала зубчатого звена; $D_в = (0.3 \ldots 0.5)D_к$ — внутренний диаметр венца; $D_к$ — диаметр колеса; ψ — коэффициент рабочей ширины зубьев:

$$\psi = \frac{D_н - D_в}{D_н} = \frac{b}{D_н}, \tag{5.24}$$

принимают $\psi = 0.33 \ldots 0.11$ (чаще всего $\psi = 0.25$); b — рабочая ширина зубьев:

$$b = \frac{D_н - D_в}{2} = (0.1 \ldots 0.2)D_н, \tag{5.25}$$

где $D_н$ — см. табл. 5.1.

Число звеньев в ведомой части торсиона:

$$Z_{вед} = \frac{Z}{2} - 1, \tag{5.26}$$

в ведущей части:

$$Z_{вед} = \frac{Z}{2}. \tag{5.27}$$

Полученные $Z, Z_{вед}, Z_{вед}$ округляют до целых чисел.

Необходимая сила трения при числе Z фрикционных пар:

$$F_{тр} = cn = \frac{MZ}{2f} \frac{D_н^2 - D_в^2}{D_н^3 - D_в^3}, \tag{5.28}$$

Быстроизнашивающиеся (расчетные) поверхности в конструкции из материала с высокими эксплуатационными свойствами, изношенные основы которых должны быть больше износа пружины, т.е. $hF_т > F_{тр}$ ($F_т$ — усилие сдавливания пружины).

В фрикционных торсионах устройством поглощающего аппарата трения и изменение условий работы (скорости движения, величины давления) износ пружины по сравнению с поглощающими приводит к отклонению реального закона торможения от заданного, по которой рассчитывалось торсионное устройство. Рас-

клапан может оказаться неработоспособным, если условия и режим работы оказались иными. Поэтому устройства этого типа целесообразно использовать в ММ с достаточно стабильными режимами работы.

Для создания пневматических устройств с программируемыми точками настройки и регулирования скорости движения выходного звена (штока или плунжера) (командного) используют встроенные в двигатель функциональные механизмы. Они могут быть встроены в корпус или крышку и взаимодействовать с пневмоцилиндром, клапаном или другими двигательными звеньями.

Для осуществления программного останова выходного звена пневмомотора применяют управляемые функциональные устройства, снабженные собственным приводом, который по команде системы управления замыкает или размыкает сигнал.

В пневмотахометре (рис. 5.5) функциональный орган является исполнительным. В крышке пневмотахометра обе полости пневмоцилиндра соединены с атмосферой и друг с другом 1 проточками 2 и функциональным кольцом 3 с регулируемой площадью щелей. При подаче сжатого воздуха, например, в правую полость цилиндра скоростной клапан 5, преодолевая перепад воздуха в двух полостях, открывает ему доступ в кольцевой канал 4, охватывающий полость плунжера 2, которая сообщает каналы и распределяет поршень.

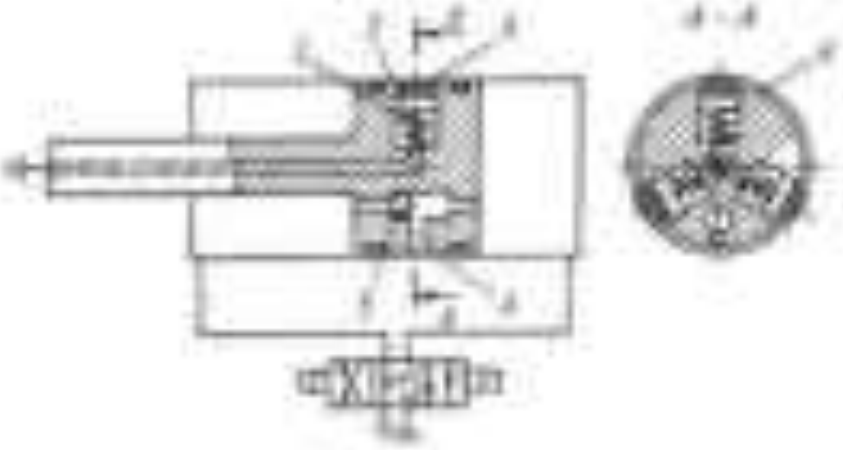


Рис. 5.5. Схема пневмотахометра

Под действием давления воздуха в правой полости поршень перемещается влево. Для его остановки обе полости пневмоцилиндра соединяет с атмосферой. При этом давление в полости плунжера и в обеих полостях пневмоцилиндра падает, функциональное кольцо прижимается к поверхности скользящим, перекрыв и остановливает поршень.

5.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для торможения вращающихся механизмов применяются электромагнитные тормозные устройства, в которых включение создаваемого ими момента или усилия является электромагнитным воздействием при помощи электромагнитов (электромагнитные, электрогидравлические и электрогидравлические тормоза) или включение через гидравлический сустав или какой-нибудь механизм (электромагнитные пружинные тормоза и тормоза с дифференциальным включением).

По принципу действия и устройству электромагнитные тормозные устройства подразделяются на нормально закрытые (электромагнитные двигателем), в которых ротор или статор заторможен. Взаимодействие между основанием и вращающейся частью тормоза осуществляется через электромагнитное поле, создаваемое катушкой управления (или) якорем.

По принципу действия электромагнитные тормозные устройства с внутренним и внешним расположением магнитопровода подразделяются на тормоза с сосредоточенным тормозным устройством дискового ротора.

Действие электромагнитного тормозного устройства применяется тем основано на работе статора или помещенного в нем дифференциального тормоза ускорения и магнитного поля имеет вязкость и прочно крепится в подвижности магнитной системы.

При относительном сдвиге рабочих поверхностей тормоза возникает сопротивление от трения вращающихся частей тормоза между собой. Наибольший сдвиг вызывающего частоты, находящихся в середине цикла. Сдвиг частот относительно замедлений, в которые они приходят, получается, следовательно, рабочие поверхности не изнашиваются. При отсутствии магнитного поля сопротивление сдвига тормоза и износ падает, и частоты тормоза оказываются практически независимыми друг с другом.

Помощь фрикционного тормоза в кратковременном или непрерывном часе может иметь вязкость и магнитном поле. Например, при использовании дисковых фрикционных эффект торможения гидравлического сопротивления.

Конструкция устройства и принцип действия электромагнитного тормозного тормоза (рис. 5.6). При корпусе 1, корпусе 2 и крышке 4 закреплены на стыке. Электромагнитный неподвижный стальной электромагнитный ротор 3 укреплен на валу 5, установленном в подшипниках 6.

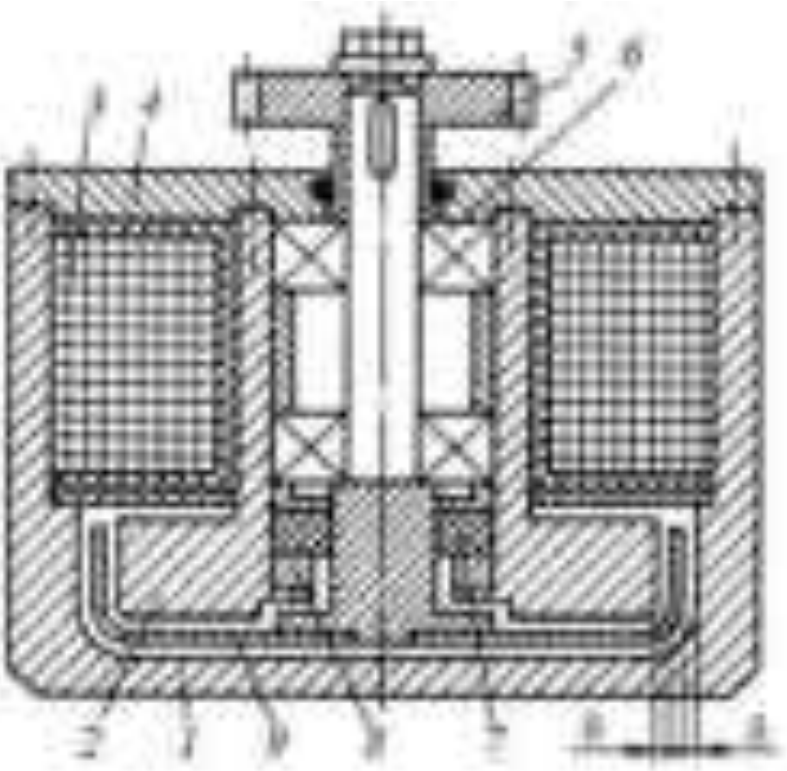


Рис. 3.6. Электромагнитный поляризованный тормоз

На торцевом щитке *обмотка возбуждения* 1. Полюсь, образованные корпусом и сердечником, в которой расположен ротор, запаяны ферромагнитными порошком. Устранение подтекания от проникновения порошка состоит из применения органосиликатной жидкостью ферритного кольца 7 и постоянного кольцевого магнита 8. Связь тормоза с подвижными элементами ЭПМ осуществляет при помощи шестерни 3.

Под действием электромагнитного поля, создаваемого катушкой управления, расположенный в зазоре тормоза преодолевается и устанавливается. При касании поверхностей ротора относительно статора корпуса возникает сопротивление, обусловленное трением пластинчатых частиц порошка. Удельное усилие сдвига, определяющее тормозной момент, зависит от магнитной индукции в рабочем зазоре, состава порошка и ряда конструктивных параметров тормоза. Развиваемый тормозной момент практически прямо пропорционален току управления и слабо зависит от скорости скольжения. Тормоз с наружным диаметром 100 мм способен развить тормозной момент до 20 Н·м при предельных окружных скоростях 10–15 м/с. Остаточный момент при отсутствии тока управления составляет не более 0,5 % номинального момента.

На рис. 3.7 показан электромагнитный порошковый тормоз *ZCZT1.02* с пределом тормозного момента 2–5 Н·м.

Рис. 5.7. Электромагнитный вертикальный подвес ECLIPSE Active

Электромагнитное торцевое устройство *дроссельного типа с ферромагнитной жидкостью* (рис. 5.8) состоит из гидроцилиндра *2*, поршня *7* с катушкой возбуждения *8* и штоком *1*, возвратной пружины *9*, поршневого торца *4*, подвески пружиной *3*. Рабочая *5* и компенсационная *7* полости заполнены ферромагнитной жидкостью. Цилиндр, поршень и шток выполнены из магнитного материала. Обмотка возбуждения присоединена к валу по корпусу и «массе» машины последовательно.

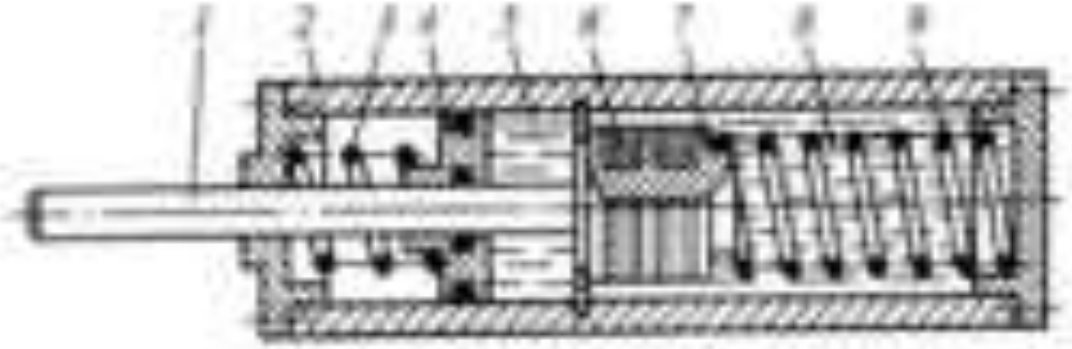


Рис. 5.8. Торцевое устройство дроссельного типа с ферромагнитной жидкостью

При движении поршня жидкость перетекает из одной полости в другую через узкий кольцевой канал между внутренней цилиндрической поверхностью цилиндра и поршнем. При отсутствии тока управления гидравлическое сопротивление канала зависит от его геометрических размеров и от вязкости

намагниченной жидкости, определяют величину приложенного поля и скорость потока. Управление тормозным устройством осуществляется изменением величины и направления, а следовательно, и напряженности магнитного поля. Под влиянием поля действием сил управления в объеме вязкой жидкости и электрического поля магнитореологическая жидкость переходит в твердое состояние.

Устройство может быть использовано двухсторонним, для чего в корпусе необходимо иметь две крышки вместо одной и установить аналогично другой.

Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности тормозных устройств.
2. Какие требования предъявляются к тормозным устройствам МРЖ?
3. Назовите достоинства и недостатки гидравлических тормозных устройств.
4. Как устроен фрикционный ленточный тормоз?
5. Из каких элементов состоит фрикционный дисковый тормоз?
6. Какую задачу в МРЖ решает активатор?
7. Как устроен электромагнитный порошковый тормоз?
8. Поясните принцип работы тормозного устройства движущегося типа с ферромагнитной жидкостью.

6. НАПРАВЛЯЮЩИЕ

6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ

Направляющими называют устройства, обеспечивающие заданное относительное движение элементов механизмов.

В МДМ в основном применяют направляющие для поступательного движения. Их используют тогда, когда требуется осуществить перемещение одной детали относительно другой в заданной плоскости. К направляющим предъявляют следующие требования:

- обеспечение плавности перемещения;
- высокая точность движения;
- большой ресурс работы;
- износостойкость;
- работоспособность при резких перепадах температуры.

В зависимости от вида трения различают направляющие с трением скольжения и качения. Выбор типа направляющих в конструктивном плане зависит от таких факторов, как их назначение, требования к точности перемещения, допустимая нагрузка, величина хода, стоимость изготовления, сложность монтажа, необходимость обслуживания.

Направляющие с трением скольжения в зависимости от характера (вида) конструкционной нагрузки подразделяют на открытые и закрытые. К открытым относят направляющие, у которых для создания силовой замыкающей связи используют дополнительные приложенные усилия (вида собственной массы, упругой силовой или инерционной сил инерции). Закрытыми являются направляющие, у которых замыкание силовой цепи обеспечивается конструктивными факторами.

Направляющие в зависимости от формы поперечного сечения рабочих поверхностей делят на цилиндрические, призматические, П-, П-, Т-образные, а также призматические направляющие с плоскими вкладышами.

6.2. НАПРАВЛЯЮЩИЕ С ТРЕНИЕМ СКОЛЬЖЕНИЯ

По конструктивному исполнению направляющие с трением скольжения бывают направляющими с трением качения и качения по гибкому элементу (ленте). При соответствующем выборе материалов они могут сохранять свои качества в широком температурном диапазоне. Основной их недостаток — повышенное трение. Лучшими считаются направляющие с трением качения.

Пары скольжения *сферуют* стали марок 40, 50, У8А с чугунами марок СЧ12, СЧ15, бронзами БрОС10-2, БрО10-1, БрСЦ2, латунями. Предпочтительная сварочная сочетания материалов: сталь — *бронза*, сталь — *латунь*, сталь — *чугун*. Если ММ работает при низких окружных температурах, то для изготовления деталей направляющего *рекомендуется* выбирать материалы с близким значением теплового коэффициента линейного расширения (см. табл. 6.1).

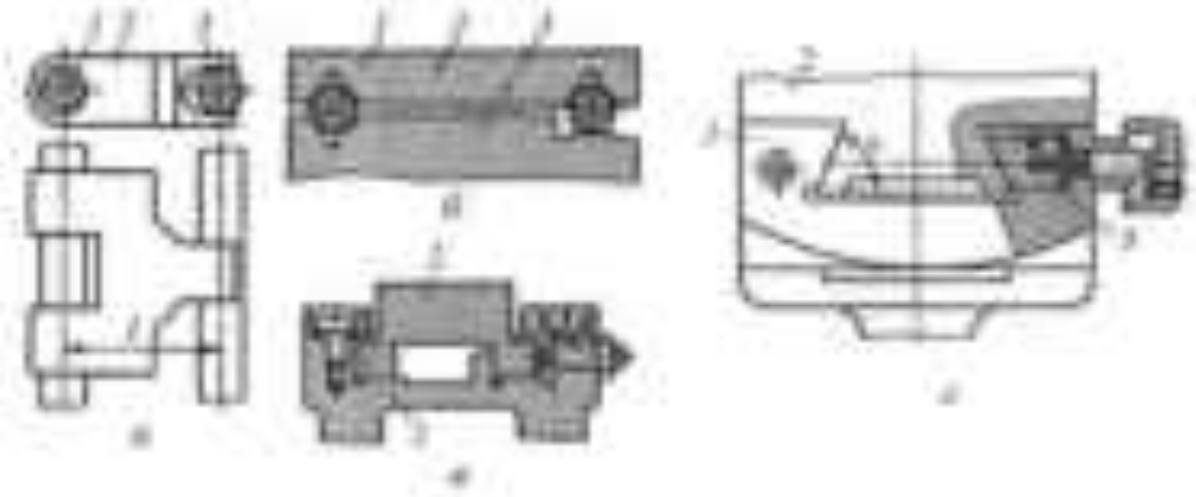


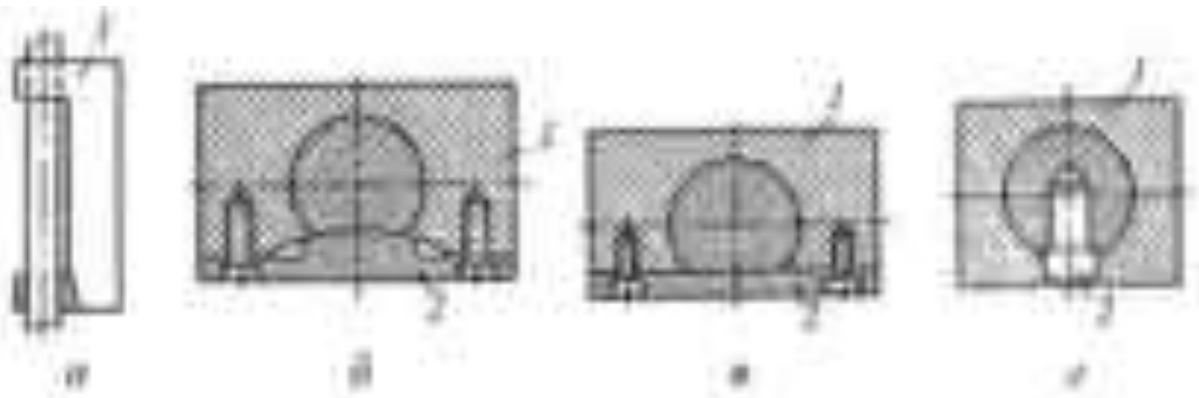
Рис. 6.1. Направляющие скольжения

Конструктивные основы закрытых направляющих скольжения приведены на рис. 6.1, *а*, *г*, *д* и также на рис. 6.2, *а*–*в*.

В опоре на рис. 6.1, *а* по цилиндрическим направляющим *1* и *3* перемещается ползун *2* с цилиндрической *в* основой *рабочими* поверхностями; по криволинейным призматическим направляющим *1* (рис. 6.1, *в*) перемещается П-образная призма *2*; по призматическим направляющим *1* типа «ласточкин хвост» с углом профиля α (обычно α = 60°) перемещается ползун *2*. Призматические направляющие типа «ласточкин хвост» требуют тщательной сборки и регулировки, так как неравномерный износ деталей может привести к заклиниванию направляющих.

Схемы направляющих открытого типа показаны на рис. 6.1, *б*: по цилиндрическим стержням *1*, закрепленным на неподвижном основании *3*, перемещается каретка *2* с призматическими *рабочими* поверхностями.

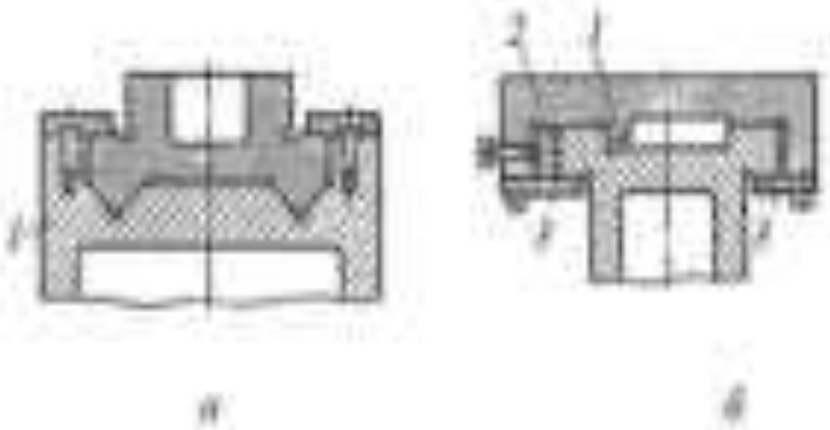
Цилиндрические направляющие *1* (рис. 6.2, *а*) изготавливают без устройства для предотвращения осевого проворачивания и с таковым устройством в виде шпонки *2* (рис. 6.2, *б*, *в*) или штифта *3* (рис. 6.2, *г*) с гладкой, вкладной в вал втулкой.



а *б* *в* *г*

Рис. 6.2. Варианты установки заготовки цилиндрической поверхностью

В приспособлениях направляющие применяют призмы *1* с треугольными (рис. 6.3, *а*), прямоугольными или трапецеидальными сечениями. Регулировку зажима в направлении производят с помощью планок или сухарей. На схеме (рис. 6.3, *б*) удлинение направляющей в боковом направлении устраняют с помощью выступа *1* и планки *2*, а вертикальное перемещение — с помощью двух планок *3*.



а *б*

Рис. 6.3. Приспособление для фрезерования паза

В направляющих, изображенных на рис. 6.1, *г*, регулировку зазора производят с помощью сухариков *А*.

Для проверки правильности выбора посадки и класса точности сопрягаемых деталей направляющих проводят проверочный расчет по формуле:

$$\Delta = D[1 + \alpha_1(t - t_1)] - D_1[1 + \alpha_2(t - t_2)], \qquad (6.1)$$

где Δ — минимальный зазор при данной температуре, мм; D — наибольший при данном допуске диаметр (или линейный размер) охватываемой детали,

ма; D_0 — наибольший при заданном допуске диаметр (или наибольший размер) охватываемой детали, мм; t_0 и t — соответственно начальная и конечная температура нагревания, °С; α_t и (t_0) — коэффициенты линейного расширения материалов охватываемой детали (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Коэффициент линейного расширения

Материал	Коэффициент $\alpha \cdot 10^6$
Сталь углеродистая легированная	11,5–12 10
Чугун	9
Латунь	19,9
Бронза	17–18
Алюминий	22,9–23,8
Медь	17
Серебро	19–19,7
Фарфор	35

Зазор может быть в том случае, когда $D > d_0$, иначе говоря — при $d < D_0$. Посадка считается допустимой, если $A \geq 0$. В случае затруднения ($A < 0$) следует выполнить более свободную посадку или применить материалы, имеющие меньшее или более согласованное между собой температурное коэффициенты линейного расширения. В отдельных случаях можно уменьшить перепад температур нагревания, но при этом должна соблюдаться требуемая жесткость и взаимозаменяемость конструкции.

Для предотвращения возможности заклинивания и уменьшения износа цапф при трении в направляющей необходимо, чтобы равнодействующая Q всех сил сопротивления (кроме сил трения) и движущая сила F (рис. 6.4) действовали по линии, проходящей через середину и длину подшипника. Выполнение этого условия называется самоустановкой. Самоустановка достигается применением сферических подшипников.

При конструировании направляющих применяют различные виды трения. Наиболее распространенным является трение скольжения. Для уменьшения трения скольжения применяют смазку, которая, заполняя зазоры между трущимися поверхностями, образует тонкий слой, разделяющий эти поверхности. Трение скольжения при этом заменяется трением слоев смазки между собой, которое в 10–100 раз меньше трения скольжения.

ли сила F приложена к полуосе на плече h перестановки направляющей тормозных колодок, то она создает момент $M = Fh$, уравновешивающий элементы пары сил, образованных реакциями F_1 и опорах.

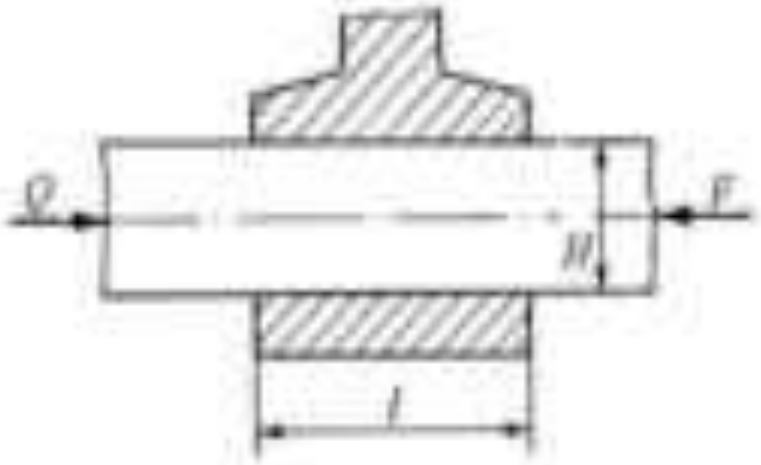


Рис. 6.6. Составление схемы направляющей и опоры полуоси

Уравнение равновесия полуоси имеет следующий вид:

$$Fh = F_1 \cdot L, \tag{6.2}$$

откуда реакция в опорах:

$$F_1 = \frac{Fh}{L}. \tag{6.3}$$

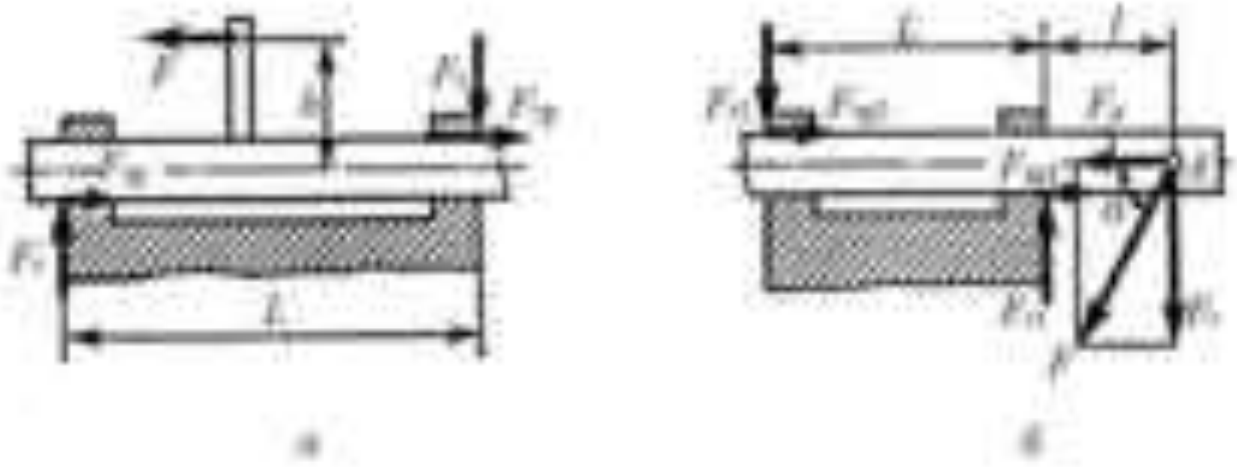


Рис. 6.7. Реакции в опорах направляющей на полуоси

Площадь сил трения

$$F_{тр} = 2F_{тр} = 2F_n \cdot f = \frac{2fkM}{L}, \quad (6.6)$$

где $F_{тр}$ — сила трения в одной направляющей; f — коэффициент трения скольжения.

Заклинивания не будет при условии $F_{тр} \le F$, т.е. $kf/L \le 0,5$.

Для обеспечения плавности хода, малого износа рабочих поверхностей и отсутствия заклинивания необходимо выполнять следующие рекомендации:

– для плоских направляющих прямоугольной формы

$$\frac{kf}{L} = 0,25; \quad (6.5)$$

– для направляющих типа «ласточкин хвост» при углах профиля α

$$\frac{kf}{L\sin\alpha} = 0,25; \quad (6.6)$$

– для направляющих цилиндрической формы

$$\frac{kf}{L} = 0,2. \quad (6.7)$$

Двигающая сила, выраженная из условия

$$F \ge Q + F_{тр} = Q + \frac{2fkM}{L}, \quad (6.8)$$

определяется по выражению

$$F \ge \frac{Q}{1 - \frac{2kf}{L}}, \quad (6.9)$$

где Q — сила технологического сопротивления.

При применении силы P (вид условия и в закреплении перемещения (рис. 6.3, *б*) равноопасные сечения найдем из уравнений статики

$$F_{ш} = \frac{P(L+l)\sin\alpha}{L}; \tag{6.10}$$

$$F_{ш} = \frac{fP\sin\alpha}{L}. \tag{6.11}$$

Полная сила трогания равна:

$$F_{т} = F_{тр} + F_{ш} = (F_{т} + F_{т})f \tag{6.12}$$

Заклинивание будет отсутствовать при условии

$$F_{т} \le F\sin\alpha, \tag{6.13}$$

или

$$\frac{P\sin\alpha}{L} f(\lambda + 2l) \le F\sin\alpha, \tag{6.14}$$

откуда

$$\operatorname{tg}\alpha \ge \frac{L}{(L+2l)f}. \tag{6.15}$$

Окончательно условие отсутствия самоторможения направляющего выглядит следующим образом:

$$\frac{L}{2l} \ge \frac{1-f\operatorname{tg}\alpha}{2f\operatorname{tg}\alpha}. \tag{6.16}$$

Из условий отсутствия заклинивания следует, что для повышения длины L направляющей наиболее эффективно коэффициент f трения уменьшать. Этого можно достичь подбором материалов пары и соответствующей обработкой трущихся поверхностей.

Давление газа от условия отсутствия заклинивания

$$p \geq \frac{Q}{\pi \cdot \left(\frac{d_1 + D_1}{2}\right) \cdot l \cdot \sin\alpha \cdot \left(\frac{D_1 - d_1}{2}\right)}, \qquad (6.17)$$

Работоспособность направляющих проверяют по допустимым значениям

$$p = \frac{F_n}{A} \leq [p], \qquad (6.18)$$

где F_n — нормальная сила в точке соприкосновения трущихся поверхностей, Н; A — площадь соприкосновения, мм^2; $[p]$ — допускаемое давление, при статическом относительном перемещении до 1 м/с $[p] = 3 \div 4$ МПа.

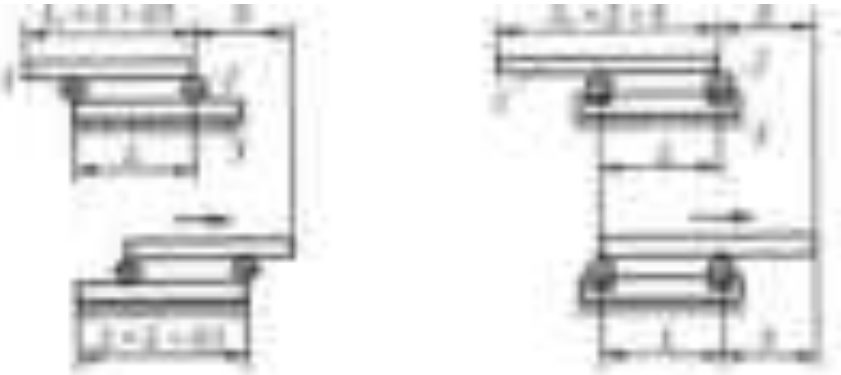
6.3. НАПРАВЛЯЮЩИЕ С ТРЕНИЕМ КАЧЕНИЯ

Направляющие с трением качения применяют в тех случаях, когда требуется обеспечить перемещение с минимальными силами сопротивления и высокой скоростью. По сравнению с направляющими скольжения они имеют меньшие потери на трение, допускают менее чувствительную к перекосам конструкцию.

Направляющие с трением качения изготовляют из закаленных сталей марок ШХ15, 40Х, У8А, У10А, 20Г, 30ХГСА.

На виде тел качения различают поперечные и условные направляющие. Для удержания тел качения на определенном расстоянии друг от друга применяют сепараторы, изготовленные из латуни или текстолита. Иногда применяют стандартные подшипниковые конструкции качения.

В зависимости от способа установки направляющие тел качения различают направляющие с перекатыванием и прокатыванием внутри своих пар тел качения. В направляющих с перекатыванием каретки (рис. 6.6, *а*) при перемещении каретки *1* сепаратор *2* перекатывается по основанию *3*, как тела качения перемещаются как относительно каретки, так и относительно основания. В направляющих с прокатыванием (рис. 6.6, *б*) тела качения *2* закреплены на осях в сепараторе *1* при перемещении каретки *1* вращаются в своих гнездах, а оси их остаются неподвижными относительно каретки и основания *3*.



а *б*

Рис. 6.6. Направляющие с вертикальными (*а*) и горизонтальными (*б*) телами качения

Анализ направляющих с вертикальными и горизонтальными корпусами показывает, что теоретическая длина $L_т$ каретки в сравнении с случаем применения горизонтальных корпусов равна:

$$L_т = L + \frac{B}{2}, \tag{6.19}$$

где L — расстояние между центрами опор; B — ход каретки; в случае применения корпусов:

$$L_т = L + B. \tag{6.20}$$

Следовательно, при проектировании МК с большими перемещениями подвижных звеньев более целесообразна конструкция, в которой тела качения перемещаются вместе с подвижной кареткой, что позволяет уменьшить ее длину. В то же время при условии защиты от проникновения смазки конструкция с телами качения неизменной формы оптимальна по габаритам. Поэтому такие направляющие при прочих равных условиях обеспечивают более высокую точность перемещения каретки.

Для определения скоростных режимов движения каретки *1* необходимо знать, какие коэффициенты трения точек должны обладать корпус *2* и направляющая *3* для того, чтобы между ними не было проскальзывания.

Условие равенства моментов (рис. 6.7):

$$F_1 \cdot d_ц = N \cdot 2f, \tag{6.21}$$

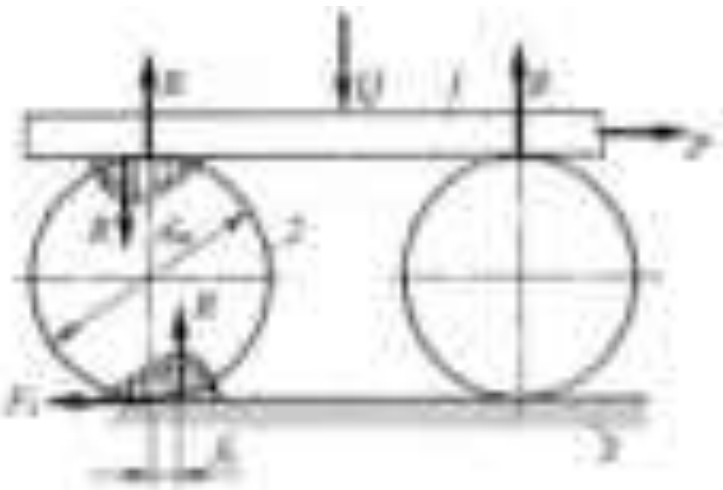


Рис. 6.7. Схема действующих на колесо сил

Плоскому скольжению $F_{тр} = f_0 \cdot R$, в отсутствие скольжения должно быть ограничение, то необходимо, чтобы коэффициент трения покоя и момент перехода в скольжение удовлетворял условию:

$$f_к = \frac{2f_0}{d_к}, \tag{6.22}$$

где f_0 — коэффициент трения качения.

Для направляющих качения отсутствие проскальзывания определяется по тем же формулам, что и для направляющих с трением скольжения, только вместо коэффициента f трения скольжения в формулы подставляют коэффициент $f_к$ трения качения.

Существенными факторами, оказывающими отрицательное влияние на работу направляющих качения, являются зазоры между копирующими поверхностями качения (поверхностями корпуса и основания). В открытых направляющих зазоры выбираются автоматически, а в закрытых требуется регулировка.

Конструктивная схема закрытой плоской направляющей с сепаратором 2, в которой регулировку зазора между корпусом 1 и кареткой 3 проводят при помощи перемещения одной или двух планок 4 с последующим их закреплением винтами 5, приведена на рис. 6.8.

В роликовых направляющих основной деталью является ролик, который может перекатываться по цилиндрической или плоской поверхности. В качестве ролика могут использоваться стандартные радиальные подшипники. В роликовых направляющих (рис. 6.9, *а*) ролики 1 перекатываются по цилиндрической поверхности 2.

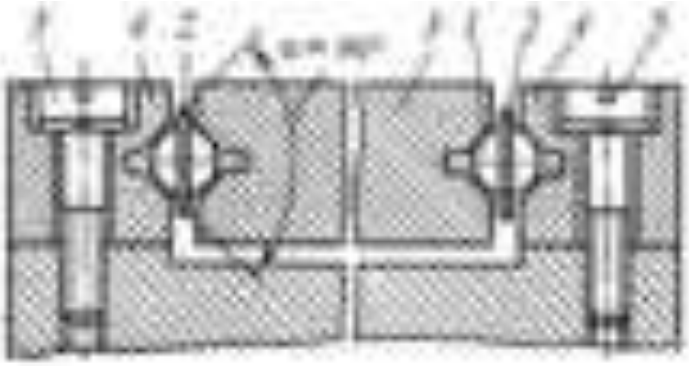


Рис. 6.8. Закрытая переходная направляющая

Для обеспечения контакта ролик с направляющими должен быть предусмотрен специальный регулировочный узел, один из вариантов которой показан на рис. 6.9, б. Ролик 4 укреплен на оси 1 с эксцентриситетом $e = 0{,}2\text{–}0{,}5$ мм. Окончательно гайки 2 и 3 закрепляют после регулирования положения ролика.

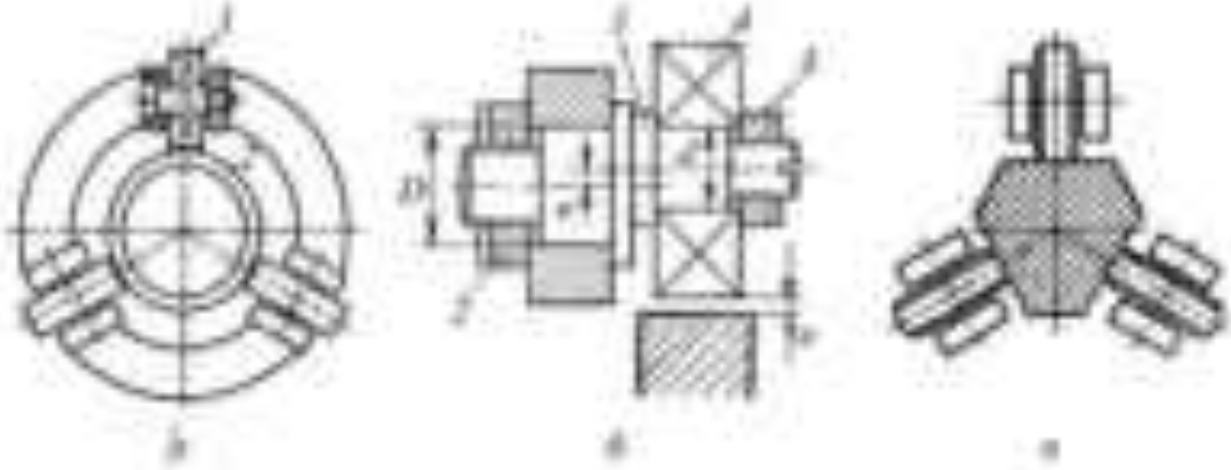
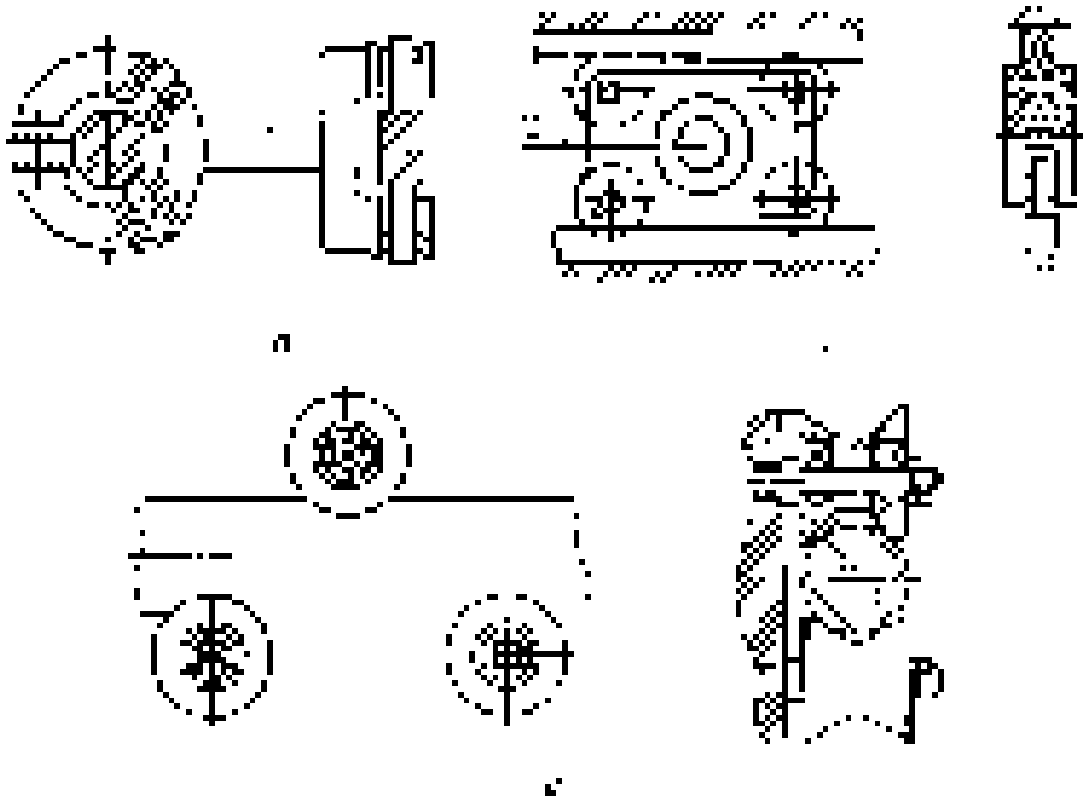


Рис. 6.9. Направляющие, в которых зазор устраняется специальным положением

Для направляющих (рис. 6.9, а) ролики с эксцентриковыми осями изображены, так как каждый ролик укрепляется в отдельной державке. Регулирование осуществляют за счет вращения державок в призмах постели и прижима с помощью двух крепежных винтов (на рис. 6.9 не показаны).

Конструктивные схемы роликовых направляющих закрытого типа приведены на рис. 6.10.

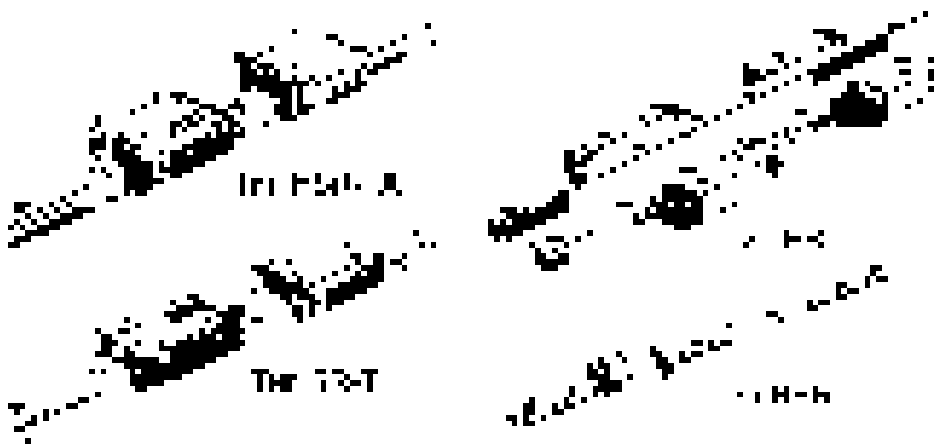
В последнее время применяют более экономичные подвесные направляющие линейного перемещения, которые уменьшают габаритные размеры конструкции, массу и общую стоимость МК.



[illegible]

[illegible]

[illegible]



[illegible]

Она представляет собой систему, состоящую из *2А* рельса *1* и *2А* блока *2*, между которыми расположены сепаратор *3*, находящийся в сепараторе *4* замкнутой клетки *5*, шариков *6* для подачи смазочных отверстий смазки и бумажного уплотнителя (на рис. 6.12 не показан). Четыре ряда шариков, расположенные под углом 45° к поверхностям качения *2А* рельса и *2А* блока, могут воспринимать нагрузку сверху, снизу, справа, слева. Радиусы r_1 кривизны поверхностей качения составляют 52–53 % диаметра $d_ш$ шарика, т.е. $r_1 = (0{,}52–0{,}53)d_ш$.

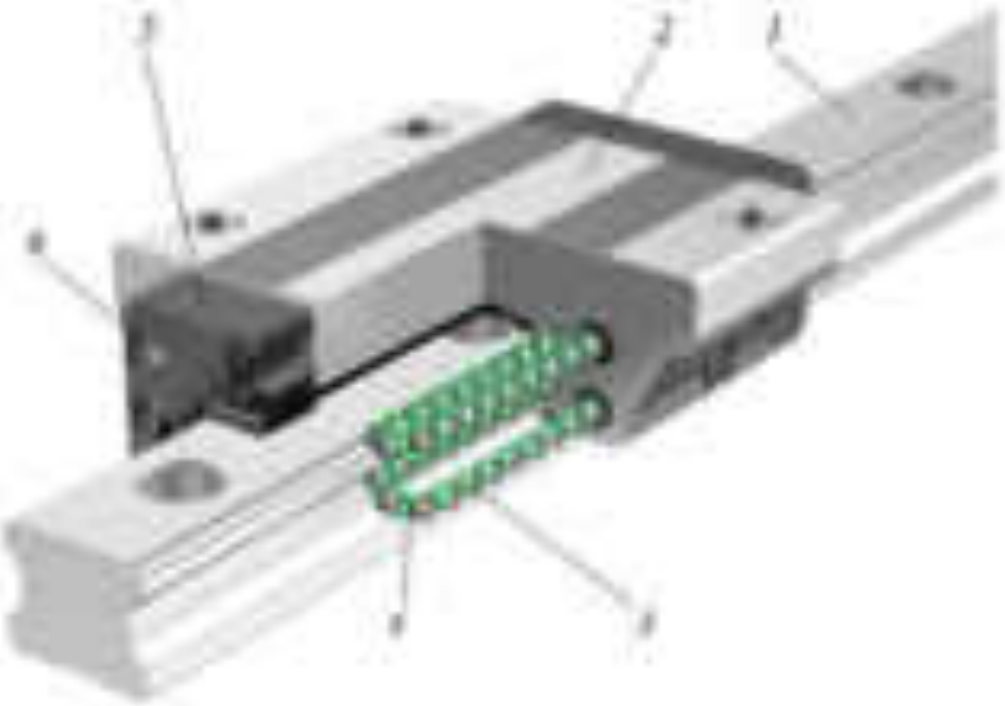


Рис. 6.12. *2А* направляющие типа *2СК*

Фирма 2SK выпускает широкую гамму движков типов по динамической грузоподъемности 0,5–187 кН.

6.5. ШАРИКОСПЛАЙНОВЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ

Шарикосплайновые направляющие (рис. 6.13) фирмы 2SK состоят из плавающего вала (сплайнвала) и направляющей гайки (сплайнгайки). В качестве примера рассмотрим устройство шарикосплайновой направляющей типа *LBS* (рис. 6.14).

Она состоит из сплайнвала *1* и сплайнгайки *2* с замкнутой канавкой *3*, между которыми расположены в сепараторе *4* пять рядов воспринимающих нагрузку шариков *5* и пять канавок *6* возврата шариков, расположенных в сплайнгайке, резиновых уплотнителя *7* и отверстия *8* для смазки.

Рис. 6.13. Шариковлайновые направляющие формы *ГОСТ*

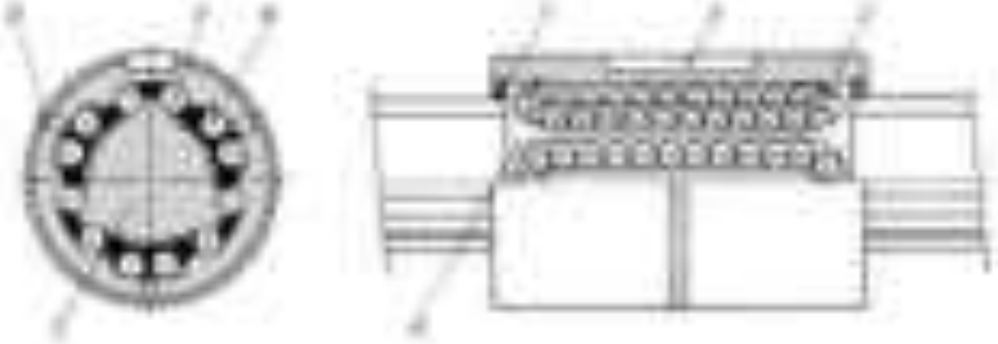


Рис. 6.14. Шариковлайновая направляющая типа *ГОСТ*

Шариковлайновая направляющая типа *ГОСТ* в отличие от *ГОСТ* имеет корпус с фланцем.

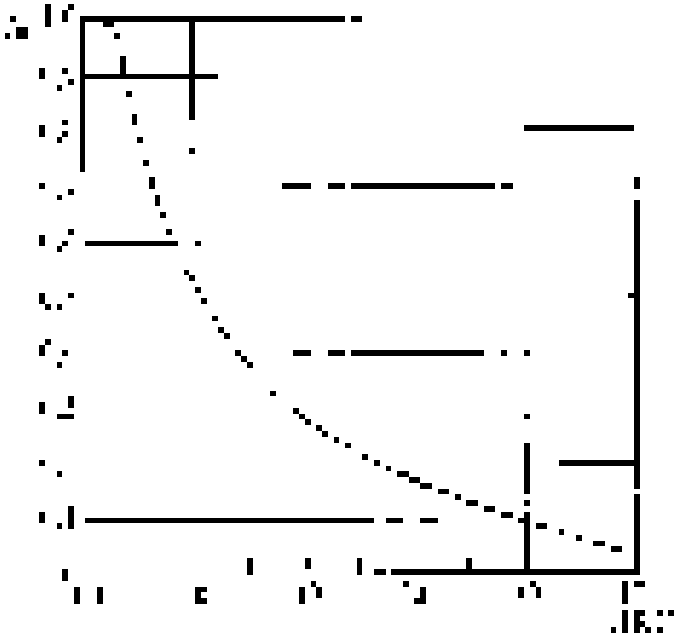
Шариковлайновая направляющая типа *ГОСТ* отличается от направляющих типа *ГОСТ* и типа *ГОСТ* формой сайки и устройством смазывания.

6.6. РАСЧЕТЫ ШМ- И ШАРИКОСТАЛЛАЙНОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ

6.6.1. Расчет ШМ-направляющих на долговечность

Расчет *ГОСТ*-направляющих на долговечность при действии неизменной нагрузки производят по формуле:

$$L = 50\left(\frac{K_d K_t K_c \cdot C}{K_n \quad R}\right)^3, \text{км}, \qquad (6.23)$$



– для ZM-направляющих типа $ШГ$:

$$P_э = XP_1 + YP_2, \tag{6.25}$$

где X и Y — коэффициенты эквивалентности (при $P_2/P_1 \geq 1$ коэффициенты эквивалентности равны $X = 1$ и $Y = 1,15$, и $P_э$ становится результирующей приведенной нагрузкой; при $P_2/P_1 < 1$ $X = 0,866$ и $Y = 1$, и $P_э$ является результирующей нагрузкой в горизонтальном направлении):

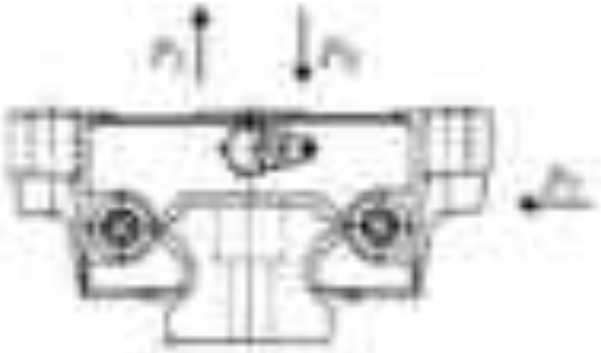


Рис. 6.14. Нагружение ZM-блок

Долговечность ZM-направляющих, выраженная в часах:

$$L_h = \frac{10^3 L}{120 M_c n}, \text{ ч}, \tag{6.26}$$

где L — длина перемещения ZM-блока по ZM-направляющей, м; n — частота возвратно-поступательных перемещений (ходов) в минуту, мин$^{-1}$.

6.6.2. Расчет шариковинтовой направляющей на долговечность

Расчет шариковинтовых направляющих на долговечность при действии полных крутящего момента проводят по формуле:

$$L = 30\left(\frac{f_H f_T f_C C_a}{f_W T_c}\right)^3, \text{ км}, \tag{6.27}$$

где L — долговечность работы направляющей, км; C_a — осевой номинальный динамический момент. Н; T_c — расчетный нагрузочный крутящий момент. Нм.

При действии реализованной нагрузки — по формуле (6.27).

При одновременном действии крутящего момента и радиальной силы определяют эквивалентную реализованную нагрузку P

$$P_э = P_r + \frac{4T \cdot 10^3}{kd_r \cos\alpha}, \qquad (6.28)$$

где d_r — диаметр окружности по центрам шариков, мм; $\alpha = 45°$ — угол контакта шариков с поверхностями винта и гайки.

В этом случае долговечность определяют по формуле:

$$L = 50\left(\frac{F_{ср} f_1 f_2}{f_м \quad P_э}\right)^3, \text{ мм} \qquad (6.29)$$

Долговечность работы шариковинтовых направляющих в часах определяют по формуле (6.26).

6.6.3. Расчет ШВ- и шарикосплайновых направляющих на статическую грузоподъемность

Расчет направляющих на статическую грузоподъемность проводят по формуле:

$$\frac{C_0}{P_0} \geq f_м, \qquad (6.30)$$

где C_0 — начальная статическая грузоподъемность, Н; P_0 — статическая нагрузка, Н; $f_м$ — статический коэффициент безопасности (при спокойной нагрузке и малом пробеге $f_м = 1,0–1,3$; при наличии ударных воздействий и высокой скорости $f_м = 2–3$).

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к направляющим ММС?

2. Перечислите основные виды направляющих.

3. В чем состоит преимущество и недостатки шарикового винта с трением качения по сравнению с направляющими с трением скольжения?

4. Какие материалы используются в парно-массажных?

5. Как устроена вакуум-массажная камера?

6. Какие виды спецодежды используются для выполнения электромонтажных работ?

7. Что такое переменные и постоянные напряжения?

8. Назначение инструмента, применяемого для монтажных работ.

9. Назначение инструмента, применяемого для монтажных работ.

7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

7.1. ДАТЧИКИ ИНФОРМАЦИИ

Датчик (первичный преобразователь) — элемент измерительных, сигнализирующих, регулирующих или управляющих устройств системы, предназначенный контролировать(-ую) величину (давление, температуру, массу, перемещение, скорость, напряжение, электрический ток и т.п.) в составе, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации, а также для воздействия на неё управляющим органом.

В состав датчика входит воспринимающий (чувствительный) орган и один или несколько (ряд) точных преобразователей. Часто датчик состоит только из одного воспринимающего органа (например, термопара, тензодатчик).

Используемые сигналы датчиков различают по роду энергии (электрические, механические, пневматические, гидравлические) и по характеру воздействия (потока энергии (сигнала)) (аналоговые, цифровые, частотные, фазовые, двоичные (релейные)). Наиболее распространены датчики, действие которых основано на изменении электрического сопротивления, емкости, индуктивности или взаимной индуктивности электрической цепи (реостатный датчик, емкостный датчик, индуктивный датчик), а также на возникновении ЭДС при воздействии контролируемых механических, акустических, тепловых, электрических, магнитных, оптических или радиационных величин (пьезодатчик, датчик перемещения, пьезоэлектрический датчик, датчик Холла, фотоэлемент).

В соответствии с классификацией, принятой в Государственной системе приборов и средств автоматизации (ГСП), датчик относят к техническим средствам сбора и первичной обработки контрольно-измерительной информации.

Датчики являются одним из основных элементов в устройствах системы измерений, позволяющих и осуществляющих регистрирование и сравнение, работающих и эксплуатируемых в составе различных приборов и измерительных устройств в биологии и медицине для контроля интересующего явления, величины или условий. В связи с автоматизацией производства важнейшее значение приобрели датчики для измерения и регистрации плотности и концентрации растворов, состава и свойств сплавов, химической активности и текучести различных сред, влажности, прозрачности, интенсивности окраски, толщины слоя, температуры, скорости, перемещения, нагрузок, усилий и других параметров, характеризующих технологические процессы. Для

того часто используют датчики, основанные на ультразвуковых, радиоволнах, оптических, радиационных и других методах измерений. Для некоторых реальных условий при выполнении систем автоматического регулирования и в исследовательской технике для решения задач статистического контроля применяют датчики случайных чисел.

Датчики служат для автоматического измерения информации. Современная измерительная техника может непосредственно оценивать более 300 различных физических, химических и других величин, но этого для автоматизации ряда новых областей человеческой деятельности пока недостаточно. Экономическая целесообразность расширения номенклатуры датчиков в ГПС для отработки унифицированной пользовательской системы. Чувствительные элементы, реагирующие на давление, звук, вес, скорость, ускорение, звук, свет, тепловое и радиоактивное излучение, применяют в датчиках для контроля загруженности роботов и их рабочих органов, качества обработки, счета выпуска изделий, контроля за их перемещением на конвейере, защитами и расходом материалов, оружием, инструментом и т.д. Выходные сигналы всех датчиков преобразуются в стандартные электрические или пневматические сигналы.

7.2. ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Датчики положения и перемещения относятся к наиболее часто используемым в мехатронных информационных устройствах. Невозможно представить область, где бы они не применялись. Датчики играют роль важного связующего звена между электронной и механической частями ММ.

Выбирая датчик, прежде всего необходимо принимать определенные требования по следующим критериям: чувствительность, разрешающая способность и точность, линейность, скорость измерения, условия применения и класс защиты, надежность, габаритные размеры, стоимость.

Необходимо учитывать, что датчик может определять абсолютное или относительное положение контролируемого объекта. Существуют два основных метода определения положения и измерения перемещений. При первом методе датчик вырабатывает сигнал, являющийся функцией положения одной из его частей, связанной с исследуемым объектом, и поэтому этот сигнал отображает перемещение. Такие датчики положения называют абсолютными. К ним относят:

- реостатные (потенциометрические) датчики;
- индуктивные датчики с магнитным сердечником.

– емкостные датчики с неподвижными обкладками;

– цифровые волновые датчики расстояния (уровня).

При первом методе датчик генерирует сигнальный импульс по каналу изменяется параметрами, а основанием определяет (измеряет) путем интервалов в зависимости от измеряемого параметра. Такие датчики называются импульсными. К ним относят фотоэлектрические (оптоэлектронные) импульсные датчики положения. Достоинством этого датчика, по сравнению с аналоговыми, является их простота и низкая стоимость, а недостатком — необходимость периодической калибровки и дополнительной аппаратно-программной обработки.

Датчики также делят на контактные и бесконтактные. В бесконтактном датчике связь между исследуемым объектом и датчиком осуществляется посредством магнитного, электромагнитного или электростатического полей, а также ультразвуковых волн.

Конструкция датчиков должна позволять размещать их в МИ в местах с ограничениями для установки оборудования объемом, обладать низкой потребляемой, т.е. потребляемой только в условиях электромагнитных полей, способной возрастать и частоты сети, а также устойчивостью к воздействию (удара, вибрации) и к изменению параметров окружающей среды (температуры, влажности и т.д.).

К наиболее простым датчикам положения, работающим по принципу «касание — высвобождение», относят предельные (конечные) выключатели, микропереключатели, бесконтактные переключатели, фотореле, герконы, путевые датчики связи. С их помощью возможно осуществлять контроль пути, пройденного выходным звеном МИ.

По виду выходного сигнала бывают основные датчики делят на аналоговые и цифровые. Развитие цифровых мехатронных систем заставило потребность в разработке цифровых датчиков, а также устройств сопряжения аналоговых датчиков с цифровыми устройствами. Выигрыш за достоинства цифровых датчиков (простое сопряжение с устройствами цифровой обработки информации, высокая точность, малозависимость сигнал самой малозначимого источника сигнала настоящего типа), применяемые их широко.

Датчики до настоящего времени электромеханическая аналоговые датчики не утратили положительных своих преимуществ в цифровых мехатронных системах. Это связано с такими достоинствами аналоговых датчиков, как высокая степень отработанности основных конструктивных элементов и узлов, высокие чувствительные качества сигнальных в работе, малые массы и габариты,

в таких с развитой техникой, применяющихся в разработке механических и полупроводниковых интегральных акселерометров (АИД) и высокочастотных (АЧП) преобразователей. К тому же полупроводниковые емкостные датчики электрического типа со встроенным преобразователем емкости в напряжение, а в ряде случаев и данные цифровых датчиков.

Для измерения датчика применения наиболее широкое применение в различных областях техники. В ММ часто используются интегральные датчики.

Потенциометрические датчики (потенциометры) по физическому принципу действия являются электромеханическими резистивными устройствами, в которых выходное напряжение изменяется пропорционально линейному или угловому перемещению входного звена. Потенциометры могут быть применимыми в измерениях. По рабочему диапазону датчики условно перемещения делят на линейные и вращательные. Применяемые потенциометры отличаются более высокой стабильностью характеристик, не ее точность и разрешающая способность ниже, чем у элементов ввода отличительной характеристики, обусловленной дискретным изменением сопротивления при перемещении щетки датчика. Кроме того, в качестве потенциометра можно сказать тройка, которую они имеют более длительный срок службы и допускают более высокие скорости перемещений.

К достоинствам потенциометрических датчиков относят высокую линейность, простую схему включения и относительно невысокую стоимость. Основные недостатки — наличие механического контакта и ограниченный ресурс работы при службы

Потенциометрический датчик имеет ограничений рабочий диапазон и появление допустимой скорости, потому что, как правило, ползунок либо с тензодатчиком, либо с применением на нем ММ. При соединении усилителя выход потенциометра и ММ, т.е. при выборе определенного отношения выходного преобразователя движения, необходимо выбрать такое значение рабочий диапазон углов поворота потенциометра, не превышая их предельных значений. Скорость вращения также должна быть меньше допустимой. Если потенциометр имеет механические упоры, ограничивающие значение углов поворота, то во избежание поломок запрещается прикладывать к его валу вращающий момент больше допустимого. Для обеспечения высокой точности измерений и надежной работы датчика сопротивление нагрузки потенциометра и электрического выхода должно быть согласованным, так как вообще приводит к нелинейности сигнала на выходе.

Высокий вид некоторых потенциометрических датчиков П111-1 и СП4-8 изображен на рис. 7.1, 7.2, а их технические характеристики приведены в табл. 7.1.

Рис. 7.1. Потенциометрический датчик ПТП-1

Рис. 7.2. Потенциометрический датчик СП4-8

Таблица 7.1

Технические характеристики потенциометров

Наименование характеристики	Тип датчика	
	Проволочный ПТП-1-1	Пленочный СП4-8
Мощность, Вт	1,0	0,5
Отклонение от линейности, %	±0,5	±0,5
Рабочий диапазон, град.	330	340
Разрешающая способность, об/мин	100	600
Момент трогания, $M \cdot 10^{-6}$, Н·м	245	–

Наименование характеристики	Тип датчика	
	Применяемый ДПЛ-11	Планируемый ГЛЛ-9
Срок службы, ч	1000	10000
Износостойкость, циклов	1·10⁷	10⁷
Масса, гг	0,050	0,005

Цифровые датчики положения еще более широко используются в различных областях техники, в частности в микроэлектронике.

Их делят на входные и импульсные. Входные датчики обеспечивают обратную связь системы «человек, т.е. оператор передает человеческие мышечные МЫ на пульт ручного управления перемещений, а импульсные датчики являются датчиками относительного счета.

Рычажные механизмы, устройства, приводящие действие в положение называются многими цифровых датчиков положения.

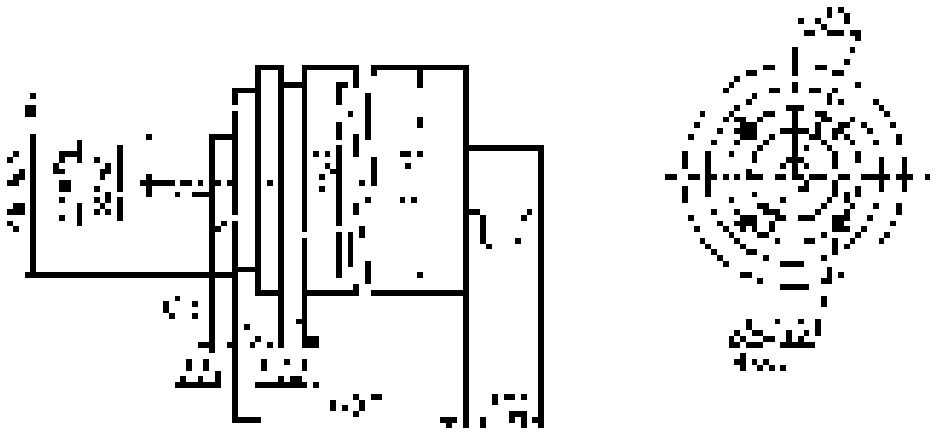
Фотоэлектрические датчики. Принцип действия фотоэлектрических датчиков основан на использовании физического эффекта зависимости проводимости в зависимости от падающего потока энергии. Эти датчики являются бесконтактными и дискретными.

В цифровых фотоэлектрических входных датчиках измерение перемещения звеньев узла поворота вала преобразуется в цифровой двоичный (реже двоичный) код, т.е. входную механическую электрическую связь. В таких видах связаны могут непосредственно поступать в ЭВМ без дополнительных преобразований.

Наибольшее распространение получили входные датчики, выполненные в виде вращающегося диска с фотоэлектрической (оптической) системой считывания. Диск устанавливают на вале датчика, который представляет собой стеклянное основание с нанесенной маской, состоящей из входных дорожек, число которых равно требуемому числу разрядов выходного кода. На дорожках чередующиеся прозрачные и непрозрачные участки, первые соответствуют «1», вторые — «0» двоичного кода. Следует отметить, что для устранения неоднозначности представления входного кода должно в соответствии с кодом Грея (двоичная входная), не могут быть использованы другие коды.

Кодовые датчики подобно потенциометрическим не допускают рабочего движения более чем на один и многооборотные. Они являются датчиками абсолютного счета.

Основное достоинство входных датчиков — их высокая разрешающая способность. К недостаткам следует отнести конструктивную сложность и трудоемкость.



Таблица

Технические характеристики ручного электрического инструмента типа ФЭИ-19

Наименование характеристики	Значение
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

[illegible]

[illegible]

и измерят только приращения перемещений (относительные измерения). Для устранения ошибок, вызванных износом, и выполнения абсолютного отсчета вводится синхронизирующий импульс (метка-импульс), который создается в третий канал при каждом проходе через отсчетное положение датчика. Для определения начала отсчета необходимо применение специальных системных решений и дополнительных калиброванных датчиков, например потенциометров, точных механических упоров с элементами выключателями, реле и т.п. Отмеченная неполнота импульсных датчиков является ограничением способности. Импульсные датчики по сравнению с кодовыми имеют более простую конструкцию, не требуют специальных согласователей и калибровки.

При выборе импульсного датчика необходимо учитывать предельную скорость вращения вала и требуемую точность позиционирования выходного звена ММ.

Соединение вала импульсного датчика и ММ производят с помощью специальных соединительных муфт или беззазорного кинематического преобразователя движения.

К фотоимпульсным датчикам перемещений относят преобразователи линейных и угловых перемещений ЛИР (рис. 7.4), выпускаемые Санкт-Петербургским специальным конструкторским бюро станочных информационно-измерительных систем (СКБ ИС). Они предназначены для различных моделей металлорежущих станков и обрабатывающих центров, поворотных систем, приборов, роботизированных комплексов, технологических установок, координатных систем и т.п.

Научная фотография изображающего комплекса

Рис. 7.4. Датчик ЛИР-158А

Принцип действия преобразовательной периферийной ЛПУ основан на формировании сканирующих строчных растров. В качестве чувствительной элементов информационных сигналов, в применяемом изделии служат применяемые фотодиоды.

Максимальный размер преобразуемых входных переменных — 3 220 мм, условных — неограниченно.

Для приема и обработки измерительных сигналов, поступающих от внешних преобразовательных входных и условных переменных, и осуществления вычислительных по цифровым кодам полученной информации применяется измерительная цифровая система (УЦИ).

УЦИ могут быть использованы в качестве составляющих элементов функциональных изделий в системе информационно-измерительных систем различных классов и приборов при измерении и контроле параметров переменных.

Применение цифровых систем вместо аналоговых систем показаний позволяет более просто решать проблемы снижения погрешности, повышает надежность, позволяет применять контроль без остановки технологического процесса и без периодического измерения размеров обработанных деталей с помощью универсальных измерительных средств.

В состав комплектации УЦИ, выпускаемых СКБ ИС, входит вариант регистрирующей измерительной с кодом ЙЦП, позволяющий осуществлять как универсальное, так и специализированное программное обеспечение. Специализированная программа фирмы *Newlett Packard* обеспечивает хранение и дальнейшую выдачу информации.

Возможность подключения к УЦИ вычислительных машин ЙУ-232 и различных сетевых вычислительных комплексов позволяет взаимодействовать УЦИ с другими устройствами.

УЦИ выпускаются различных типов, различающихся по работе с осями, двумя или тремя преобразователями, способами определения контролируемых параметров деталей, двух или трех осей соответственно.

СКБ ИС выпускает преобразователи по линии функционирования выпускаются УЦИ серий ЛИР-5110М (рис. 7.5), ЛИР-520, ЛИР-530. Базовый набор функций этой серии УЦИ включает:

– обнуление текущего значения в любой точке измерительного перемещения;

– запоминание и вывод на индикацию рабочего органа отсчета положения измерительной шкалы преобразователя;

– работу в приращениях.

Рис. 7.1. Устройство цифровой окончания ВИ-7150

Включая в себя весь математический набор функций, это устройство обладает способностью вырабатывать в соответствии с заданием управляющие сигналы, выполняя тем самым не только математические функции, но и функции управления.

Для приема внешних сигналов от различных реле путевых выключателей или исполнительных органов управления в УЦИ предусмотрен условный выключатель применения внешнего сигнала.

Использование подобных систем связано с требованием конструкторских технологических процессов сразу после подачи питающего напряжения определить точное положение рабочих органов в пространстве без каких-либо перемещений.

Все УЦИ выпускают с фиксированной разрешающей способностью (дискретностью). Это означает, что дискретная способность подключаемого преобразователя должна соответствовать разрешающей способности для входного сигнала УЦИ и не изменяться в процессе эксплуатации.

Вращающиеся трансформаторы (ВТ) представляют собой электрические двухполюсные машины переменного тока, выходное напряжение которых зависит от угла поворота ротора. Характер этой зависимости определяется конструкцией и схемой включения обмоток ВТ.

Применяются трансформаторы (рис. 7.6, *а*) имеют по две одинаковые обмотки возбуждения первые первичные обмотки (возбуждения и квадратурные) и вторичные (синусную и косинусную). Существуют синусно-косинусные вра-

применяются трансформаторы (СКВТ) с компенсационными обмотками обратной связи, которые предназначены для компенсации основных и дополнительных погрешностей (рис. 7.6, б).

Основные погрешности возникают в нормальных условиях и обусловлены принципом работы ВТ, конструктивными и технологическими причинами. Дополнительные погрешности возникают при изменении температуры окружающей среды, амплитуды и частоты питающего напряжения.

В зависимости от расположения обмоток возбуждения ВТ могут быть с питанием со стороны статора или ротора и с напряжением возбуждения постоянной или переменной амплитуды.

По характеру показаний ВТ могут быть контактными и бесконтактными. Главным техническим показателем ВТ является точность выполнения им функциональных преобразований.

а *б*

Рис. 7.6. Приборы для измерения углов поворота:
а — трансформатор ВТ-1;
б — синусно-косинусный вращающийся трансформатор СКВТ-1

В МБС применяют двухполюсные и многополюсные вращающиеся трансформаторы, работающие в режимах синусно-косинусных линейных, формирования, достижимой передачи угла.

На основе синусно-косинусных ВТ в качестве датчиков углового положения используют устройства, называемые фазовращателями, которые обеспечивают линейное изменение фазы выходного напряжения как функции угла поворота ротора.

Применяется закон неочевидных пространственных трансформаций, который имеет большое число пар P позиций. В зависимости от конструктивных особенностей их подразделяют на роторные и индукторные.

При работе роторного фазо-импульсного датчика зависит от угла поворота ротора. За один период изменения напряжения датчик питания может генерировать от угла $2\pi/P$ (а не на 2π, как у ПТ). Следовательно, при повороте ротора на угол $2\pi/P$ фаза выходного сигнала изменяется на угол 2π. Поэтому как роторные с большим числом пар P основное значение не имеют случаи применять их без понижающего механического преобразователя.

Ротор может использоваться конструкции, обычно его выполняют из одного с валом двигателя.

Угловая погрешность некоторых роторных не превышает 1°.

Индукторные — многополюсные ПТ с питанием обмотки, намотанной по периферийным отделениям. Для контроля магнитопровод установлен в линейных перемещений в МИ применяют круглые и линейные индукторы.

Круглые индукторы представляют собой электрическую конструкцию из плоской конструкции с зубцами постоянного сечения, на которых расположены катушки обмотки. Один из зубцов сделан с целью осевого магнитопровода (ротор), а второй неподвижен (статор). Обмотка выполняет однофазной и многофазной. Чаще всего применяют индукторы с четырехзубцовой однофазной обмоткой на статоре и двухфазной симметричной обмоткой на роторе.

В режиме функционирования питание обмотки возбуждения осуществляется переменным напряжением с частотой 10–100 кГц, совмещенным по фазе на 90°.

Погрешность преобразования круглого индуктора не превышает 5°.

Линейный индуктосин по принципу действия аналогичен круговому. Он включает из длинной линейки, установленной на неподвижной части МИ и имеющей одинаковую многополюсную обмотку, и короткой головки считывания (электронный полюс), установленной на подвижном элементе модуля. Обмотка короткой головки — двухфазная, со сдвигом фазы на 90°. Один полюс обмотки составляет обычно 2 мм, длина головки 100 мм, а длина линейки 250 мм. Для перемещений более 250 мм линейки стыкуют по торцам, образуя наборную.

Погрешность линейного индуктосина составляет 0,001–0,002 мм.

Индуктосины используют в отдельных исполнениях и встраивают прямо внутрь в конструкцию МИ.

7.3. ДАТЧИКИ СКОРОСТИ

Датчики скорости предназначены для получения в ММ сигнала обратной связи по скорости, которая является корректирующей обратной связью, обеспечивающей устойчивость работы ММ. Выходные характеристики датчиков скорости не предъявляют таких жестких требований по линейности и точности, как к датчикам положения. Они должны иметь хорошую чувствительность, особенно при малых скоростях.

Для получения сигнала по скорости в некоторых случаях могут быть использованы импульсные датчики, рассмотренные выше. В этом случае ММ должен дополнительно содержать преобразователь частоты импульсов в скоростной сигнал. Точность получаемой скоростной связи таких способом зависит от числа импульсов на оборот вала. Таким образом, использование в системе числовых датчиков положения позволяет получать два сигнала: по положению и по скорости, что упрощает конструкцию ММ.

Для получения сигнала только по скорости используются специальные датчики скорости — тахогенераторы и фотоимпульсные датчики скорости.

Тахогенераторы представляют собой электрические микромашины, выходное напряжение которых пропорционально угловой скорости вращения ротора. В зависимости от принципа действия тахогенераторы делят на три группы: тахогенераторы постоянного тока, асинхронные и синхронные. Тип тахогенератора выбирают в зависимости от требований точности, линейности скоростной характеристики, допустимых колебаний частоты пульсации напряжения, условий эксплуатации, надежности, габаритных размеров, массы.

В ММ с коллекторными двигателями постоянного тока, как правило, применяют коллекторные тахогенераторы постоянного тока. В малогабаритных следящих асинхронных и синхронных приводах, применяемых на первом и западноевропейских судах, используют бесконтактные асинхронные и синхронные тахогенераторы.

В качестве тахогенератора постоянного тока (ТГП) применяют двухполюсные микромашины постоянного тока с электромагнитным и магнитоэлектрическим возбуждением. Конструкция ТГП должна

Коллекторный генератор постоянного тока ТГП-1А с зубцовым ротором изображен на рис. 7.7, встраиваемый тахогенератор ТГП-80Б-Д1-02 — на рис. 7.8.

Асинхронный тахогенератор представляет собой двухфазную электрическую микромашину с полым немагнитным ротором. На статоре расположены две обмотки: возбуждения и генераторная.

Рис. 7.7. Тахогенератор ТГ-2Н-02

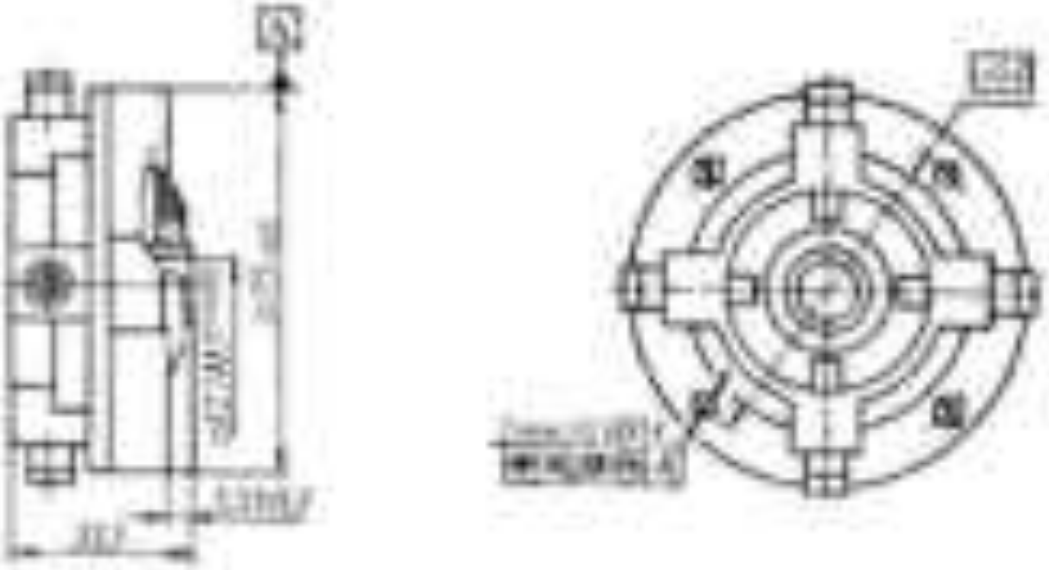


Рис. 7.8. Тахогенератор ТГП-1 (ТГП-1А)

Асинхронный однофазный тахогенератор ТГ-А-310 с полым немагнитным ротором и перпендикулярно намагничивающейся высокого напряжения представлен на рис. 7.9.

Электрический сигнал тахогенератора находится в прямой зависимости от частоты вращения вала. Поэтому его устанавливают на быстроходном валу ММ либо непосредственно на валу двигателя, либо соединяют с ним при помощи кинематического преобразователя движения. При согласовании частот вращения валов тахогенератора и двигателя необходимо помнить, что использовать рабочий диапазон частот вращения тахогенератора, не превышая при этом его наибольшей частоты вращения. Соединение валов двигателя и тахогенератора должно быть беззазорным, так как люфт приводит к искажению скоростного сигнала.

Рис. 7.9. Тахогенератор ТГ-Н4

Как правило, все тахогенераторы представляют собой электрические микромашины, выполненные в виде законченных конструктивных узлов, но также могут иметь встраиваемое исполнение. Встраиваемый тахогенератор устанавливают непосредственно на вал, а его корпус скрепляют с корпусом двигателя. Кроме того, двигатели некоторых серий initially в своем составе встроенный тахогенератор, например двигатели серий ДПМ, ДП, ДПУ, ПЯ.

Фотоимпульсный датчик скорости представляет собой устройство, состоящее из источника излучения (светодиода), фотоприемника (фотодиода) и подвижного элемента — диска или линейки — с равномерно распределенными на нем отверстиями или прорезями. Диск или линейку крепят на исполнительном элементе ММ.

В фотоимпульсном датчике условной скорости (рис. 7.10) световой поток от источника излучения 1, проходя через отверстия или прорези в диске 2, попадает на чувствительную поверхность фотоприемника 3, генерируя в цепи электрические импульсы с частотой

$$f = \frac{n}{t}, \ \Gamma\text{ц}, \qquad (7.1)$$

где n — число импульсов; t — время перемещения подвижного элемента — диска (при линейном перемещении — линейки), с.

Угловую скорость диска в соответствии с ним на которое он закреплен определяется в виде:

$$\omega = \varphi f = \frac{2\pi f}{N}, \text{ рад/с}, \qquad (7.2)$$

где φ — величина одного импульса, рад; N — число отверстий или прорезей вдоль окружности диска, расположенных на окружности радиусом r.

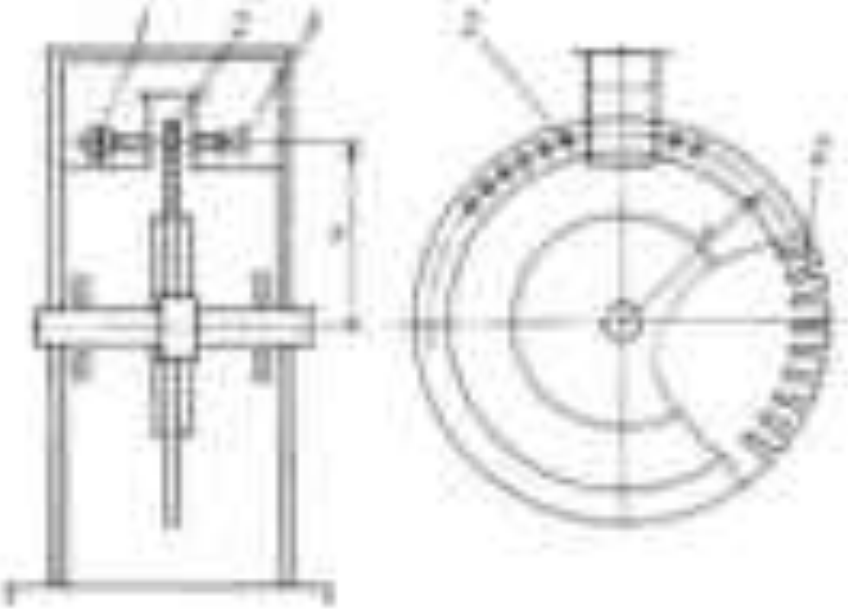


Рис. 7.10. Фотоимпульсный датчик угловой скорости

В фотоимпульсном датчике линейной скорости, содержащем линейку с равномерно распределенными на ней отверстиями или прорезями, частоту генерируемых в фотоприемнике электрических импульсов определяют по приведенной выше формуле.

Линейную скорость линейки и поступательно перемещающегося элемента MM_1, с которым она скреплена, определяют в виде:

$$v = \beta f = \frac{\lambda f}{N}, \qquad (7.3)$$

где β — величина одного импульса, м; λ — длина линейки, м.

Рассмотренные фотоимпульсные датчики скорости можно использовать и для определения перемещений подвижного звена.

При применении (формула 7.4) и неприменении (формула 7.5) давление пока переключения можно определить так:

$$q = \frac{2\alpha_{\text{пр}}}{\beta}, \text{ мм;} \qquad (7.4)$$

$$\beta = \frac{\Delta P}{\Delta h}, \text{ м} \qquad (7.5)$$

7.4. РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ И МАНОМЕТРЫ

Реле давления автоматически контролирует величину давления жидкости и сигнализирует гидравлическую ММ, подавая электрический сигнал при повышении или понижении давления по сравнению с величиной, на которую настроено реле.

Типичным случаем применения реле давления является включение или в цепочной линии перед гидравлическим насосом. Реле регулируют на давление, на 0,3–0,5 МПа меньше максимально допустимого. При включении гидронасоса гидравлическое реле включает сигнальную лампу на пульте управления. Отключение подачи электрического сигнала от реле в цепь управления гидроприводом, что позволяет оперативно реагировать на перегрузку установкой или регулированием гидронасоса.

Основные элементы реле: контактная часть, например, в реле ПГ62-11 или мембрана (в реле ГК2-21М), на которую непосредственно воздействуют рабочая жидкость, пружина, головкой или подвижной опорой задают контрольное давление срабатывания, под воздействием контактная или мембрана создает электрический сигнал.

Основные параметры реле давления ПГ62-11 и ГК2-21М приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Основные параметры реле давления ПГ62-11 и ГК2-21М

Параметр	ПГ 62-11	ПДГ-42-11	ВПГ-42-11	ГПР 44-14	ГК2-21М
Контрольное давление, МПа	0,6–7	0,8–10	1–25	3–35	0,5–6,4
Интенсивность, МПа	0,3	1,0	1,5		0,3

Параметр	ДМ-1-1	ДМ-1-2	ДМ-2-1	ДМ-2-2	ДМ-3
Уголь, ан., не более	0,01	0,02	0,05		—
Масса, кг	5,0				1,5

В качестве чувствительного элемента в большинстве типов манометров (деповое давление жидкости в гидроприводах МКП) используется тонкостенная изогнутая трубка (так называемая трубка Бурдона). При действии давления измеряемой в ней жидкости трубка распрямляется, перемещая связанное с ней посредством трансформатора перемещения и пропорциональный электрический сигнал (ригель) пропорциональный к единицам давления.

Манометры имеют следующие классы точности: 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4. Под классом точности понимают отношение наибольшей допустимой ошибки измерения к верхнему пределу измерения манометра, выраженное в процентах. Например, для манометра класса точности 2,5 с верхним пределом измерений 40 МПа наибольшая допустимая ошибка при измерении по верхнему пределу измерения 1 МПа.

В табл. 7.4 приведены параметры стандартных манометров на давление от 2,5 МПа до 100 МПа.

Таблица 7.4

Манометры на давления 2,5–100 МПа

Диаметр корпуса, мм	Класс точности	Верхний предел измерений, МПа								
		2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
60	1,5; 2,5; 4	+							+	
100	1; 1,5; 2,5	+								—
160	0,6; 1; 1,5	+								
250	0,4	+								—

7.5. ДИНАМОМЕТРЫ

Динамометры применяются в МКП в качестве силовой нагрузки. В настоящее время используются гидравлические тормозные устройства на различных видах нагружения (по сжатию, на растяжение, универсальные), и регенеративной схемой преобразования в энергию МКП и возвратом энергии.

Чувствительным элементом динамометра является тензометр, регистрирующий деформацию поверхности измерительного упругого элемента.

В зависимости от назначения, места расположения МИГ и структуры измерительной системы может быть подобран датчик с блочной передачей информации, такой как, например, показанный на рис. 7.11 динамометр [illegible] с радиоканалом и RS232 интерфейсом (Компания «Группа Компаний», г. Москва).

Рис. 7.11. Динамометр [illegible]

Ряд электронных динамометров семейства ДОС-3-Н включает в себя приборы с наибольшими пределами измеряемой нагрузки от 0,1 кН до 2 000 кН, причем дискретность отсчетного устройства для динамометра ДОС-3-0010(1) на 0,1 кН равна 0,05 Н, а для динамометра ДОС-3-2000Н(0) на 2 000 кН — 500 Н (Метроприбор, г. Санкт-Петербург).

Типовой из нижней ряда динамометров семейства ЭЦДС-Н (Электроприбор, г. С-Петербург). Точность измерений весьма высокая. Так, цена деления динамометра ЭЦДС-010Н-1 на 0,1 кН составляет 0,005 Н. В табл. 7.3 указаны основные характеристики динамометра ЭЦДС-2000ЭН-1.

Таблица 7.3

Технические характеристики динамометра ЭЦДС-2000ЭН-1

Параметр	Значение
Верхний предел измерения, кН	2 000
Цена деления, Н	100
Время отклика, с	0,3
Относительная суммарная погрешность цепи прибора первого класса, %	0,25
Конечная погрешность, %	1,0

Параметр	Значение
Максимально допустимая напряжение, %	300
Размеры, мм: длина ширина	 300 120

Контрольные вопросы

1. Какие устройства называются датчиками?
2. Какие задачи решают датчики в МЭС?
3. Что такое линейные датчики перемещений? Что такое угловые датчики перемещений?
4. В чем заключается принцип работы тензометров?
5. Назовите принцип работы фотоэлектрических датчиков уровней жидкости.
6. Какие устройства используются для измерения давления и разрежения?
7. Что является чувствительным элементом в анемометре ДЕМС-3-01?

8. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основу методики проектирования ММ положен принцип конструктивно-технологической иерархии. Задача конструктора при совершенствовании интегрирования системы в том, чтобы не просто связать отдельные части в систему с помощью связей, ограничений и преобразований, но сделать конструктивные связи и интеграционные модули взаимодействующими и скоординированными. Большинство основных решений в мехатронике базируется скорее на технологии сплава и интеграции, чем на научной методологии. Действия конструктора можно характеризовать основными операциями «интеграционного проектирования», которые представляют конструктивную интеграцию «понятия модуля в единую структуру».

Принятый подход к проектированию ММ предполагает комплексный анализ функциональной, структурной и конструктивной сложности устройства. Цикл проектирования ММ является преобразованием исходных требований в конструкторские решения и технологическую документацию, по которой может быть изготовлен модуль, удовлетворяющий сформулированным показателям качества. Новые рассматриваемые в основном показатели технологичности при выборе структуры и конструкции ММ следует также учитывать экономическую и эксплуатационные оценки качества.

Алгоритм проектирования ММ представлен на рис. 8.1.

Данный алгоритм предусматривает три основных этапа проектирования — последовательно выполняемые функциональный, структурный и конструктивный анализ и синтез ММ. Применение процедуры функционально-структурного и структурно-конструктивного анализа разработчик оставляет принципиальные решения, строить добиться высокого уровня совершенствования интеграции элементов. Для выполнения методик автоматизированного проектирования формируют взаимосвязанные функциональную (F-модель), структурную (S-модель) и конструкторскую (C-модель) модели ММ.

Конструирование ММ включает три основных этапа:

– выбор перечня структурных решений модуля (и его основной функции) и их функционально-структурный анализ (анализ информации для этого этапа проектирования является F-модель, а на выходе формируется S-модель ММ);

– структурно-конструктивный анализ конструкторских решений и построение C-модели ММ;

– конструкторская доработка выбранного варианта модуля и разработка конструкторской документации.

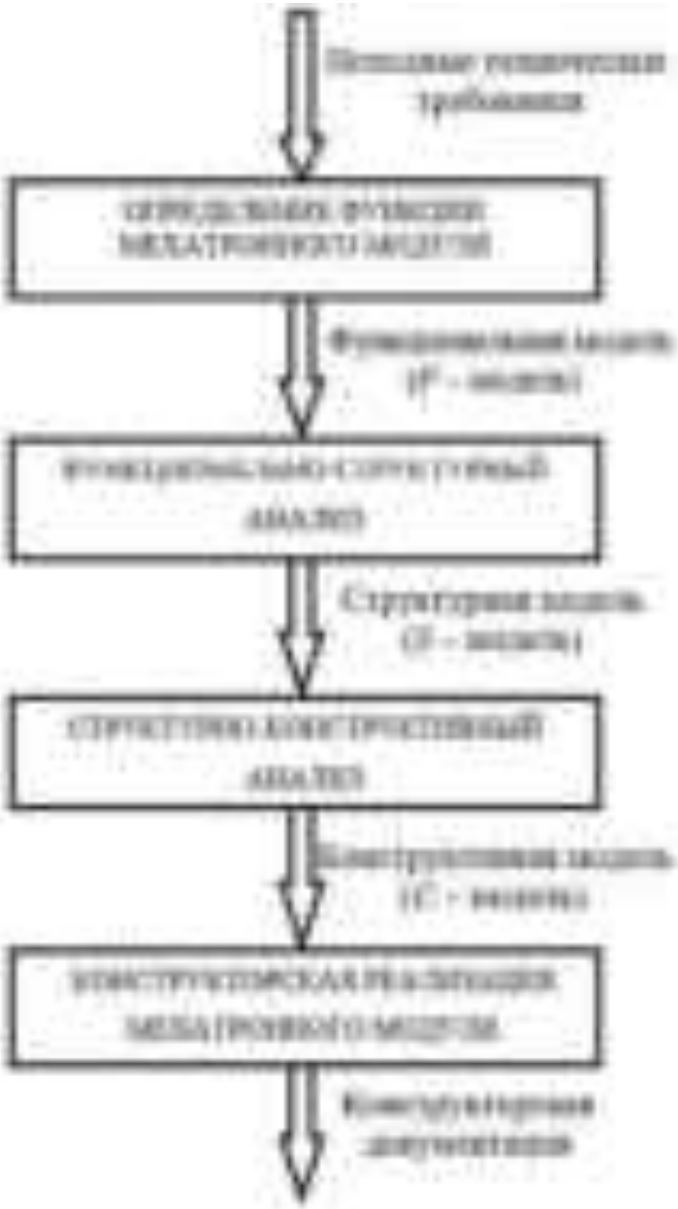


Рис 0.1. Алгоритм проектирования мехатронного модуля

Таким образом, задача проектирования ММ заключается в нахождении наилучшего соответствия между заданной функцией и конструктивным исполнением.

Ключевой методологической идеей данного подхода является принцип функционирования над ее структурой организационной и конструктивных решений. В ММ заданные функциональные преобразования могут быть реализованы несколькими наборами структурных блоков, а эти блоки, в свою очередь, могут иметь различное конструкторское исполнение. Таким образом, при проектировании модуля его структура и конструктивное решение являются подчиненными по отношению к заданной функции.

8.2. ФУНКЦИЯ И СТРУКТУРА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

Известны два основных подхода к построению модулей сложных технических систем. Первый заключается в функциональном определении расширений системы через ее поведение по отношению к внешним объектам и внешней среде. Второй подход основан на структурном описании состава системы и связей между ее элементами. Целесообразно в описании основных свойств мехатронных функциональных и структурных систем видеть в основе функционально-структурного анализа, который составляет первую часть проектирования ММ (рис. 8.1).

На первом этапе происходит функциональный синтез ММ, результатом которого является построение функциональной модели.

Основная функциональная задача ММ заключается в преобразовании информации о внутренних движениях и целенаправленном управлении движениями выходного звена.

Внутренние движения могут быть целью управляющих воздействий или набору команд нижнего уровня или, в случае двухуровневого управления, находиться в замкнутом человеко-машинного интерфейса. Управление движением осуществляется мехатронной подсистемой ММ, в его контурах звено взаимодействует с объектами внешней среды. Внешние воздействия должны эффективно отражаться ММ в процессе движения. Информационная обратная связь необходима для оценки текущего состояния ММ как объекта управления и внешней среды в режиме реального времени.

Обозначенная основная функция не является единственной. Некоторые дополнительные функции — реализация связи, обмен сигналами и информацией с другими технологическими оборудованиями, комплементарность — также должны быть заложены для эффективной и надежной работы ММ. Выполнение технологических функциональных движений является основной мехатронной функцией, так как механические составляющие взаимодействуют с объектами работ и таким образом определяют технологию модуля и внешней среды.

В общем случае функционирование модуля можно представить как информационно-механическое преобразование.

Для физической реализации мехатронного информационно-механического преобразования выполнен комплекс электрических приводов. Пусть ММ имеет электрический привод. Тогда, очевидно, требуется включение такого привода. Двухкоординатное электромеханическое преобразование дает *P*-модель ММ (рис. 8.2).

Рис. 4.2. Функциональная модель мехатронного модуля

Получаемый *i*-й сигнал в общем случае содержит семь базовых функциональных преобразований, связанных энергетическими и информационными потоками.

Следует отметить, что электрическая энергия является только промежуточной энергетической формой между входной информацией и выходным механическим движением. Следовательно, электрическая подсистема отвечает является известному звеньями для выполнения мехатронной функции. Другие виды энергетических процессов (в частности, гидроэнергетические) также могут быть использованы для промежуточных преобразований и должны рассматриваться как альтернативные варианты на этапе концептуального проектирования. Выбор разработчиком ММ физической природы промежуточного преобразователя определяется комплексом технической реализации, используемыми требованиями и особенностями его применения. В современной инженерной практике гидравлические, пневматические, химические и другие виды энергетических преобразований применяются достаточно широко.

Итак, в любом ММ необходимо реализовать семь функциональных преобразований (рис. 4.2). Три из них называются *информационными* (информационный, электрический и человеческий преобразователи), так как входные и выходные переменные имеют одну и ту же физическую природу. Остальные четыре являются *силовыми* (двигательными), так как в них входные и выходные переменные принадлежат различным физическим видам. К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи функциональной модели, и первичный сенсор информационный и человеко-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

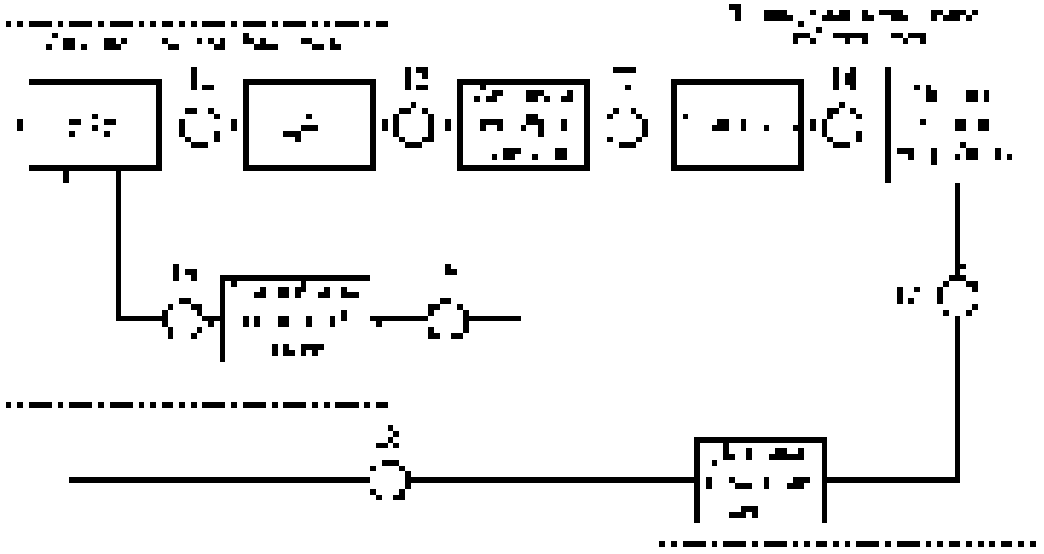


Рис. 3.1. Структурная схема информационно-измерительной системы

– цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), реализующий функции информационно-измерительного преобразователя;

– устройство обратной связи, которое используется для контроля текущих перемещений и сил в рабочем органе, а также управляющих функций (например, для организации контура регулирования момента, реализующего принцип);

– датчики обратной связи по положению и скорости движения (иногда и силы механических устройств), выполняющие функции информационного преобразователя;

– компьютерное устройство управления движением, функционирующее по данной методике является информационно-измерительным преобразователем (обработка цифровых сигналов, цифровая регулирование, расчет управляющих воздействий, обмен данными с периферийными устройствами).

– интерфейсные устройства, обеспечивающие согласование *П, Л*).

В зависимости от физической природы сигналов и выполняемых ими функций интерфейсные блоки могут быть как механическими преобразователями движения, так и создавать электронно-программные компоненты. Примерами механических интерфейсов являются зацепления и соединения, связывающие выходное исполнительное устройство с движением (интерфейс *Л*) и датчиками обратной связи (интерфейсы *Л*, *Л*).

Интерфейсные электронные устройства расположены на входе и выходе устройства внешнего управления (УВУ) и предназначены для согласования их с внутренней структурой мехатронного модуля:

– цифро-аналоговый преобразователь (внутренний интерфейс *Л*) и аналого-цифровой преобразователь входа (интерфейс *Л*);

– датчиковая обратной связи (интерфейс *Л*), в случае применения сетевого и аналогового выходов связи соответствующие интерфейсы строятся на основе аналого-цифровых преобразователей (АЦП);

– устройствами обратной связи для контроля уровня электрических сигналов и напряжений в системе преобразователя (для согласования уровня интерфейс *Л*) также используется специальный АЦП).

8.3. СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЯХ

Сравнение функциональной модели МИМ (рис. 8.2) и структурной модели традиционного электропривода (рис. 8.1), можно сделать вывод о том, что основные изменения затронули интерфейсные блоки и структуру электропре-

вида сигнатурами признаков часто необходимых функциональных преобразований. Другими словами, можно говорить о сигнатурной обработке данных. Понятие событийных данных вместе с совокупностью недостатков и точности технической системы, условимся не выделять и отнесем к показателям. Поэтому целесообразно считаться с определенно возможным сокращением структуры понятия (как основных, так и интерфейсных данных) в системе. В идеальном для исполнителя варианте (см. рис. 8.2, причем на информационный поиск признаку данных, должен выполнять целенаправленно управляемое данными с заданием начальных качеств. При этом все признаки интегрируют в виде заданных свойств, построенных и управляемых устройств должны быть решены разработчиком для всех стадий жизненного цикла, начиная от стадии проектирования системы и заканчивая ее эксплуатацией у конечного потребителя.

Синергетическая интеграция сигналов при проектировании ММ основана на трех базовых принципах:

– расширение основных функциональных преобразований элементных базовых структур в конструктивных блоков путем объединения двух и более сигналов в единый многофункциональный модуль;

– выбор интерфейсов в качестве локальных точек интеграции и дальнейшие избыточных структурных блоков и интерфейсов как совокупных элементов;

– перераспределение функциональной нагрузки в ММ от аппаратных блоков к интеллектуальным (встроенным в компьютерным) вычислениям.

Практическая реализация принципов синергетической интеграции при проектировании позволяет обеспечить главные преимущества ММ по сравнению с традиционными подходами и добиться качественно новых показателей, в первую очередь по минимизации конструкции, массы и точности движений. Связь с аппаратной («жесткой») части системы функциональной нагрузки и ее перевод на управляющую и настроечную подсистемы придает ММ свойства гибкости, делает его способным к легкому приспособлению для решения новых технологических задач. Следует заметить, что интеграция предполагает не только аппаратное объединение элементов, но и организацию интегрированных информационных процессов в ИММ.

Синергетическая интеграция и пространственная оптимизация при проектировании другой основной особенности — функциональных структурной интеграцией и структурно-конструктивной интеграцией, которые объединяют в общий алгоритм проектирования ММ.

Задачей этапа функционально-модульной интеграции (ФС-интеграции) является поиск некоторой структуры, реализующей заданное функциональное преобразование с заданным минимальным количеством структурных блоков. ФС-интеграция направлена на выбор проектных решений, которые обеспечивают включение некоторых основных блоков, а значит, и умолчаний о типе интерфейсов их структурных связей.

Примеры типичных проектных решений, основанных на схеме ФС-интеграции типовых, приведены в табл. 8.1. Представленные решения основаны на комплексном анализе N-модели МВИ (рис. 8.2) и V-модели тестирования компонентов (рис. 8.3).

Таблица 8.1

ФС-интеграция типовых в типовом модуле

Моделирование решения	Функциональное преобразование	Подключение типовых блоков	
		Основные блоки	Интерфейсы
Интеллектуальный датчик обратной связи	Измерение информации	Один датчик обратной связи	IT, Ib
Контрольный выключатель нагрузки	Электромеханическое и силовое информационное	Механическое устройство, измерение датчика обратной связи	Ib, IT, Ib
Интеллектуальный силовой преобразователь	Информационно-силовое	Исполнительное устройство обратной связи	IT, Ib
Управляемый контроллер на базе блока PPIU	Электро-информационное	ЦПУ	Ib, Ib

Первые два типовых решения относятся к электромеханической подсистеме модуля, поэтому варианты интеграции можно реализовать в его управляемой подсистеме. При конструировании МВИ наиболее типичен уровень интеграции на управляемой механической части модулей и описывается с ней блоков и интерфейсов, которые реализуют электромеханическое и силовое информационное функциональное преобразование.

Первый вариант (табл. 8.1) предусматривает использование в обратной связи вместо двух отдельных датчиков положения и скорости только одного элемента — фотоимпульсного датчика (см. гл. 7), который позволяет получать

информацию и об уставе измерительных, и его условной скорости. Датчик выдает выходной сигнал в цифровой форме, что позволяет вводить информацию в УВУ без использования АЦП, который был необходим для предварительных датчиков с аналоговым выходным сигналом (тензометрические, потенциометрические и т.п.).

Применительно функционирования датчика обеспечивает встроенная микропроцессорная, которая выполняет следующие основные функции: выделение информации датчика, обнаружение ошибок измерения, выполнение сигнала и передача полученного вида в интерфейс данных по стандартному протоколу. Совместное решение в создании функционального датчика включается в объединение в единое конструктивное целое: конструктивное (корпус, подключение), электрическое (разъем, фотоэлектрическая и микропроцессор).

Таким образом, использование функционального датчика позволяет исключить из структуры управляющего привода один датчик обратной связи и его интерфейс (Г), а также АЦП на входе УВУ (интерфейс Л).

Применение высокоинтегрированных датчиков (опрос данных в табл. 8.1) позволяет сделать использование их через «внешнее» — функционально-ориентированное ядро привода — делать. Этот способ ФС интегрирует сложные высокоточные исполнительные устройства и избыточный интерфейс в конструкции привода.

Были перечислены основные преимущества МЕ с высокоинтегрированными двигателями:

– снижение материалоемкости, компактность и надежность конструкции;

– повышение точности перемещения привода (повторяемость положения, квантование погрешностей, скорости информации выше и т.д.);

– включение трения в интегральной трансмиссии, что позволяет добиться высокого демпфирующего эффекта, особенно на малых скоростях.

Для определения положения валов по ротору в конструкции интегрированного высокоинтегрированного двигателя встраивают датчик положения. В зависимости принципа информации о типе датчика могут использовать и как сигнал обратной связи. Следовательно, применение интегрированных двигателей со встроенными функционально-сложными датчиками позволяет упростить не только механическую часть привода, но и цепь обратной связи, так как разработчику не требуется вводить в конструкцию внешние датчики положения и интерфейс.

Два примера применения способа ФС интеграции в технологии управляющей силовой части привода приведены в табл. 8.1.

В состав ММ могут входить интеллектуальные силовые преобразователи (ИСП). На стенде на базе экспериментального прибора можно исследовать представленные этим прибором возможности силовых полевых транзисторов (*MOSFET*), биполярных транзисторов с изолированным затвором (*IGBT*), вопросы управления и условия управляемости (*MCT*). Новое поколение приборов отличается высоким быстродействием (для транзисторов *MOSFET* — 100 кГц), повышенной величиной коммутируемых токов и напряжений (для *IGBT* предельная сила коммутируемого тока — до 1 200 А, предельное коммутируемое напряжение — до 3 300 В). Особенность ИСП состоит в том, что они содержат встроенные блоки микроэлектроники, предназначенные для выполнения интеллектуальных функций — управления движением, защиты в аварийных режимах и диагностики неисправностей. Использование ИСП в составе ММ позволяет существенно снизить массогабаритные показатели силовых преобразователей, повысить их надежность при эксплуатации, упростить топологию печатных плат.

Использование контроллеров движения с блоками *FPGA* позволяет включать *IDAT* при начальном старте управления движением. На выходе блоков *FPGA* сразу формируется широтно-импульсный сигнал, который имеет цифровое представление. При этом они обладают довольно высокими вычислительными возможностями (скорость вычислений сопоставима с возможностями микропроцессоров) с возможностью программирования на объектно-ориентированных языках.

Обобщая рассмотренные примеры, следует обратить внимание на то, что начальным для ФС-интеграции являются структурные блоки, реализующие функциональные преобразования только двоичного типа (на третьей ступени табл. 8.1). К этой группе относят информационно-измерительный и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи Г-модели ММ (рис. 8.2), и электро-информационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Оригинально-конструктивные конструкции (ОК-интеграция) начинаются на уровне 5-модели ММ, которая ориентирована на типы ФС-интеграции. Задающая структура модели может быть реализована различными конструктивными решениями. ОК-интеграция предполагает разработчика на выбор приемлемых решений, которые обеспечивают включение интерфейсов как совершенных блоков путем встраивания их в отдельный корпус. При интеллектуализации применяемых решений правильно решения представляют в виде С-модели (рис. 8.1).

Методическая ценность при анализе вариантов СК-интеграции является рассмотрение интерфейсных блоков $I1$–$I8$ в качестве локальных точек, где включаются элементы СК-интеграции. Можно реализовывать при проектировании открытых круг по локальным точкам интеграции.

Примеры ММ, основанные на способе СК-интеграции описаны, приведены в табл. 9.2. Представленные решения основаны на анализе структурных моделей автоматических модулей, разработанных на предыдущих этапах, и предложенного алгоритма (см. рис. 9.3).

Таблица 9.2

СК-интеграция элементов в экземпляре модуля

Интегрируемые модули	Функциональное преобразование	Встраиваемые элементы	
		Основные блоки	Интерфейсы
Модуль связывания	Электромеханическое и механическое	Двигатель, механическое устройство	A
Измерительный модуль связывания	Электромеханическое, механическое и программно-информационное	Двигатель, механическое устройство, датчик обратной связи	A, $I7$, $I9$
Вспомогательный измерительный модуль	Информационное, цифровое программно-алгоритмическое, электрическое, электромеханическое	Управляющий контроллер, элементы преобразователь, датчики	$I1$, $I2$, $I3$, $I5$, A

Интеграция элементов в ММ является мощной технологией при создании современных машин и систем, так как позволяет добиться качественно нового уровня по основным показателям эффективности — скорости и точности движения, компактности конструкции и сокращению затрат в быстрой реконфигурации. Практическая реализация этой концепции в массовом использовании зависит от эффективности взаимодействия конструктора, который выделяет новые интегрированные модули, и технолога, реализующего предложенные архитектурные решения в автоматизированных технологических процессах.

8.4. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

8.4.1. Техническое задание

При получении технического задания (ТЗ) на конструирование нового ММ конструктор имеет в основном исходные сведения в строгости формулировочной технической части, которая перед ним ставится. Если изготавливаемый ММ является частью более общей механической системы, то конечная цель, которая ставится перед конструктором, должна быть сформулирована на основе задачи всего и роли модуля в системе. В таком случае задание начальника ММ определяется целями изготовления механической системы.

Необходимость критического подхода к формулировке задания является одной из особенностей ставить перед конструктором задачу.

Прежде всего конструктор должен тщательно изучить приложение этого модуля в том случае, если они приведены в ТЗ. Отсюда приближение принципиальной схемы к реальной конструкции может быть самой различной.

Принципиальная схема анализируется, оценивается и корректируется с точки зрения возможностей ее конструктивной реализации. Следует стремиться унифицировать схему в направлении минимума, т.е. объединению частей и удалению из функциональной нагрузки. Очень часто начальство, назначающее из конструкторов прибегает как получить, так и технически характер ограничивают такие стремления. Чем совершеннее схема, тем меньше возможностей у конструктора у отходить от указанного направления.

При изучении предложений принципиальной схемы конструктор должен проанализировать все точки зрения надежности. Оценка надежности принципиальной схемы может производиться по ряду факторов: схема исполнительного устройства, использование тех или иных готовых элементов и конструктивных деталей, обеспечение легкодоступности подлежащих замене и т.д. Схема может быть проанализирована по критериям «время реагирования использования от включения», типы исполнения, назначение габаритов и массы и др.

Техническое требование, приведенные в ТЗ, должны вызвать на изучение поставленных требований. В любом общем случае задачей является построение требований составляет первый круг вопросов. В нем приводятся основные и основные параметры проектируемой схемы. Затем дается описание тех наиболее характерных внешних воздействий, которые могут иметь место при эксплуатации, а также желаемые типы воздействий, допустимые отклонения от нормальных режимов работы

Планируется перечисление мер, обеспечивающих устойчивую работу оператора, обслуживающего аппарат, потребуется. Эти требования составляют ту часть того материала, который должен учитываться конструктором при последующей разработке задания. Помимо до начала собственно конструирования ММ конструктор должен дополнить исходные требования ТЗ новыми требованиями, появившимися на основе самостоятельного анализа взаимодействий модуля с окружением, а также исходя из конкретной производственной ситуации и экономического характера. Дополненный перечень технических требований должен дать конструктору конструкции и дополнительную информацию для принятия функционирования готового ММ в реальных условиях.

Изучение технологических возможностей реализации ТЗ включается в первую очередь изучение исполнительных органов, а также реализации тех дополнительных требований, выполнение и формирование которых происходит уже на данном этапе. Конструктор решает вопрос принципиальной сложности изготовления производственных не только из всего модуля в целом, но и отдельных узлов и даже деталей. Рассматриваются возможности производственной базы, технологии изготовления деталей, сборки, регулировки, настройки и т.д. Конструктор должен четко представлять себе производство ММ через множество этапов.

5.4.2. Анализ взаимодействий электронного модуля с внешним окружением

Под внешним окружением надо понимать все то материальную среду, которой, находясь при ММ, оказывает на него какое-либо воздействие или испытывает воздействие с его стороны.

Внешние воздействующие влияния также воздействуют на модуль, которые необходимы для его функционирования, т.е. для формирования таких выходных воздействий (параметров), ради которых и создается ММ. Все остальные взаимодействия электронного модуля с внешним окружением в большинстве случаев необязательны и нежелательны. Не всегда бывает очевидным, какое воздействие принять за входное, какое за выходное, не всегда входы и выходы могут считаться однонаправленными, не всегда их легко отделить от остальных воздействий, не всегда за ним устойчивость.

Широта спектра картины взаимодействий ММ с внешним окружением зависит от располагаемой информации и затрат на работу времени. Поэтому часть существенных для конструктора взаимосвязей иногда может остаться необнаруженной или недостаточно раскрытой ввиду ограниченности возможности получения информации в процессе

Недостаточно оценить разрешение изменений может повлиять процессы или не позволить будущему модулю. Не учитывать их надо не только отношения воздействия — главное в рассмотрении изменений нарушения с ММ, если в течение программа можно требования по надежности. Анализ изменений должен быть внимательно и объективным. Конструктор должен уметь отбросить несущественные, второстепенные связи и внешние прежде всего выявить их существенные.

8.4.3. Разработка технических требований

В конструкторских задачах путь от анализа изменений до четко сформулированных технических требований к ММ, необходимых конструктору, может быть большим и сложным, чем рассмотренный выше. Этот путь может потребовать также новых способов описания ММ, как научно-исследовательская разработка, моделирование, проектирование конструкции, а также может потребовать дальнейших расчетных и экспериментальных работ, должен не всегда каждый изменения при участии конструктора. В перечне технических требований должны как не одна связь, а технические характеристики ММ и параметры, отражающие условия его эксплуатации.

Технические требования можно разделить на четыре группы.

Первая группа: требования, содержащие параметры геометрического и конструктивного характера. Пример формулировки: предельное отклонение межосевого расстояния ±0,5 мм.

Вторая группа: требования, выражающие при помощи психических или физических понятий, связанные в виде числа с размерностями. Пример формулировки: сила сопротивления на выходном звене не более 100 Н.

Третья группа: требования, выражающие словесно, не включающие в себя ни понятий, определяющих количественно, ни геометрических ограничений в конструкции. Пример: форма сердечника устройства должна быть симметричной.

Четвертая группа: требования, сформулированные при помощи сложных понятий или математических зависимостей. Пример формулировки: для заданного конструкторского устройства распределение атмосферного давления в рабочих движениях может содержать признаки МСА (международный стандартной атмосферы).

Первая группа требований закономерно появляется в результате выполнения ограничений, связанных с частью установки конструкции ММ.

Вторая группа требований является в значительной степени результатом количественного отображения понятийной ММ с высоким окружением в наиболее привлекательной форме. Конструктивное разложение требований, выраженных при помощи четких количественных понятий, определенных количественно (скажем, например, как пересечение отношений), может быть осуществлено различными образом. Преимущество такой формы записи требований очень велико, так как она не имеет в себе неопределенности и служит средством объективной проверки правильности конструкции. Все сказанное относительно второй группы требований можно отнести и четвертой группе.

Следует особо остановиться на третьей группе требований. Описание формы записи логических требований в большинстве случаев оказывается и достаточным для полного формального решения физической задачи. Иногда они перешли отсутствием информации о количественной стороне тех или иных понятий или желанием оставить какой-либо признак в состоянии «неуверенность». Нередко сложная форма перевода окружающего языка общих понятий объективно невозможно перестроить такой. Пример такой формулировки: «Безотрывный контакт должен быть у любых и нескольких, при числах и движениях».

Конструктор, утомленный и доведенный ТЗ до ума, должен рассматривать такой пункт, рассматривая любые существующие отношения между ММ и обслуживающим окружением. Но это не значит, что следует стремиться к наиболее полной формализации всех без исключения человеческих требований.

Сказать необходимой формализации определенность, с одной стороны, трудоемкая исполнительная, с другой — требования последующего технологического. Процесс решения требований в конструкции отображается обратными взаимодействиями на технические требования. Для осуществления рационального процесса выполнения требований конструктор должен иметь возможность в допустимых пределах варьировать задающие параметры. Полная система требований «правил» не только выполнимых, но и приемлемых значений называется областью.

Требования к ММ не могут быть «формулировочны», если только неправильно конструктивная не выбрана. Вопрос «что делать?» выглядит при конструировании от вопроса «как делать?» Значительный перечень технических требований всегда отражает степень зависимости предполагаемой конструкции и выбранного направления работы.

8.4.4. Предварительное конструирование основных частей макетного модуля

Стремление конструктора к удовлетворению требований МИ творчески объединяет отдельные частей, несущих разные функции, сопряженности ряда факторов и является целью всего комплекса решений. В результате анализа предполагаемой схемы и условий технических требований выделяют несколько крупных частей, выполняющих различные функции, и приступают к собственно конструированию каждой части (узла) в отдельности. Каждая отдельная часть должна удовлетворять определенной группе требований чертежа. При этом конструктор исходит из имеющихся технических требований наиболее важную часть и дополнительные ее исходные и первоначальный чертеж, не ограничивая свои рассматриваемой части с другими частями МИ.

Если конструктор сумел для каждой составной части выбрать несколько наиболее удачных типовых конструктивных исполнений, то, сочетая различные индивидуальные решения частей, он получит возможность оценить множество вариантов компоновки (или узлов) по некоторым наиболее выбранным критериям и отобрать наиболее оптимальные варианты, приближающиеся тем самым к решению задачи. Таким приемом этапа отличия от технических требований к первоначальным условиям размещения МИ в целом.

Найденные эскизировать каждой из частей на самом первом этапе должны не конкурировать друг с другом и не противоречить принципу на которых строятся технические требования. Конструктор отчетливо отличает создание принципов эскизирования и отбора конструкций, так как создать предпочтение возможно-либо из эскизирования отличает в какой-то степени уже заложить себя свободу дальнейшего поиска, а вместе с тем и возможность отыскать более удачное решение.

В процессе поиска первоначальных эскизирования исходных конструктивных компоновок он обязательно и прежде всего должен конструктивно делать отличия о выполнении не только самых схем, но и вспомогательных областях их поиска.

Область компоновки точнее первичного — это те или иные виды выполнения информации, хранения и систематизирующего анализа конструирования сложных устройств. Здесь и чертежно-техническая документация, и различные материалы, и результаты испытаний, и научно-технические отчеты, и специализированная техническая литература.

Область допуска схемы параметра бесконечна в пространстве. Однако реальные конструктивные решения могут быть найдены и внутри них, и вне пределов полей, и в плоскости листа, и в виде иной природы.

Признак предварительного конструирования характеризуется, как правило, иной неопределенностью, причем степень этой неопределенности может быть самой различной для отдельных частей разных MM.

Рассматриваемый тип предварительного конструирования занимает начало непрерывной, интерполированной до окончания конструирования работы по обеспечению надежности MM. Выбор надежности в качестве важнейшего критерия реализуемости создаваемой конструкции, по-видимому, не может критерий каждой из схем. Переход от принципиальной схемы к чертежу конструктивных основ основных частей означает переход от максимально общих сведений к реальным деталям. Наибольшие трудности такого перехода связаны с недостаточно глубоким описанием элементов и компонентов и связей, используемых при конструктивной реализации схемы, построенной из идеализированных элементов. Первостепенные, непринципиальные на данном этапе конструирования факторы, такие, например, как точность и надежность механической части, в такие механическая непрерывность изготовления характеризуют даже третий, обусловливающий окончательную надежность будущей MM.

При изучении способов повышения надежности их можно разделить на две группы: связанные с учетом чисто надежностных, и, наоборот, исходя из общих свойств и целей надежности изучают методы чисто и детально проверенных конструктивных частей систем.

8.4.5. Разработка вариантов основной компоновки макетного модуля

Перед первым изучением как основных частей, так и MM в целом производится эскизирование. Эскиз состоит из небольшого числа линий, изображающих основную подробностей конструктивную схему и весь вид — те же части, которые описывают и развивают основную конструктивную схему. Последовательно эскизирование получается быстрой зачерчивания. Отобранные варианты не должны в процессе окончательно выполнения, которые также должны быть подробны.

При выполнении необходимо исходить из следующего: чертеж не должен быть таким, что его изображение, не смотря на то, что будет выполнено по этого чертежа невозможно.

Полнота информации о месте установки МИ является чрезвычайно важным условием успешного решения задачи измерения. Если конструктор не ставит перед исполнителем ограничений, вызванных местом установки, он (конструктор) проявляет себя небрежно и может видеть более оптимальное решение. Если объект значительно сложен, если данные о месте установки большие можно, то конструктор не рассказывает нам. Скрытые ситуации могут возникнуть при создании МИ для еще не спроектированной автоматической системы.

Недостаточность информации о месте установки МИ требует способности предсказывать эти обстоятельства, а конструкции придавать качество, которое называется установка модуля не любой объект. Иногда удается придать возможную приспособленность МИ к разным автоматическим системам за счет небольшого количества переходных деталей, изготовленных для данной ситуации.

Основа чувствительной системы измерения МИ может быть самой различной: удачно найденный физический принцип, различные технологические решения или даже самый удачливый устройство. Принцип измерения такой: один к другому возвышается с помощью удачного отношения каких-либо двух частей (в большинстве случаев это движение и пространственное движение). Назовем первую «приемником», вторую «приемником». Отношение выбранных параметров двух частей, иначе их связь, называют первым вопросом, если удается по этой связи судить положение друг к другу всех остальных частей модуля (управляющих устройств, датчиков положения и т.д.). Перебирать отношения параметров без какого-либо плана и метода неразумно. На первый взгляд перебор объема имеет бесконечный характер и здесь получение приобретает неопределенность. Поэтому на пути проектирования МИ становится все трудно и трудно решение и конструкции неоправданно усложнения. В этих случаях следует своевременно остановиться, чтобы прекратить поиски другой основы его отношения.

На пути просмотра вариантов, на пути поиск как бесполезных приводит установка ошибочных предположений, конструктор обычно удается показать закономерности, которые и постоянно играть роль первоначальных вариантов одного первого отношений. К таким критериям могут быть отнесены такие факторы, как временные отношения между моментами функ-

ций и т.п. То, что не удовлетворяет конструктора характеристикам качества изделий, может учитываться только на последних этапах и приводит зачастую нарушению и несоблюдению требований.

Самым понятием цены конструктивной реализации характеристик является то, что различные варианты назначения технического требования могут представляться конкретными показателями затрат машин и расположенного пространства, различной сложностью изготовления отдельных деталей и всего МВМ в целом, целей позволяет больших или меньших технологических трудностей. Поэтому понятие цены конструктивной реализации параметров приводит многие определенный смысл и может приобрести практическую значимость. Так, например, инженер должен выбрать оптимальные параметры технических требований и сделающих массы создаваемого модуля, и конструктор получает выгодную для него возможность использования оптимальных установленных параметров.

В понятие внешнего МВМ могут любые показатели отношения множества параметров отдельных деталей распространяется на все устройство в целом. В этих условиях от степени точности реализации одного какого-либо требования могут зависеть и существенно, габариты и масса всего МВМ.

Знание цены конструктивной реализации можных технических параметров позволяет конструктору в ходе изготовления осуществлять рациональное их распределение. Данный критерий является одним из основных диалектических факторов обратного воздействия на постановку требования со стороны функционального конструкции.

3.4.С. Чертеж общей компоновки

Чертеж общего вида содержит лишь наиболее конструктивную модель МВМ, чертеж общей компоновки раскрывает ту модель более полно. В чертеже общей компоновки различаются связь, предварительно отображенный часть технических требований без подробного рассмотрения возможностей будущей реализации отдельных требований. Чертеж общей компоновки учитывает характер большие количества требований, и имеет целью показ видов и мне если в чертежах не сравнивается с видом общей компоновки, то, не должен служить, умелым он может этими требованиями. Чертеж компоновки может служить в виде перечня чертежей компоновку с дополнительной информации. Чертеж общей компоновки, как правило, выполняет сделано в масштабе. Но, именно он больше всего, и масштабность, что надо делают на чертеже некоторый компоновки.

Первая обязательная, составляющая разработку чертежа каждой конструкции от создания первоначального эскиза, — необходимость определения последовательности в прочерчивании осевых линий. В первую очередь начинают на чертеже контура узла с необходимыми габаритами (длиной, высотой, диаметром), расположенные в наиболее спокойной зоне и по данным конструктор устанавливает для дальнейших из конфигурацией, пересечений и местоположение. Условно разделение этих узлов на чертеже дает конструктору уверенность в том, что основные узлы (детали механизма, привода и т.д.), которые будут влиять в дальнейшем на чертеж окончательной компоновки, не доставят ему трудностей исправлений. Каждый последующий на чертеже узел накладывает на последующие узлы конкретные ограничения, поэтому от очередности вычерчивания зависит не только рациональность процесса создания компоновки, но и форма, в которую она выливается.

На данном этапе конструктор должен убедиться в том, что выбранный им вариант чертежа каждой компоновки близок к оптимальному. Конструктор может включить в себя дополнительные элементы для удовлетворения требований, но не все элементы могут быть для него необходимыми. Для выполнения условия необходимого и достаточного следует проверить конструкцию на избыточность, т.е. попытаться найти и устранить все то, что является лишним. Все сказано, не является необходимым в конструкции, можно представить себе в виде линии и попытаться их две группы: линии (их параметры отвечают требованиям по ММ и линии (их параметры какой конструкции, не влияющие к установленным требованиям неудовлетворены, и первые очередь оставляем линии прочности и жесткости.

Задача по выбору параметру механических требований, реализованных в конструкции, предполагающую об окончании создания конструктивного варианта от него, более решительно. По мере введения новостей, по мере детализации чертежа каждой компоновки и перехода к чертежу окончательной компоновки уменьшение линий первой группы становится все более действенным средством улучшения компоновки и конструкции.

Правила и конструкции, связанные с перемещениями компоновки, можно рассматривать в качестве линии по рассматриваемому критерию. Наличие таких линий говорит о недостаточности данного критерия компоновки.

Правила метод ММ можно исключить перемещенный выход. Этим достигается уменьшение габаритов. Иногда выгодно сочетать габариты между, использовать пустоты для конструктивных компоновок. Более полно учитывается комплекс другие требования, например, точность, надежность, удобству работы конструктора и т.д.

Зависимости характеристик технологического процесса (например, по точности и заданным перемещениям двигательных частей) могут обнаружить не только, какие нельзя сделать с заданными параметрами, как, например, неточность на выходе или точность-ограничение этого элемента. При анализе скрытых связей конструктор не должен забывать и о противоположной стороне, так как при переходе от них к конструкции-копии можно допустить ошибочность.

Следующим *связями* назовем *не* зависимости, при изменении которых (например, замена материала одной конструкции) отдельных частей ММ является связанным их всех. В реальной конструкции, где все взаимосвязано, изменение габаритов и веса отдельных частей оказывает влияние на остальные. В частности, связанным можно, например, изменить жесткостные характеристики любой детали, может и по ее время сопротивляться улучшению других жесткостных характеристик, оставшихся для нормального функционирования модуля в целом. При этом может быть получено значительное снижение надежности.

С увеличением размерности ряда заказов связей выбор технически возможных вариантов, входящих в конструкцию ММ. Так, например, число и размеры допусков определяются размерностью их интервалов. Уменьшение затрат является за счет снижения взаимосвязей заказов и может повлечь переход в описании от языка температуры — напряжение — деформация. По такой связи изображений с точки зрения заказа в габаритах нормы почти всегда отражает новые возможности для отказа вариантов изменения. Первое случается, что изменение приобретает отношение между отдельными более развязывающей. Дальнейшая конструирование ведется на новом уровне рациональных изменений, при которых увеличение функциональной загрузки частей, возможности их загрузки и частичной интеграции, а также выгоды от снижения заказов обычно уравновешивается максимальной степени.

Уменьшение заказов второй группы является полезной задачей, требующей подробных расчетов и заказа технологических возможностей изготовления ее.

8.А.7. Компактность конструкции

Наиболее очевидная возможность уменьшения конструкции ММ — сближение его частей, т.е. уменьшение расстояния между ними. Такой путь связан с рядом трудностей, возникающих по мере уменьшения размеров. Даже определенные заказы между двигающимися частями при изменении их материала является трудноватой работой. Например, большие трудности возникают в производстве при изготовлении деталей с малыми допусками и их обор-

ва. Не следует забывать, что требование уменьшения массы может не дать хороших значений надежности конструкции (например, из-за температурных деформаций).

Чем труднее принимать решение об отмене части, тем выше конструктор поднимается в рассмотрении ТЗ, пытаясь переписывать требования, получающие причиной подобных затруднений. Это особенно относится к тем случаям, когда какое-либо «узкое» место принципиально невозможно устранить конструкцией. Стремление «растворить» такое «узкое» место невозможностью компромисса в «треугольнике» обратных воздействий за пределами требования.

Иногда становится возможным исправить такие изменения в основных требованиях, которые ведут к существенному удешевлению изделия, не сказываясь «смертельно» для «чувствительных» на основной функции и эксплуатационных характеристиках изделия.

Методика отбора требований, выбором каждый из вариантов предусматривает необходимость той или иной корректировки первоначальной постановки ММ, т.е. вплоть до полного отказа от выгодных решений «нарушающих» требования, а предпочтение. Такова суть так называемого «жесткого» принципа с отсрочкой. Выбор каждого шага производится с таким расчетом, чтобы черновая работа, включающая корректировку результатов, сводилась к минимуму.

Представление о изменении ММ как о цепочке проходов с возвратом возникает, с одной стороны, из-за частичной постановки задач, использующей вариационные вычисления в ходе решения; с другой стороны, из-за неизбежности возникновения в описании оптимальной конструктивной различных множеств взаимозависимых переменных.

8.4.8. Чертеж окончательной компоновки

Синтез/анализ того и это действительно: с одной стороны, частичная вычерчивание чертежа окончательной компоновки (чертежа общего вида или общего чертежа ММ) является этим промежуточный решит сложный работ, с другой стороны, то не просто вычерчивание, но конструирование, причем начинающееся с самого начала, с самой первой линии и заканчивающееся отдельными чертежа, практически исчезнуть обеспечивающего тех документов.

Приступая к составлению выполнению чертежа окончательной компоновки, конструктор тем самым решается на отказ от дальнейших поисков, от сравнения и отбора вариантов. В то же время все частности выполнения чертежа должны оставлять конструктору максимальную свободу маневрирования на протяжении всего хода работы.

На первом этапе технологии конструирования можно исключить из трудоемкой работы над чертежом геометрической изложенности.

Перенос на лист без большого изменений чертежа каждой конструкции дает геометрический костюм — каркас чертежа будущей конструкции изделия. Костюм чертежа строится в основном прочерно. Если чертеж каждой конструкции оказывается непригодным для такого построения, то это является дополнительным его недостатком. Определить положение на чертеже геометрической конструкции элемента костюма в основном совпадает с определением положения тех же элементов на чертеже каждой конструкции. Построение набора (комплекта) элементов геометрии костюма чертежа каждой конструкции может создать значительные трудности при ее дальнейшей конструктивной разработке того или иного узла.

Сложность, многозначность, действие критерия минимизации количества параметров, критерия надежности требует строгой последовательности выполнения чертежа геометрической конструкции.

После измерения костюма чертежа конструктор получает возможность определить условия по конкретной разработке отдельных узлов и деталей. При их конструкторской проработке он должен проверить правильность допущений, принятых на предыдущем этапе, по некоторой степени построения и способы изложения.

Для изложения узлов и деталей необходимо могут из простой части в зависимости, чтобы избежать ошибок или чрезмерной сложности в размещении построений. В первую очередь следует выяснить, не лист чертежа, одинаково определяющие по форме и расположению, чтобы многократно выполнять или применять, а также не отказывать прорабатывать узлы и детали с минимальными габаритами, чтобы иметь возможность свободно компоновать увеличенные по габаритам за счет уплотнения основы.

Уменьшение числа деталей в МК часто достигается за счет усложнения характера линейных частей. Простейшим примером может служить плоский регулятор. Целый усложненная характера линейных частей позволяет уменьшить число отдельных пар (по сравнению с обычным отдельным регулятором).

Следует отметить, что вопросы, касающиеся способов получения деталей, удобства сборки изделия, регулировки и эксплуатации, взаимозаменяемости, требования, предъявляемые к конструкции, материалу деталей, выбора материалов, покрытий, термообработки, чистоты обработки поверхностей, способов сборки и т.п., требуют решения сразу в процессе вычерчивания набора деталей по чертежу геометрической изложенности.

К числу вопросов, решение которых практически должно быть отнесено к этапу окончательной компоновки, относятся обеспечение технологичности сборки изделия из составных общего критерия технологичности вообще.

Из множества рекомендаций, облегчающих сборку и разборку МЕ, одна имеет общий характер и должна отличаться по возможности расположить детали таким образом, чтобы при разборке было не каждая последующая деталь могла быть демонтирована через пространство, освобождающееся при удалении предыдущей детали.

По мере усложнения конфигурации деталей возрастает потенциальная возможность их функционирования различным путем. Поэтому предварительно выбрав деталей в узлах начинают не менее проанализировать возможности и окружающие их МЕ в целом, а каждого узла, каждой детали в отдельности.

При отработке выбора деталей на чертеже окончательной компоновки следует тщательно проверить, нельзя ли, где возможно, применить нормализованные или типовые элементы.

Оптимальной с точки зрения обеспечения надежности является такая конструкция, в которой применены типовые, хорошо освоенные в производстве детали, модули узлы, детали. Сложность процесса детализации выявляет постоянное присутствие приобретения того или иного узла или детали. Поэтому изображение узла и детали должно выполнять функцию выявления одной из главных сторон их конструкции, так как правило детализация может выявить несколько различных вариантов их конструкции. Тогда из полученных стал, неприемлемых и наиболее полно своей характеристики методом вычерчивания на чертеже окончательной компоновки простейших деталей (болтов, винтов, гаек, шайб, втулок и т.п.). Пока форма изображаемых деталей окончательно не определилась, крепежные детали представляют на чертеже лишь их основные габариты. Затем приступают работе по обозначению крепежных деталей и затем сокращению их типоразмеров, а после этого каждую крепежную деталь вычерчивают по стандарту.

Правила обводки деталей, а также их штриховки должны быть выдержаны. Последовательность обводки чертежа окончательной компоновки в основном совпадает с последовательностью их вычерчивания. Только по отношению осевых, невидимых и выносных линий порядок нарушения в соответствии корректировки чертежа не следует придавать в отдельных до окончания обводки.

Правила оформления чертежа окончательной компоновки — это не только дальнейшее развитие, но и проверка компоновочного решения. Уверенность в рациональности принятой компоновки возникает по мере полного решения

[illegible] заданных требований и конструкции. Наличие в них полной информации [illegible] конструкции, в которой отражены и привязаны [illegible] схема, и требования технического задания, и взаимосвязи частей и с окружением, и критерии работоспособности.

8.4.5. Типы и стадии разработки конструкторской документации

Конструкторский документ (КД) в зависимости от его назначения [illegible] или в совокупности с другими документами определяет состав и устройство изделия и содержит необходимые данные для его разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта.

В зависимости от содержания КД подразделяют на два типа:

– графические КД — документы, содержащие графическое изображение изделия и (или) его составных частей, устройство и правила работы, инструкции и указания сборки (или функционирования) частей;

– текстовые КД — документы, содержащие в основном текст сложной или ребусной по графе; в виде иллюстраций могут содержать таблицы и графический материал.

В зависимости от стадии разработки КД подразделяют на проектные (технические предложения, эскизный проект, технический проект) и рабочие (графические чертежи деталей, сборочные чертежи, текстовые спецификации на сборочные единицы, ведомости эксплуатационных документов).

Комплект(ы) КД, выполненный на конкретный объект, называют термином в ЕСКД. Стадии разработки КД даны в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Стадии разработки конструкторской документации

Стадии разработки	Литера документа	Дополнительные указания
[illegible]		
Разработка технического предложения	П	[illegible]
Разработка эскизного проекта	Э	
Разработка технического проекта	Т	[illegible]
Разработка документации для изготовления опытного образца (опытной партии)	–	

Стадии разработки	Литера документа	Дополнительные указания
Корректировка результатов по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии)	О	Литера присваивается после окончания корректировки
Корректировка документации по результатам изготовления (при необходимости) дополнительных и приемочных испытаний опытного образца (опытной партии)	О1	
Корректировка документации опытного образца по результатам изготовления и испытаний установочной серии изделий	А	Литера присваивается после окончания корректировки и проведения (уточнения) технологических процессов
Для единичного производства		
Разработка единичного проекта	Э	Литера присваивается при разработке документов
Разработка типового проекта	Т	
Разработка документации для изготовления изделия	И	
Корректировка документации по результатам изготовления и испытания изделия	Б	Литера присваивается после окончания корректировки
Примечание. Допускается не применять литеру конструкторских документов, приведенных в виде схем. Литерой основного комплекта КД изделия следует считать литеру из числа указанных в документах, входящих в комплект. Литеры разных документов изделия должны быть одного и единой системы их классификации		

Техническое предложение — комплект конструкторских документов, которые должны содержать технические и экономические обоснования целесообразности разработки документации на изделие по сравнению ТЗ и рекламных вариантов использования изделия, сравнительный анализ решений с учетом конструкторских и технологических особенностей разрабатываемого и существующих изделий и патентные исследования.

Техническое предложение разрабатывают с целью выявления дополнительных или уточненных требований к изделию (изменения характеристик, показателей качества и др.), которые не могли быть указаны в ТЗ, а так же обоснования целесообразности применения конструкторской документации и выбора рациональных вариантов изделия.

Техническое предложение должно иметь новые технические решения, и результаты которых выявлены относительно расположения деталей и габаритов изделия; после рассмотрения и утверждения служит основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект — это совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Эскизный проект разрабатывают с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных и др.) решений.

Чертеж общего вида на стадии эскизного проекта представляет собой документ, разработку первого типа изображений и должен включать 2–3 проекции, а также дополнительные виды, разрезы и сечения.

После рассмотрения и утверждения эскизный проект служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Технический проект — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для дальнейшей разработки РД.

При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных частей изделия. Выбор оптимального варианта в этом случае осуществляется на основании всесторонней оценки объектов изделия.

Технический проект, содержащий чертежи общего вида, включает утвержденного эскиза, пояснительную записку, дает полное и окончательное представление о конструкции, взаимодействии составных частей, принципе работы, основных характеристиках изделия и определяет приемку его работы.

На чертеже общего вида должно быть:

а) изображение вида, разреза и сечения изделия, имеющих наиболее полную информацию, необходимую для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы;

б) указаны наименования (или обозначения) составных частей изделия, для которых объясняется принцип работы, приводятся основные характеристики, указывается материал, количество составных частей изделия, а также материал, применяемый при работе, описывается информация общего вида и состав изделия;

в) приведены необходимые размеры и иные требования, такие например, как технические изделия, основные характеристики и основные требования.

Схема — графический конструкторский документ, на котором показано в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

В зависимости от вида элементов и связей, входящих в состав изделия, схемы подразделяют на следующие виды: обозначенные буквами: электрические — Э; гидравлические — Г; пневматические — П; газовые (кроме пневматических) — Х; вакуумные — В; оптические — Л; энергетические — Р; деления — Е; комбинированные — С.

В зависимости от назначения основных схем подразделяют на следующие типы, обозначаемые цифрами: структурные — 1; функциональные — 2; принципиальные — 3; соединений — 4; подключения — 5; общие — 6; расположения — 7; объединенные — 8.

Применяемые в вид схемы определяются по видам и типам, например, схема взаимодействия приложения — Х3, схема подключения функционального — Е2, схема электрическая принципиальная комплексная — Э3.

Пояснительная записка составляет при разработке технического предложения, эскизного и технического проекта. В ней следует привязать характеристики выбранных технических средств к выполняемым операциям. Результаты расчетов предпочтительно представлять в табличной форме.

В общем случае пояснительная записка к эскизному проекту должна состоять из следующих разделов: содержание, введение, характеристика объекта, основные решения, технико-экономическое обоснование, в состав которого входят: оценка затрат материально-технических средств, обоснование структуры и численности работников, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием, внутри-лабораторных, опытно-конструкторских и экспериментальных работ, оценка ее полезности и экономии времени, приложения.

К рабочей документации проекта относят графические и текстовые документы: сборочные чертежи и чертежи деталей, габаритный, монтажный и другие чертежи, спецификации, ведомости спецификаций и технические документы.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются схемы автоматизации при проектировании ММ?

2. Из каких этапов состоит проектирование ММ?

3. Что такое функциональная модель ММ?

4. Что такое структурная модель ММ?

5. Что такое конструктивный эскиз МИ?

6. В чем заключается цель неплоскостности при проектировании МИ?

7. Что скрывается под понятием МИ и каковы средства его устранения?

8. Какие элементы входят в состав технического кронита МИ?

9. Что представляет собой чертеж общего вида МИ?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

[illegible] от проявлений напряжения и агрессии к эмоциональным ресурсам и состоянию внешнего напряжения [illegible] результатам внимания без изучения разработанных технологий достижений человека, повторения, использования техники и умения направлять информационные методики работы и конструирования.

В то же время динамичное расширение «сферы влияния» неконтролируемых на первом экономическом современности появляется противоположно позитивных решений и установлений, а личностью и правоохранительной много различных форм[illegible]. Для их изучения и использования в его работе конструктору нужно достаточно прочных базы знаний, формирования которой и служит это учебное пособие.

Достигнутый на текущий момент уровень развития техники стимулирует установка и первоочередной основой достаточно много для количественного [illegible] общих признаков и отдельных типических решений из области напряжения ресурсов и систем. Многие свои создания приходилось и добычных изменяющих, управляемых показателей на безопасном создании скорости. Широкие внедрения напряжения с определенными применениями обеспечит перечень книг в условиях на безопасную защиту и устранит [illegible] и таким в сложном труде инженерам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дробинский, В. И.* Мехатронный принцип модуля поступательного перемещения для технологических машин / В. П. Прокопенко, М. В. Барышев, Ю. В. Иванов // Мехатроника. Машиностроение. — Москва : Новые технологии, 2001. — № 4.

2. *Лощилов, А. С.* Опыт разработки мехатронных систем в ЦНТУ / А. С. Пантелеев, Е. М. Бочкарев // Мехатроника. — Москва : Новые технологии, 2001. — № 1.

3. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов [и др.]. — Москва : Машиностроение, 1982.

4. *Дунаев, П. Ф.* Детали машин. Курсовое проектирование / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. — Москва : Машиностроение, 2004.

5. *Егоров, О. Д.* Проектирование мехатронных модулей : учебное пособие / О. Д. Егоров. — Москва : МГТУ «СТАНКИН», 2001.

6. *Егоров, О. Д.* Типовые мехатронные модули промышленных роботов / О. Д. Егоров. — Москва : Издат. МГТУ, 1993.

7. *Иванов, М. Н.* Детали машин : учебник для академического бакалавриата / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — Москва : Юрайт, 2014.

8. *Каширский, Л. Ф.* Электрогидравлические мехатронные модули движения / Л. Ф. Каширский. — Москва : Радио и связь, 2001.

9. *Коловский, Мехатронные системы. Регуляторы.* — Москва : Приборостроение, 2002.

10. *Кудрявцев, А. Ф.* Детали машин : словарь-справочник / А. Ф. Кудрявцев. — Москва : Машиностроение, 1992.

11. Линейные шаговые двигатели. Редукторы и мотор-редукторы. — Санкт-Петербург : Издат. ПТЦ «Редуктор», 2002.

12. *Смольников, В. А.* Оптические квадратурные : справочник / В. А. Смольников, А. А. Усов. — Москва : Машиностроение, 1982.

13. *Юревич, А. С.* Адаптивные робототехнологические комплексы для механической обработки и сборки / А. С. Юревич, Ю. В. Подураев. — Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999.

14. *Егоров, О. Д.* Мехатронные модули. расчет и конструирование : учебное пособие / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев. — Москва : МГТУ «СТАНКИН», 2004. — 360 с.

[8. Булгаков, А. Г. Производственная работа: Квалификация, занятость, контракты и управление / А. Г. Булгаков, П. А. Воробьев. — Москва : ОЛМА-Пресс, 2018.

[9. Иванов, О. М. Расчет и проектирование металлических устройств : учебное пособие / О. В. Иванов. — Владимир : Владимирский гос. унт им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 2019.

[10. Парамонова, М. А. Металлургия через призму науки / М. А. Парамонова // Горная промышленность. — Москва : Горное Дело, 2020. — № 1.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА Б1.В.09.11 КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Специальность –
21.05.04 Горное дело
Специализация –

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Авторы: Таугер В.М.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Задания на курсовой проект составлены в соответствии с учебным планом по дисциплине «Конструирование мехатронных модулей» для студентов специальности 21.05.04 Горное дело, специализация «Мехатроника и робототехника промышленных комплексов».

Задания представляют собой 32 варианта технических требований к мехатронному модулю. Каждый проектант должен сконструировать мехатронный модуль в соответствии с определенным вариантом технических требований.

Составитель: В.М. Таугер, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая механика».

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4
2.ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ 5
3.СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ 6
4.ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ 9
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 10

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Задачей курсового проектирования является конструирование мехатронного модуля в соответствии с техническим заданием.

Техническое задание включает в себя общие и специальные технические требования. Общие требования (раздел 2) относятся ко всем подлежащим разработке мехатронным модулям. Конкретные сочетания специальных требований (раздел 3) различны для каждого варианта. Ведущий преподаватель назначает вариант из табл. 3.1 проектанту персонально.

Руководствуясь методикой проектирования мехатронных модулей, студент формирует последовательно ***F-, S-*** и ***C-***модели устройства, а затем для окончательно принятой ***C-***модели разрабатывает техническую документацию в составе:

- расчетно-пояснительная записка;
- чертеж общего вида мехатронного модуля.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать: обоснование основных конструктивных решений; сравнительную оценку стоимости изготовления различных вариантов устройства модуля; расчет преобразователя движения, включающий в себя определение передаточного отношения и проверки на прочность и кинематическую точность; схемы, алгоритмы и т.п., необходимые для пояснения устройства и работы мехатронного модуля.

Расчетно-пояснительную записку следует выполнять на листах формата А4 с соблюдением правил ЕСКД к текстовым документам.

Чертеж общего вида должен содержать виды и разрезы с размерами, дающие полное представление о конструкции и технических возможностях меха-тронного модуля и обеспечивающие возможность дальнейшей разработки чертежно-технической документации, а также техническую характеристику модуля. На свободном поле чертежа должна быть дана экспликация с перечнем основных узлов и важнейших деталей изделия.

Чертеж общего вида следует выполнять на листе формата А1 (или большем - при необходимости) с соблюдением соответствующих требований ЕСКД.

Консультации в процессе выполнения и прием курсового проекта осуществляет ведущий преподаватель.

2. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1. Низкая трудоемкость монтажа (демонтажа), сборки (разборки), технического контроля и обслуживания.

2.2. Функционирование в автоматическом режиме. Конструкция должна обеспечивать изменение скорости и направления движения рабочего органа.

2.3. Автоматизированный контроль технических параметров, самодиагностика неисправностей.

2.4. Компактность конструкции.

2.5. Минимальные массогабаритные показатели.

2.6. Предпочтительно применение асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

2.7. Движение рабочего органа под действием нагрузки при выключенном двигателе не допускается. В мехатронных модулях с самотормозящимися преобразователями движения тормозной момент на валу двигателя должен составлять не менее 20% от крутящего момента при номинальной нагрузке.

3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1. Вид движения рабочего органа:
а) вращательное, под прямым вертикальным;
б) вращательное, под прямым горизонтальным;
в) возвратно-поступательное горизонтальное;
г) возвратно-поступательное вертикальное.

3.2. Максимальная частота вращения рабочего органа:
а) электрическая часть оборотов;
б) два оборота;
в) 1,2кс;
г) 1000 мин;
д) 500 мин;
е) 100 мин.

3.3. Характер нагрузки на рабочем органе:
а) инерционная;
б) переменная.

3.4. Номинальная величина нагрузки на рабочем органе:
а) $T_{ном}$ = 1000 Нм;
б) $T_{ном}$ = 200 Нмс;
в) $T_{ном}$ = 50 Нм;
г) $F_{ном}$ = 10 кН;
д) $F_{ном}$ = 2 кН;
е) $F_{ном}$ = 0,5 кН.
Обозначения: $T_{ном}$ – номинальный крутящий момент; $F_{ном}$ – номинальная осевая сила.

3.5. Номинальная скорость движения рабочего органа при номинальной нагрузке:
а) $v_{ном}$ = 7,85 $с^{-1}$;
б) $v_{ном}$ = 3,93 $с^{-1}$;
в) $v_{ном}$ = 0,393 $с^{-1}$;
г) $v_{ном}$ = 1 м/с;
д) $v_{ном}$ = 0,5 м/с;
е) $v_{ном}$ = 0,05 м/с.
Обозначения: $v_{ном}$ – угловая скорость; $v_{ном}$ – линейная скорость.

3.6. Способ крепления нагрузки:
а) фланцевый;
б) на шпонке.

3.1. Режим эксплуатации:
а) по рис. 3.1.1;
б) по рис. 3.1.2;
в) по рис. 3.1.3.

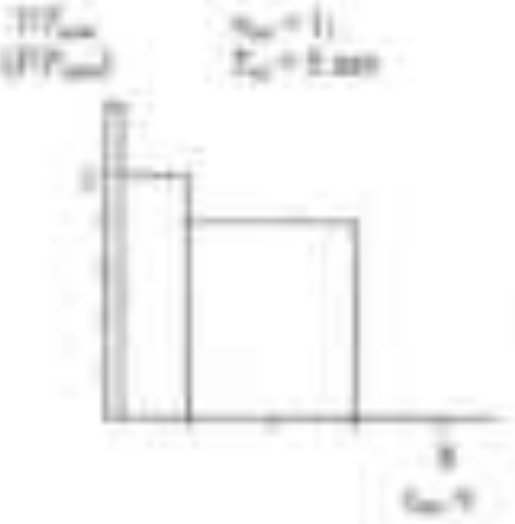


Рис. 3.1.1

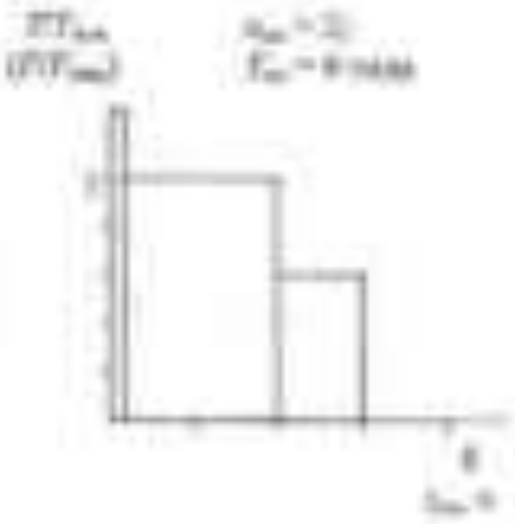


Рис. 3.1.2

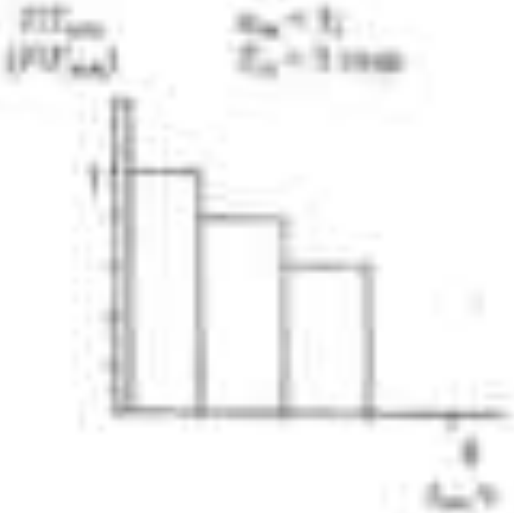


Рис. 3.1.3

Обозначения: T, F – ременная нагрузка; $n_{ск}$ – число смен в сутки; $t_{см}$ – продолжительность смены; $T_{сл}$ – срок службы машин.

3.2. Допустимая эквивалентная нагрузка определяется зависимостью:
а) $[T^*_{экв}] = 0,13$ кНс;
б) $[T^*_{экв}] = 0,08$ кНс;
в) $[T^*_{экв}] = 0,02$ кНс.

г) $[\Delta\alpha] = 0{,}0015$ рад;
д) $[\Delta\varphi] = 8 \cdot 10^{-4}$ рад;
е) $[\Delta\psi] = 2 \cdot 10^{-3}$ рад.

3.9. Допускаемые величины перемещений:
а) $[f_x] = 0{,}3$ мм;
б) $[f_y] = 0{,}1$ мм;
в) $[f_{\alpha x}] = 0{,}003$ рад;
г) $[f_{\alpha y}] = 0{,}001$ рад.

3.10. Дополнительные требования:
а) самоограничение рабочего хода;
б) механический выход (крайний рабочий) исполнительного органа;
в) механический упор (наибольший горизонтальный вылет) исполнительного органа;
г) функционирование при температуре воздуха от ... +35 °С;
д) чувствительность цепи датчиков к выходному (тепловыделяющему) звену модуля.

4. ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

4.1.1Новые технические требования к металлическому модулю см. раздел 2.

4.2. Основные технические требования см. табл. 4.1.

Таблица 4.1

Варианты вводимых специальных технических требований
к металлическому модулю

Номер варианта	Основные технические требования									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
4	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	+	+	+	+	+	+	+	+		
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
12	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
17	+	+	+	+	+	+	+	+		+
18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
19	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
21	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
22	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
23	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
24	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
25	+	+	+	+	+	+	+	+		
26	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
27	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
28	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
29	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
31	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Мехатронные модули. Расчет и конструирование: Учебное пособие. -М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004.
2. Таугер В.М. Основы конструирования мехатронных модулей и систем: Учебное пособие. - Екатеринбург: УрГУПС, 2004.
3. Таугер В.М. Конструирование преобразователей движения мехатронных модулей: Учебное пособие. - Екатеринбург: УрГУПС, 2006.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.09.12 SCADA-СИСТЕМЫ

Специальность -
21.05.04 Горное дело
Специализация -
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Автоматики и компьютерных технологий	горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Бочков В. С.	Осипов П. А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 20.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

ЕКАТЕРИНБУРГ

Содержание

Содержание....2

Часть 1. SCADA-система Advantech GeniDAQ....8
Глава 1. Обзор SCADA-систем....9
1.1. Введение....9
1.2. Функциональная структура SCADA-системы....11
1.3. Особенности SCADA как процесса управления....11
1.4. Основные требования к SCADA-системам....12
1.5. Функциональные возможности SCADA-систем....13
1.6. Программные платформы SCADA-систем....13
1.7. Средства сетевой поддержки SCADA-систем....15
1.8. Встроенные языки программирования SCADA-систем....15
1.9. Базы данных....17
1.10. Организация взаимодействия с устройствами нижнего уровня....18
1.11. Открытость SCADA-систем....19
1.12. О реальном времени....20
1.13. Средства визуализации....22
1.14. Состояние тревоги и события....23
1.15. Отображение и архивирование данных....23
1.16. Стоимость системы....24
1.17. SCADA-продукты на российском рынке....25
1.17.1. Базовые свойства....25
1.17.2. Возможности среды разработки....26
1.17.3. Возможности конфигурирования системы....27
1.17.4. Характеристики сопровождения/эксплуатации....27
1.17. Заключение....27
Глава 2. OPC — промышленный стандарт и средство интеграции компонентов в промышленной автоматизации....30
2.1. Что такое OPC?....31
2.2. DCOM и OPC-приложения....32
2.3. Почему OPC?....35
2.4. Заключение....36
Глава 3. Краткий обзор SCADA-системы GeniDAQ....37
3.1. Почему мы рассматриваем GeniDAQ?....37
3.2. Системная архитектура GeniDAQ....37
Глава 4. Учебник по SCADA-системе GeniDAQ....41
4.1. Занятие 1 "Демонстрация базовых приемов работы — одна задача реального времени с отображением результатов ее работы в одном экранном окне"....42
4.1.1. Используемый инструментарий....42
4.1.2. Проектирование приложения....47
4.1.3. Упражнения....53

4.2. Занятие 2 "Переключение окон отображения" 55
4.2.1. Используемый инструментарий....55
4.2.2. Проектирование приложения....56
4.2.3. Упражнения 60
4.3. Занятие 3 "Просмотр и изменение порядка выполнения функциональных блоков редактора задач" 64
4.3.1. Используемый инструментарий....64
4.3.2. Проектирование приложения....67
4.3.3. Упражнения 71
4.4. Занятие 4 "Использование инструментов рисования редактора форм отображения" 72
4.4.1. Используемый инструментарий....73
4.4.2. Проектирование приложения....81
4.4.3. Упражнения 83
4.5. Занятие 5 "Использование тега для связи между задачей и формой отображения" 85
4.5.1. Используемый инструментарий....85
4.5.2. Проектирование приложения....92
4.5.3. Упражнения 96
4.6. Использование языка VBA в SCADA-системах....98
4.6.1. Средства языка VBA, инвариантные к среде использования (Microsoft Visual Basic 6.3) 98
4.6.2. Использование языка VBA в SCADA-системе GeniDAQ 143
4.6.3. Упражнения 164
4.7. Занятие 6 "Использование функционального блока Бейсик-сценария"....167
4.7.1. Используемый инструментарий....167
4.7.2. Проектирование приложения....168
4.7.3. Упражнения 169
4.8. Занятие 7 "Совместное использование функциональных блоков Бейсик-сценария и виртуального тега" 175
4.8.1. Используемый инструментарий....175
4.8.2. Проектирование приложения....178
4.8.3. Упражнения 181
4.9. Занятие 8 "Программирование основного сценария" 183
4.9.1. Используемый инструментарий....184
4.9.2. Проектирование приложения....184
4.9.3. Упражнения 185
4.10. Занятие 9 "Управление несколькими задачами" 186
4.10.1. Используемый инструментарий....187
4.10.2. Проектирование приложения....187
4.10.3. Упражнения 190
4.11. Занятие 10 "DDE-обмен с использованием блока Бейсик-сценария редактора задач"....194
4.11.1. Проектирование приложения....195
4.11.2. Упражнения 201
4.12. Занятие 11 "Работа с таймером"....202

4.12.1. Используемый инструментарий....202
4.12.2. Проектирование приложения....205
4.11.2. Упражнения....206
Глава 5. OPC-технология информационной интеграции SCADA-системы и промышленного контроллера....211
5.1. Промышленный контроллер 7188E2 фирмы ICP DAS (Тайвань)....211
5.2. Интерфейс OPC-сервера OpenLabOPCSvr.AiVT.2 и его конфигурирование....216
5.3. Настройка компьютеров локальной вычислительной сети....219
5.3.1. Настройка ОС Windows2000 для работы с OPC-серверами (на примере OPC-сервера OpenLabOPCSvr.AiVT.2)....219
5.3.2. Настройка ОС Windows XP для работы с OPC-серверами (на примере OPC-сервера OpenLabOPCSvr.AiVT.2)....220
5.4. Занятие 12 "Информационный обмен между SCADA-системой и промышленным контроллером"....223
5.4.1. Используемый инструментарий....224
5.4.2. Проектирование приложения....229
5.4.3. Упражнения....235
Литература....247

Часть 1. SCADA-система Advantech GeniDAQ

Глава 1. Обзор SCADA-систем

Глава 2. OPC — промышленный стандарт и средство интеграции компонентов в промышленной автоматизации

Глава 3. Краткий обзор SCADA-системы GeniDAQ

Глава 4. Учебник по SCADA-системе GeniDAQ

Глава 5. OPC-технология информационной интеграции SCADA-системы и промышленного контроллера

Глава 1. Обзор SCADA-систем

За последние 10-15 лет за рубежом и в нашей стране резко возрос интерес к проблемам построения высоконадежных и высокоэффективных систем диспетчерского управления и сбора данных, получивших название *SCADA-систем* (SCADA — Supervisory Control And Data Acquisition, диспетчерское управление и сбор данных). Что же понимают под SCADA-системой и какими свойствами и особенностями она обладает?

1.1. Введение

Современное производство не может обойтись без *автоматизации*, которая позволяет повысить качество, снизить процент брака, увеличить выход продукции, снизить себестоимость продукции, сэкономить ресурсы и продлить срок службы технологического оборудования. В настоящее время автоматизированные системы управления промышленными предприятиями и технологическими процессами (*АСУ ТП*) имеют иерархическую структуру, включающую следующие неотъемлемые уровни [1]:

- *нижний уровень* — технологические устройства (датчики, контроллеры, исполнительные механизмы и т.д.);
- *средний уровень* — *SCADA*-системы;
- *верхний уровень* — приложения, управляющие ресурсами предприятия.

> ***Совет***
> Внимательно изучите все описанные далее характеристики и особенности SCADA-систем — это важно.

В рамках данного учебного курса мы будем интересоваться SCADA-системами. Диспетчерское управление и сбор данных является основным и перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами в жизненно важных и критичных областях. На основе SCADA-систем строятся крупные автоматизированные системы управления в промышленности, энергетике, на транспорте, в космической, военной областях и в различных государственных структурах. SCADA-система реализует процесс сбора информации в реальном времени с удалённых объектов для обработки, анализа и управления такими объектами. Прообразом современных SCADA-систем на ранних стадиях развития автоматизированных систем управления являлись системы телеметрии и сигнализации. SCADA-система — это совокупность устройств управления и мониторинга, а также средств их взаимодействия с технологическим объектом. Под термином SCADA понимают набор программных и аппаратных средств для реализации операторских рабочих мест, а поскольку программные средства являются здесь определяющими, то зачастую о SCADA-системах говорят лишь как о программном обеспечении.

Как отмечалось ранее, диспетчерское управление и сбор данных является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях [2]. За последние 10-15 лет за рубежом и в нашей стране резко возрос интерес к проблемам построения высоконадежных и высокоэффективных систем диспетчерского управления и сбора данных. С одной стороны, это связано со значительным прогрессом в области вычислительной техники, программного обеспечения и телекоммуникаций, что увеличивает возможности и расширяет сферу применения автоматизированных систем. С другой стороны, развитие информационных технологий, повышение степени автоматизации и перераспределение функций между человеком и аппаратурой обострило проблему взаимодействия человека-оператора с системой управления. Расследование и анализ большинства аварий и происшествий в авиации, наземном и водном транспорте, промышленности и энергетике, часть из которых привела к катастрофическим последствиям, показало следующее. Если в 60-х годах ошибка человека являлась первоначальной причиной лишь 20% инцидентов (80%, соответственно, за технологическими неисправностями и отказами), то в 90-х годах доля "человеческого фактора" возросла до 80%, причем, в связи с постоянным совершенствованием технологий и повышением надежности электронного оборудования и машин, доля эта может еще возрасти.

Основной причиной такой тенденции является старый, традиционный подход к построению сложных автоматизированных систем управления, который часто применяется и в настоящее время. Это ориентация, в первую очередь, на применение новейших технических (технологических) достижений, стремление повысить степень автоматизации и функциональные возможности системы и, в то же время, недооценка необходимости построения эффективного *человеко-машинного интерфейса*, ориентированного на пользователя (оператора). Не случайно, что именно на последние 15 лет, т. е. на период появления мощных, компактных и недорогих вычислительных средств, пришелся пик исследований в США по проблемам человеческого фактора в системах управления, в том числе по оптимизации архитектуры и HMI-интерфейса систем диспетчерского управления и сбора данных.

Изучение материалов по проблемам построения эффективных и надежных систем диспетчерского управления показало необходимость применения нового подхода при разработке таких систем (human-centered design), ориентированного в первую очередь на человека-оператора (диспетчера), вместо традиционного и повсеместно применявшегося подхода "hardware-centered", при котором при построении системы основное внимание уделялось выбору и разработке технических средств и программного обеспечения. Применение нового подхода привело к созданию SCADA-систем. Использование их в реальных космических и авиационных разработках и сравнительные испытания систем в Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства США подтвердили их эффективность, позволив увеличить производительность операторов, на порядок

уменьшить процедурные ошибки и свести к нулю критические (некорректируемые) ошибки операторов.

1.2. Функциональная структура SCADA-системы

Существует два типа управления удаленными объектами в SCADA-системах: автоматическое и инициируемое оператором системы [2]. В SCADA-системах можно выделить четыре основных функциональных компонента — человек-оператор, компьютер взаимодействия с человеком (рабочая станция), компьютер взаимодействия с задачей (объектом) и задача (объект управления). Человеку-оператору в SCADA-системе присущи пять основных функций, которые можно рассматривать как набор вложенных циклов, в которых оператор:

- планирует, какие следующие действия необходимо выполнить;
- обучает (программирует) компьютерную систему на последующие действия;
- отслеживает результаты полуавтоматической работы системы;
- вмешивается в процесс в случае критических событий, когда автоматика не может справиться, либо, при необходимости, подстраивает параметры процесса;
- обучается в процессе работы (получает опыт).

Данное представление SCADA-системы явилось основой для разработки современных методологий построения эффективных диспетчерских систем.

1.3. Особенности SCADA как процесса управления

Процессу управления в современных диспетчерских системах присущи следующие особенности [2]:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека (оператора, диспетчера);
- процесс SCADA был разработан для систем, в которых любое неправильное воздействие может привести к отказу (потере) объекта управления или даже катастрофическим последствиям;
- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая, при нормальных условиях, только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальности;
- активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и т.п.);
- действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

1.4. Основные требования к SCADA-системам

К SCADA-системам предъявляются следующие основные требования.

- Надёжность системы (технологическая и функциональная). Никакой единичный отказ или единичная ошибка не должны вызывать выдачу ложного выходного воздействия.
- Безопасность управления.
- Точность обработки и представления данных.
- Простота расширения системы.
- Интуитивность, простота использования.

Требования безопасности и надежности управления в SCADA-системах сводятся к следующему. Никакой единичный отказ оборудования не должен вызывать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления. Никакая единичная ошибка оператора не должна вызывать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления. Все операции по управлению должны быть интуитивно-понятными и удобными для оператора (диспетчера).

В силу требований, предъявляемых к SCADA-системам, спектр их функциональных возможностей определен и реализован практически во всех SCADA-пакетах. Перечислим основные возможности и средства, присущие всем SCADA-системам и различающиеся только техническими особенностями реализации:

- автоматизированная разработка, дающая возможность создания программного обеспечения (ПО) системы автоматизации без реального программирования, т.е. без написания программного кода в классическом смысле;
- непосредственное автоматическое управление технологическим процессом в соответствии с заданными алгоритмами;
- средства приёма первичной информации о контролируемых технологических параметрах от контроллеров нижних уровней и датчиков;
- средства управления и регистрации сигналов в аварийных ситуациях;
- средства приёма команд оператора и передача их исполнительным механизмам и контроллерам нижних уровней;
- средства регистрации событий, связанных с контролируемым технологическим процессом и действиями персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание системы;
- средства хранения информации с возможностью ее постобработки;
- средства вторичной обработки принятой информации;
- средства визуализации информации о технологическом процессе и архивной информации в удобной для восприятия форме;
- средства формирования сводок и других отчётных документов на основе архивной информации;

- средства обмена информацией с автоматизированной системой управления предприятием;
- возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемыми как "единое целое".

Если попытаться коротко охарактеризовать основные функции, то можно сказать, что SCADA-система собирает информацию о технологическом процессе, обеспечивает интерфейс с оператором, сохраняет историю процесса и осуществляет автоматическое управление процессом в том объёме, в котором это необходимо и присуще всем SCADA-системам.

1.5. Функциональные возможности SCADA-систем

В основе большинства SCADA-пакетов лежит использование нескольких программных компонентов (базы данных реального времени, ввода-вывода, предыстории, аварийных ситуаций) и программных администраторов (доступа, управления, сообщений). Следует отметить, что в целом технологии проектирования систем автоматизации на основе SCADA-систем очень похожи:

- Разработка архитектуры системы автоматизации в целом. На этом этапе определяется функциональное назначение каждого узла системы автоматизации.
- Решение вопросов, связанных с возможной поддержкой распределенной архитектуры, необходимостью введения узлов с "горячим резервированием" и т. п.
- Создание прикладной системы управления для каждого узла. На этом этапе специалист в области автоматизируемых процессов наполняет узлы архитектуры алгоритмами, совокупность которых позволяет решать задачи автоматизации.
- Приведение в соответствие параметров прикладной системы с информацией, которой обмениваются устройства нижнего уровня (например, программируемые логические контроллеры) с внешним миром (датчики температуры, давления и др.).
- Отладка созданной прикладной программы в режиме эмуляции и в реальном режиме.

Перечисленные выше возможности SCADA-систем в значительной мере определяют стоимость и сроки создания ПО, а также сроки ее окупаемости.

1.6. Программные платформы SCADA-систем

Программно-аппаратные платформы, на которых реализованы SCADA-системы, являются важной характеристикой для оценки их функциональности. Анализ таких платформ необходим, поскольку от него зависит ответ на вопросы распространения SCADA-системы на имеющиеся вычислительные средства, а также оценка стоимости эксплуатации системы. В различных SCADA-системах этот вопрос решен по разному

[3, 4]. Так, SCADA-система FactoryLink (United States DATA Co.) имеет весьма широкий список поддерживаемых программно-аппаратных платформ: DOS, OS/2, Unix, VMS, AIX, Windows NT/2K/XP. В то же самое время, в таких SCADA-системах, как RealFlex (BJ Software Systems), Sitex (Jade Software) основу программной платформы принципиально составляет единственная операционная система реального времени QNX. Подавляющее большинство SCADA-систем реализовано на MS Windows платформах. Именно такие системы предлагают наиболее полные и легко наращиваемые MMI-средства (Man Machine Interface). Учитывая продолжающееся усиление позиций фирмы Microsoft на рынке операционных систем (ОС) следует отметить, что даже разработчики многоплатформенных SCADA-систем, такие как United States DATA Co, приоритетным считают дальнейшее развитие своих SCADA-систем на платформе Windows (табл. 1.1).

Таблица 1.1. *SCADA-системы на российском и западном рынках*

SCASA-системы	**Фирма-изготовитель**	**Страна**	**2K/XP поддержка**	**OPC**
InTouch	Wonderware	США	✓	✓
GeniDAQ	Advantech	США	✓	✓
Advantech FX	Advantech	США	✓	✓
Genesis32	Iconics	США	✓	✓
Trace Mode	AdAstra	Россия	✓	✓
Citect	Citect Pty. Ltd	Австралия	✓	✓
Factory Link	US DATA	США	✓	✓
LabView	National Instruments	США	✓	✓
RSView	Rockwell Software	США	✓	✓
RealFlex	BJ Software Systems	США	-	-
Sitex	Jade Software	Англия	-	-
iFIX	Intelution	США	✓	✓
MasterSCADA	inSAT	Россия	✓	✓
PI System	OSI Software	США	✓	✓
Контур	Объединение Юг	Украина	✓	✓

Некоторые фирмы, до сих пор поддерживавшие SCADA-системы на базе ОС реального времени (РВ), начали менять ориентацию, выбирая системы на платформе Windows. Фирма BJ Software Systems объявила о том, что SCADA-пакет RealFlex дальше развиваться не будет и перевод его на платформу Photon не планируется. Все более очевидным становится применение ОС реального времени, в основном, во встраиваемых системах, где они действительно хороши. Таким образом, основным полем, где сегодня разворачиваются главные события глобального рынка SCADA-систем, стали ОС MS Windows NT/2K/XP. Быстрое развитие OPC-технологий (см. далее подразд. 1.10), низкие цены аппаратного обеспечения,

распространённость ОС Windows на офисных рынках с её солидными техническими характеристиками — главные причины того, что абсолютное большинство производителей SCADA-пакетов мигрировали в сторону этой операционной системы.

1.7. Средства сетевой поддержки SCADA-систем

Одной из основных черт современного мира систем автоматизации является их высокая степень интеграции. В любой из них могут быть задействованы объекты управления; исполнительные механизмы; аппаратура, регистрирующая и обрабатывающая информацию; рабочие места операторов; серверы баз данных и т. д.

Очевидно, что для эффективного функционирования в этой разнородной аппаратной среде SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого сервиса. Желательно, чтобы она поддерживала работу в стандартных сетевых средах (Arcnet, Ethernet и т .д.) с использованием стандартных протоколов (Netbios, TCP/IP и др.), а также обеспечивала поддержку наиболее популярных сетевых стандартов из класса промышленных интерфейсов (Profibus, CANbus, Lon, Modbus и т.д.). Этим требованиям в той или иной степени удовлетворяют практически все рассматриваемые SCADA-системы, с тем только различием, что набор поддерживаемых сетевых интерфейсов, конечно же, в различных SCADA-системах разный. Сетевые средства SCADA-системы GeniDAQ используют протокол TCP/IP, который обеспечивает возможность работы с данными технологического процесса в реальном времени с любого узла сети, а также дистанционное управление процессом. Сетевые средства SCADA-систем Citect, Trace Mode поддерживаются такими сетевыми протоколами, как NetBEUI, IPX/SPX, TCP/IP.

1.8. Встроенные языки программирования SCADA-систем

Встроенные языки программирования — мощное средство SCADA-систем, облегчающее процесс реализации сложных алгоритмов обработки и анализа данных. Кроме того, встроенные языки программирования являются мощным и универсальным средством адаптации систем к требованиям прикладной задачи.

Первые версии SCADA-систем либо не имели подобных языков, либо эти языки реализовывали небогатый набор функций. В современных версиях SCADA-систем функциональные возможности языков становятся существенно богаче. Явно выделяются два подхода.

- Ориентация встроенных языков программирования на технологов. Функции в таких языках являются высокоуровневыми, не требующими профессиональных навыков программирования при их использовании. Количество таких функций в базовых поставках относительно невелико, хотя существуют свободно распространяемые библиотеки дополнительных функций.

- Ориентация на системных интеграторов. В этом случае в качестве языков чаще всего используются Visual Basic-подобные языки.

В каждом языке допускается расширение набора функций. В языках, ориентированных на технологов, это расширение достигается с помощью дополнительных инструментальных средств (Toolkits). Разработка дополнительных функций выполняется обычно программистами-профессионалами. Разработка новых функций при втором подходе выполняется разработчиками приложений (как и в традиционных языках программирования). Полнота использования возможностей встроенных языков (особенно при втором подходе) требует соответствующего уровня квалификации разработчика, если, конечно, в этом есть необходимость. Требования задачи могут быть не столь высокими, чтобы применять всю "мощь" встроенного языка. Во всех языках функции разделяются на группы, часть из которых присутствует практически во всех языках: математические функции, функции работы со строками, SQL-обмен, DDE-обмен и т. д. Каждая из функций во встроенном языке выполняется в синхронном или асинхронном режиме. В синхронном режиме выполнение следующей функции не начинается до тех пор, пока не завершилось исполнение предыдущей. При запуске асинхронной функции управление переходит к следующей функции, не дожидаясь завершения исполнения предыдущей функции. В связи с этим возникает несколько вопросов. С каким приоритетом исполняется каждый из фрагментов, допускается ли рекурсия при обработке событий и если да, то каков уровень вложенности? В SCADA-системах уровень вложенности пока не стандартизован, но оговаривается особо в рамках каждой из них.

SCADA-системы VisiDAQ (Advantech, США) и GeniDAQ включают в себя встроенную среду программирования на языке сценариев [5], совместимом с языком программирования высокого уровня Visual Basic for Applications (VBA). Язык Visual Basic (VB) является одним из наиболее популярных языков программирования. Это позволяет разрабатывать управляющие стратегии практически любого уровня сложности. Редактор сценариев SCADA-систем VisiDAQ и GeniDAQ предназначен для редактирования основного сценария и Basic-сценариев внутри задач. Основной сценарий полностью контролирует процесс выполнения задачи, включая ее запуск и/или останов. Кроме управления задачами, SCADA-система VisiDAQ предоставляет разнообразные команды для ввода-вывода данных, включая операции открытия, чтения, записи, закрытия последовательного порта; операции доступа к информации в центре обработки данных и т. п.

В SCADA-системе Citect [6, 7] встроен гибкий язык программирования Cicode, созданный специально для мониторинга и управления приложениями. Это структурированный язык, похожий на Visual Basic и C. Применение языка Cicode предоставляет пользователю доступ к данным проекта в режиме реального времени, а также ко всем переменным, сигналам тревог, трендам, отчетам и т. д. Язык Cicode поддерживает многозадачность и удаленный вызов процедур, позволяет создавать программы любой степени сложности.

В SCADA-системе InTouch используются скрипты. Скрипты в InTouch — это программные фрагменты, активизируемые по событиям (по нажатию клавиши, кнопки, открытию окна, изменению значения переменной и т. д.).

1.9. Базы данных

Многие SCADA-системы, в частности, Genesis, InTouch используют ANSI SQL синтаксис, который является независимым от типа базы данных. Таким образом, приложения виртуально изолированы, что позволяет менять базу данных без серьезного изменения самой прикладной задачи, создавать независимые программы для анализа информации, использовать уже наработанное программное обеспечение, ориентированное на обработку данных. Так, IndustrialSQL Server компании Wonderware использует подобный подход, впервые превращая реляционную технологию в разумное решение для систем промышленной автоматизации. IndustrialSQL Server — опора пакета промышленной автоматизации Wonderware FactorySuite2000. Несмотря на то, что IndustrialSQL Server поставляется компанией Wonderware как самостоятельный продукт, он, в то же время, является одним из главных компонентов пакета FactorySuite2000, являясь, можно сказать, его "сердцем". Будучи интегрированным со SCADA-системой InTouch, IndustrialSQL Server способен накапливать при помощи серверов ввода/вывода информацию практически от любых измерительных приборов и устройств сбора данных. IndustrialSQL Server представляет собой расширение Microsoft SQL Server. Объединение серверов IndustrialSQL Server и Microsoft SQL Server незаметно для пользователя. Можно сказать, что IndustrialSQL Server превращает Microsoft SQL Server в сервер реляционной базы данных реального времени. При этом клиенты могут напрямую обращаться к IndustrialSQL Server при помощи тех же утилит, что используются сервером Microsoft SQL Server. Выбор Microsoft SQL Server в качестве основы для IndustrialSQL Server объясняется несколькими причинами. Во-первых, в мире существует более 200 миллионов пользователей Microsoft SQL Server. Во-вторых, Microsoft SQL Server является самой продаваемой базой данных для ОС Windows. В-третьих, SQL поддерживается всеми крупными производителями серверов баз данных, большинством средств разработки и языков программирования.

Родственный Citect продукт, называемый Plant2SQL, позволяет предоставлять технологическую информацию, являющуюся прерогативой SCADA-систем. Plant2SQL поддерживает простой доступ к данным технологического процесса, как из приложений, так и со стороны пользователей. Пользователям теперь доступны самые последние данные технологического процесса, что позволяет им принимать решения во всеоружии, полностью владея информацией о процессе производства.

1.10. Организация взаимодействия с устройствами нижнего уровня

Современные SCADA-системы не ограничивают выбор аппаратуры нижнего уровня (контроллеров), так как предоставляют большой набор драйверов или серверов ввода/вывода и имеют хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов новых устройств нижнего уровня. Для подсоединения драйверов ввода/вывода к SCADA-системе в настоящее время используются следующие механизмы:

- ставший стандартом динамический обмен данными (DDE);
- собственные протоколы, связанные со SCADA-системами, реально обеспечивающие самый скоростной обмен данными;
- новый OPC-протокол, который, с одной стороны, является стандартным и поддерживается большинством SCADA-систем (см. приведенную ранее табл. 1.1), а с другой стороны, лишен недостатков протоколов DDE.

Изначально протокол DDE применялся в первых человеко-машинных интерфейсах в качестве механизма разделения данных между прикладными системами и устройствами типа ПЛК (программируемых логических контроллеров). Для преодоления недостатков DDE, прежде всего для повышения надежности и скорости обмена, разработчики предложили свои собственные решения (протоколы), такие как AdvancedDDE или FastDDE — протоколы, связанные с пакетированием информации при обмене с ПЛК и сетевыми контроллерами. Но такие частные решения приводят к ряду проблем:

- для каждой SCADA-системы пишется свой драйвер для поставляемого на рынок оборудования;
- в общем случае, два пакета не могут иметь доступ к одному драйверу в одно и то же время, поскольку каждый из них поддерживает обмен именно со своим драйвером.

Взамен этих протоколов появился новый стандарт OPC (OLE for Process Control), ориентированный на рынок промышленной автоматизации, основанный на COM-технологии фирмы Microsoft. Основная цель OPC-стандарта заключается в определении механизма доступа к данным любого устройства из приложений. OPC позволяет производителям оборудования поставлять программные компоненты, которые стандартным способом обеспечат клиентов данными с ПЛК. При широком распространении OPC-стандарта появляются следующие преимущества:

- OPC позволяет определять на уровне объектов различные системы управления и контроля, работающие в распределенной гетерогенной среде;
- OPC устраняет необходимость использования различного нестандартного оборудования и соответствующих коммуникационных программных драйверов;
- у потребителя появляется больший выбор периферийного оборудования при разработке приложений.

С использованием OPC-решений, интеграция в гетерогенных системах становится достаточно простой. Применительно к SCADA-системам OPC-серверы, расположенные на всех компьютерах системы управления производственного предприятия, стандартным способом могут поставлять данные в программу визуализации, базы данных и т. п., уничтожая, в некотором смысле, само понятие неоднородной системы.

Для обмена данными с контроллерами в SCADA-системе Genie — предшественнике SCADA-системы GeniDAQ, могут использоваться встраиваемые драйверы, DDE-обмен, но в нем не поддерживается OPC-спецификация. SCADA-система GeniDAQ имеет ряд ключевых отличий, обеспечивающих решение более широкого круга задач на новом уровне, в том числе с поддержкой OPC-спецификации.

В SCADA-системе InTouch поддерживается также пакетированный DDE-обмен — FastDDE. Применение последнего заметно повышает эффективность и производительность обмена данными благодаря уменьшению общего количества DDE-пакетов, которыми клиент и сервер обмениваются между собой. Но принципиальные недостатки, связанные с надежностью и зависимостью от количества загруженных в текущий момент приложений Windows, остались. Необходимость в появлении более совершенного технологичного протокола созрела. С целью расширения возможностей стандартного протокола DDE на локальную сеть компания Wonderware предложила протокол NetDDE. Он позволяет приложениям, запущенным на объединенных в локальную сеть компьютерах, вести DDE-обмен. Для реализации функций OPC-клиента Wonderware предлагает OPCLink-сервер, преобразующий OPC в SuitLink-протокол. Параметры производительности протокола SuiteLink превосходят параметры DCOM. OPCLink-сервер обеспечивает прием информации с OPC-сервера и передачу ее по протоколу SuiteLink в SCADA-систему InTouch и наоборот. Именно OPCLink-сервер рекомендуется устанавливать на одном узле с OPC-сервером, чтобы для сетевых передач использовался SuiteLink-протокол, а не DCOM.

Для обмена данными с контроллерами в SCADA-системе Citect могут использоваться следующие способы: встраиваемые драйверы, DDE-обмен, OPC-протоколы. Первый путь предполагает создание динамических библиотек, выполняющих функцию драйверов. В составе SCADA-системы Citect поставляется более чем 120 драйверов ввода/вывода. Связь через DDE-сервер использует стандартный коммуникационный протокол Windows. SCADA-система Citect поддерживает связь с любым DDE-сервером. Система Citect может функционировать в качестве и OPC-сервера и OPC-клиента.

1.11. Открытость SCADA-систем

Система является открытой, если для нее определены и описаны используемые форматы данных и процедурный интерфейс, что позволяет подключить к ней "внешние", независимо разработанные компоненты.

Разработка собственных программных модулей. Перед фирмами-разработчиками систем автоматизации часто встает вопрос о создании собственных (не

предусмотренных в рамках SCADA-систем) программных модулей и включение их в создаваемую систему автоматизации. Поэтому вопрос об открытости системы является важной характеристикой SCADA-систем. Фактически открытость системы означает доступность спецификаций системных (в смысле SCADA) вызовов, реализующих тот или иной системный сервис. Это может быть и доступ к графическим функциям, функциям работы с базами данных и т. д.

Драйверы ввода-вывода. Современные SCADA-системы не ограничивают выбор аппаратуры нижнего уровня, так как предоставляют большой набор драйверов или серверов ввода-вывода и имеют хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов новых устройств нижнего уровня. Сами драйверы разрабатываются с использованием стандартных языков программирования. Вопрос, однако, в том, достаточно ли только спецификаций доступа к ядру системы, поставляемых фирмой-разработчиком в штатном комплекте (система Trace Mode), или для создания драйверов необходимы специальные пакеты (системы FactoryLink, InTouch), или же, вообще, разработку драйвера нужно заказывать у фирмы-разработчика.

Разработки третьих фирм. Объекты ActiveX — это объекты, в основе которых лежит Microsoft COM. Технология COM определяет общую схему взаимодействия компонентов программного обеспечения в среде Windows и предоставляет стандартную инфраструктуру, позволяющую объектам обмениваться данными и функциями между прикладными программами. Большинство SCADA-систем являются контейнерами, которые уведомляются ActiveX о происшедших событиях. Этот факт очень важно оценивать при выборе SCADA-пакета, поскольку это расширяет область применения системы непрофессиональными программистами.

Подавляющее большинство SCADA-пакетов, несмотря на их реализацию на стандартной платформе Windows, являются закрытыми, если речь идет о структуре данных, с которыми они работают. Конечно большинство из них (в том числе GeniDAQ) имеют стандартные интерфейсы типа DDE, OLE, ODBC и др., сохраняя при этом специализированные, нестандартные форматы файлов для архивов, графиков и сигнализаторов. Для того чтобы получить доступ к данным в этих системах, необходимо воспользоваться специализированными пакетами разработчика, а часто это вообще невозможно. SCADA-система Citect не делает секрета из формата своих данных — все параметры и данные приложения хранятся в формате dBase, понимаемом любым пакетом. Кроме этого, данные могут сохраняться и в более современных SQL базах данных, используя стандартные интерфейсы Citect. Эта открытость будет по достоинству оценена теми, кто не имел возможности, скажем, отобразить на экране данные из архива в том виде, котором требуется оператору, а не так, как умеет SCADA.

1.12. О реальном времени

Одним из существенных недостатков SCADA-систем на платформах Windows 95/98/Me по сравнению с таковыми же системами на платформах ОС реального времени (ОС РВ) является отсутствие поддержки реального времени.

Ситуация резко изменилась с появлением Windows NT/2000/XP. Выход в свет этой ОС стимулировал разработку новых подходов в поддержке жесткого реального времени. Прежде всего, сама по себе Windows NT весьма успешно теснит ОС РВ. Тем не менее, Windows NT имеет ряд ограничений. Такие ее особенности, как предпочтение аппаратного прерывания над программным, выполнение в подпрограмме обработки аппаратных прерываний лишь необходимых действий с выполнением последующей обработки через очередь отложенных процедур, отсутствие приоритетной обработки процессов в очереди отложенных процедур, не позволяют отнести Windows NT к категории классических ОС реального времени. Ряд фирм (LP Elektronik, Imagination Systems, RadSys, Spectron Microsystems, Ventur Com) предприняли более радикальные попытки превратить Windows NT в ОС жесткого реального времени. Рассмотрим некоторые ключевые особенности реализации такой идеи на подсистеме реального времени RTX (Real Time Extension), предложенной фирмой Ventur Com. Именно эта реализация получает в настоящее время наиболее широкое распространение. Фирмы-разработчики SCADA-систем незамедлительно начали предлагать применение новых решений. Так, набор прикладных интерфейсов программирования RTX 4.1 (Ventur Com) в SCADA-системе FIX позволяет:

- осуществлять полный контроль над задачами реального времени;
- использовать фиксированную систему из 128 приоритетов для контроля RTX-задач;
- применять стандартные средства обмена данными между задачами;
- обращаться к стандартным функциям из Win32API.

Появление подобных решений наряду с собственными характеристиками Windows NT наносит сильный "удар" по SCADA--системам на базе ОС РВ, поскольку отнимает у них очень важный "козырь" — преимущества жесткого реального времени, и, для некоторых приложений, теснит применение ОС РВ во встраиваемых системах. Сегодня для весьма широкого спектра промышленных приложений уже есть реальная возможность использовать Windows NT как единую операционную систему, со всеми вытекающими отсюда последствиями, работающую даже в бездисковых конфигурациях в сетевых контроллерах ввода/вывода, скажем на платформе CompactPCI или VME, наряду с использованием на рабочем месте оператора-технолога.

Не секрет, что во многих SCADA-пакетах обновление данных организовано на основе опроса параметров в рамках одной основной задачи и соответствующего обновления экрана по заданным промежуткам времени. Этот алгоритм очень напоминает корпоративную многозадачность, реализованную в Windows 3.X. При этом последствия для работы всего приложения практически идентичны — если по каким либо причинам работа любой функции основной задачи нарушается, то нарушается работа всего пакета. Так, например, задержка в получении данных, необходимых для обновления результатов на одном(!) из графиков часто приводит в таких системах к полной остановке работы всего приложения до тех пор, пока запрос не будет обработан. Хотя здесь нечему удивляться. Многие SCADA-пакеты появились в эпоху Windows 3.X и их ядро не изменялось с тех далеких пор.

Ядро Citect было изначально задумано и реализовано с учетом принципов построения систем реального времени. Анимация объектов на экране, обмен данными, функции, созданные пользователем и встроенные в систему обрабатываются своими независимыми потоками с четким распределением приоритетов. При этом многопоточность реализована по схеме с вытеснением, когда задача с большим приоритетом вытесняет задачу с меньшим, а внутри класса задач с одним приоритетом вытеснение производится по круговой схеме (round robin) путем выделения квантов процессорного времени. Для искушенных пользователей предусмотрена возможность непосредственного использования объектов синхронизации(!) работы потоков и управления их созданием и завершением.

Что думает оператор про *SCADA*-систему, когда он нажимает на кнопку включения мотора (любого ответственного механизма), но ничего не происходит? А если сигнал тревоги (alarm), сгенерированный на объекте, поступает к оператору не сразу, а через 5-10 секунд? Адекватная работа с сигналами из реальной аппаратуры, особенно когда они составляют замкнутую цепь управления — задача номер 1 для любого SCADA-пакета. К сожалению, большинство SCADA-пакетов очень плохо масштабируются при изменении нагрузки, т. е. при изменении количества сигналов и параметров (окон, элементов управления, количества выполняемых функций и т. д.). Если мы будем сравнивать скорость отклика системы при минимальном числе входных параметров, то получим весьма схожие результаты, но принципиально различные при увеличении нагрузки. Основной причиной этого является отсутствие в большинстве SCADA-пакетов ядра реального времени, так как это сделано в Citect. Именно поэтому теоретическим и практическим пределом для обычных SCADA-пакетов является 10000-30000 параметров (tags), в то время как Citect может работать с числом переменных до 500000. И эта величина не является теоретическим пределом, скорее практическим. Конечно, такие большие системы реализуются достаточно редко, но даже и в диапазоне 5000-10000 параметров Citect имеет бесспорные и ощутимые преимущества. SCADA-система Citect работает с разрешением по времени, равным одной миллисекунде. Это относится как к работе с данными, так и к обновлению графиков реального времени (trends) и других объектов.

1.13. Средства визуализации

Средства визуализации — одно из базовых свойств SCADA-систем. В каждой из них существует графический объектно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий круг операций над выбранным объектом. Объекты могут быть простыми (линии, прямоугольники, текстовые объекты и т. д.) и сложные. Возможности агрегирования сложных объектов в разных SCADA-системах различны. Все SCADA-системы включают библиотеки стандартных графических символов, библиотеки сложных графических объектов, обладают целым рядом других стандартных возможностей. Но, тем не менее, каждая SCADA-система по-своему уникальна и, несмотря на поддержание стандартных функций, обладает присущими только ей особенностями. При рассмотрении графических возможностей

SCADA-систем InTouch и Citect предлагается обратить внимание не только на возможности инструментов по созданию графических объектов, но и на другие предоставляемые пользователю услуги, облегчающие и ускоряющие процесс разработки приложений.

1.14. Состояние тревоги и события

Состояние тревоги, в дальнейшем Alarm — это некоторое сообщение, предупреждающее оператора о возникновении определенной ситуации, которая может привести к серьезным последствиям, и потому требующее его внимания, а часто и вмешательства. А принял ли оператор сообщение об Alarm? Чтобы снять эти сомнения, в системах управления принято различать неподтвержденные и подтвержденные Alarm. Alarm называется подтвержденным после того, как оператор отреагировал на сообщение об Alarm. До этого Alarm оставался в состоянии неподтвержденного. Наряду с Alarm в SCADA-системах существует понятие события. События представляют собой обычные статусные сообщения системы и не требуют реакции оператора. Обычно событие генерируется при возникновении в системе определенных условий (типа регистрации оператора в системе). От эффективности подсистемы Alarm зависит скорость идентификации неисправности, возникшей в системе, или идентификации технологического параметра, вышедшего за установленные регламентом границы. Быстродействие и надежность этой подсистемы могут существенно сократить время простоя технологического оборудования. Например, если оператор не получит вовремя информацию о том, что двигатель насоса перегрелся, это может привести в лучшем случае к выходу насоса из строя, а то и к крупной аварии. Причины, вызывающие состояние Alarm, могут быть самыми разными. Неисправность может возникнуть в самой SCADA-системе, в контроллерах, каналах связи, в технологическом оборудовании. Может выйти из строя датчик или нарушатся его метрологические характеристики. Параметры технологического процесса могут выйти за границы, установленные регламентом и т. д.

1.15. Отображение и архивирование данных

Графическое представление значений технологических параметров во времени способствует лучшему пониманию динамики технологического процесса предприятия. Поэтому подсистема создания трендов (графиков) и хранения информации о параметрах с целью ее дальнейшего анализа и использования для управления является неотъемлемой частью любой SCADA-системы. Тренды реального времени отображают динамические изменения параметра в текущем времени. При появлении нового значения параметра в окне тренда происходит прокрутка графика справа налево. Таким образом, текущее значение параметра выводится всегда в правой части окна. Тренды становятся архивными после того, как данные будут записаны на диск, и можно будет использовать режим прокрутки предыдущих значений назад с целью посмотреть прошлые значения. Отображаемые

данные тренда в таком режиме будут неподвижны, и будут отображаться только за определенный период.

1.16. Стоимость системы

Стоимость освоения системы. Процедура освоения SCADA-систем достаточно проста с точки зрения программиста и не требует длительного времени, поэтому эти затраты относительно невелики. Основной составляющей стоимости является оплата труда программистов, осуществляющих эту работу.

Стоимость сопровождения или "стоимость владения". Эта составляющая обычно наиболее "скрыта от глаз покупателя" и зависит от многих факторов. Например:

- стоимость "риска" покупки, который определяется такими параметрами как рыночная надёжность фирмы-дистрибутора инструментального пакета (трудно говорить о надёжности фирмы, если её, скажем, штат 1-5 человек), рыночная стабильность фирмы-изготовителя продукта;
- стоимость коммуникаций с фирмой-поставщиком;
- "время реакции" поставщика на проблемы покупателя;
- наличие реального прикладного опыта и хорошего знания поставляемого продукта специалистами фирмы-поставщика, наличие в принципе у поставщика специалистов по продукту;
- степень открытости, адаптируемости и модернизируемости продукта.

Эти и многие другие факторы, влияющие на "стоимость владения" необходимо учитывать при выборе системы. Можно подчеркнуть, что концентрация разработчиков SCADA-систем на поле Windows NT способствует снижению "стоимости владения" пользователем этими продуктами.

Стоимость разработки прикладных систем. Стоимость, связанная с трудозатратами на разработку прикладных программ при использовании SCADA-систем, существенно уменьшается по сравнению с использованием традиционного программирования. В качестве примера можно привести работы по созданию системы информационного обслуживания в CERN, которая содержала несколько десятков узлов. Эти работы вместе с отладкой заняли около трех месяцев и выполнялись с помощью системы FactoryLink. Но следует учесть, что вышесказанное относилось к стоимости разработки системы. Необходимо отметить, что стоимость изготовления системы составляет обычно 30-50% от стоимости разработки системы.

Срок окупаемости SCADA–системы. Чтобы оценить время окупаемости SCADA-системы необходимо учесть множество факторов, включая количество проектов, реализуемых на основе этой системы, стоимость этих проектов и т. д. Ориентировочно, если речь идет о бизнесе системного интегратора, реализация 2-3 проектов при приобретении системы разработки SCADA окупает ее. Одним из важных свойств SCADA всегда была открытость. Сейчас открытость дополняется новыми средствами передачи данных между процессами — OLE, OPC, встраиваемыми программными объектами (ActiveX).

1.17. SCADA-продукты на российском рынке

В [8] приведены характеристики SCADA-систем, представленных на российском рынке. Так как эти характеристики получены в результате анкетирования компаний — поставщиков SCADA-продуктов, то они не претендуют на исчерпывающий перечень SCADA-систем. Тем не менее, эти характеристики являются весьма информативными для выбора SCADA-системы.

Анкета, использованная при получении указанных сведений, составлена с учетом мнения ряда компаний о том, какие характеристики SCADA-систем важны при их оценке и выборе. Анкета включает около 100 критериев, распределенных по *четырем категориям* и *основным группам* внутри каждой категории. Категории перечислены в соответствии с их *приоритетностью* (с точки зрения выбора SCADA-системы) и соответствуют основным этапам жизненного цикла SCADA-систем.

1.17.1. Базовые свойства

Базовые свойства SCADA-системы определяют идеологическую и функциональную основу АСУ ТП.

- *Открытость*: интерфейс прикладных программ API (Application Program Interface) к базе данных реального времени; стандартный интерфейс ODBC к реляционным БД и архивам; управление программируемыми логическими контроллерами PLC через DDE, DLL, OLE и OPC; обмен с приложениями через API, DLL, DDE, OLE, COM; API-доступ к архивам и др.
- *Поддержка контроллеров*: количество поддерживаемых контроллеров; наличие промышленных шин Profibus, Canbus, Foundation fieldbus, Modbus и др.; связь с контроллерами напрямую, по собственному протоколу, по промышленной шине или протоколу третьей фирмы; доступ к контроллерам — опрос, получение меток времени, инициативная передача, подписка; наличие средств разработки драйверов; среднее время разработки нового драйвера и др.
- *Архивация и тренды*: вывод в тренды в РВ; запоминание информации во временном хранилище — буфере, файле — для последующей перезаписи в архив; непосредственный вывод в архивные тренды; возможность просмотра трендов "через лупу"; максимальное число кривых в тренде; максимальное число трендов в окне; выбор и/или отслеживание параметров с использованием предустановки или онлайновый; одновременный вывод трендов в РВ и архивных трендов; возможность вывода значения параметра в точке, указанной курсором; использование для работы с трендами модулей или объектов ActiveX и др.
- *Алармы*: количество уровней приоритетов; возможность группирования алармов; онлайновая фильтрация; маскирование алармов по нижним/верхним границам изменения параметров; наличие алармов по скорости изменения параметров или по отклонению параметров от уставки; автоматическое выполнение определенных действий при возникновении оговоренных алармов; генерация E-mail сообщений и др.

- *Возможности HMI*: наличие объектно-ориентированного графического редактора; библиотека стандартных графических символов; техника "drug-and-drop"; библиотека сложных графических объектов; стандартные возможности оконного редактирования — масштабирование, изменение размеров, прокрутка, манипуляции с "пером" и т. п.; возможность работы с трендами; возможность навигации по страницам изображения; анимация, мультимедиа и пр.
- *WEB-технологии:* Java, ActiveX; мониторинг; управление и пр.
- *Система отчетов:* встроенный генератор отчетов; метод "вырезать/вставить"; печать, архивация отчетов и др.
- *Масштабируемость:* по базе данных РВ; по количеству узлов в сети.
- *Опции/автоматизация:* управление технологическим процессом на основе статистической обработки полученной информации; сохранение конкретной конфигурации системы в файле с последующей ее перезагрузкой; планирование заданий; автообработка событий при изменении параметра и др.
- *Поддержка ОС:* Windows 95, Windows NT, AIX, UNIX, VMS, QNX, DOS.
- *Защита доступа:* через пароль; собственная система защиты; уровни доступа — чтение, запись, приоритеты, классы, авторизация.
- *Резервирование:* узла, сервера ввода/вывода, трендов, алармов, контроль резервирования.
- *Стоимость*.
- *Рыночная политика:* ценовая и лицензионная гибкость.

1.17.2. Возможности среды разработки

Возможности среды разработки SCADA-системы определяется общими средствами расширения инструментальных возможностей *SCADA*-пакетов.

- Разработка в on-line.
- Тестирование/отладка в on-line.
- Возможность симуляции.
- Разработка распределенных приложений.
- Язык программирования/сценариев.
- Графические языки.
- Возможность одновременной разработки нескольких проектов.
- Многопользовательская разработка.
- Наличие пакетов разработчика (toolkit), позволяющих создавать драйверы ввода-вывода, графические объекты и т. п.
- Пакет комплексной автоматизации. Наличие пакета комплексной автоматизации означает вхождение SCADA-системы в интегрированную программную систему, предназначенную для автоматизации управления в единой информационной

среде на основных производственных уровнях – от уровня непосредственного управления (уровень контроллеров) до уровня автоматизированной системы управления предприятием (АСУП).

1.17.3. Возможности конфигурирования системы

- *Может ли любой узел быть* сервером ввода-вывода, сервером трендов, сервером алармов.
- *Может ли любой узел быть* клиентом, взаимодействующим с любым сервером.
- *Может ли любой узел быть* только мониторинговой подсистемой.
- *Конфигурируемость по числу точек ввода-вывода.*
- *Максимальное число точек ввода-вывода.*

1.17.4. Характеристики сопровождения/эксплуатации

Характеристики сопровождения/эксплуатации SCADA-систем определяют эксплутационные возможности и услуги пользователям при сопровождении систем распространителями.

- Локализация и мультиязыковая поддержка.
- Рыночный стаж.
- Простота использования.
- Время обучения технического персонала.
- Наличие документации на русском языке.
- Наличие продуктов других фирм, поддерживающих данный SCADA-пакет.
- Количество инсталляций.
- Наличие обучающих курсов.
- Время изучения продукта.

Перечень SCADA-систем на российском рынке, фирм-производителей и характеристик SCADA-систем по состоянию на 1999 год имеется в [8]. Еще раз обращаем внимание на то, что эти данные не являются исчерпывающими, так как получены путем анкетирования фирм-производителей. При этом анкетировались не все фирмы (не все они были известны при анкетировании) и не все фирмы откликнулись на просьбу заполнить анкеты. К тому же, результаты анкетирования к настоящему времени несколько устарели. Тем не менее, эти данные очень важны и существенны — их изучение принесет проектировщику большую пользу.

1.17. Заключение

По функциональным возможностям все рассмотренные SCADA-системы в целом сравнимы. Технология программирования близка к интуитивному восприятию автоматизируемого процесса. Мощное объектно-ориентированное

программирование, используемое в большинстве этих пакетов, делает эти продукты легкими в освоении и доступным для широкого круга пользователей. Все системы можно считать в той или иной степени открытыми, обеспечивающими возможность дополнения функциями собственной разработки, имеющими открытый протокол для разработки собственных драйверов, развитую сетевую поддержку, возможность включения ActiveX-объектов и доступ к стандартным базам данных. Важной особенностью всех SCADA-систем является поддержка OPC-спецификации. Это делает их привлекательными. Построение прикладной системы на основе любой из рассмотренных SCADA-систем резко сокращает набор необходимых знаний в области классического программирования, позволяя концентрировать усилия по освоению знаний в прикладной области. У разработчиков SCADA-систем на платформе Windows NT/2K/XP появилась возможность использовать расширение реального времени (RTX). Следует отметить тенденции включения SCADA-систем в системы комплексной автоматизации предприятия. Это обеспечивает точную, своевременную информацию на каждом уровне производства. Применение в SCADA-системах новых технологий, разработка инструментальных средств комплексной автоматизации предприятия свидетельствуют о стремлении и возможности фирм-разработчиков постоянно совершенствовать свои продукты, что является немаловажным фактором при выборе инструментального средства, даже если не все его технологические решения в ближайшее время будут использованы Вами. Так как общее поле деятельности ведущих компаний-производителей описываемых инструментальных систем сегодня концентрируется в области MS Windows, а общие технические возможности систем достаточно близки, то главный упор делается на качество технической поддержки, на качество обучения пользователей, на концентрацию и качество дополнительных комплексных услуг по освоению и внедрению конечной системы управления. Другими словами, упор делается на сокращение издержек системных интеграторов и конечных пользователей на инжиниринг и менеджмент своих проектов, на уменьшение стоимости сопровождения конечной системы. Именно эти показатели сегодня, в основном, влияют на рейтинг и рыночный успех той или иной SCADA-системы. Пожалуй, эти показатели даже более важны, чем абсолютные стоимостные характеристики SCADA-систем.

На основе сравнительного анализа SCADA-систем можно выделить следующую представительную группу SCADA-систем:

- Intouch (одна из наиболее мощных SCADA-систем);
- Citect (одна из наиболее мощных SCADA-систем);
- TRACE MODE (SCADA-система среднего класса отечественной разработки и производства);
- GeniDAQ (простая и недорогая SCADA-система).

SCADA-система Intouch (компания Wonderware, США) насчитывает более 100000 инсталляций во всем мире, причем 3000 из них выполнены компанией KLINKMANN (компания обеспечивает техническую поддержку и документацию на русском языке). В KLINKMANN разработано более 100 драйверов промышленного оборудования,

включая систему для беспроводной связи и управления на основе стандарта GSM, для применения с программным обеспечением Wonderware.

SCADA-система Vijeo Citect (компания Citect Pty. Ltd, Австралия) занимает более 6% мирового рынка SCADA-систем и более 60% австралийского рынка. Эта система в наибольшей степени отвечает свойству открытости в возможности подключения практически к любым контроллерам. Количество подключаемых точек ввода-вывода больше, чем в SCADA-системе Intouch, но Vijeo Citect проще в освоении. На российском рынке обеспечивается техническая поддержка Vijeo Citect, имеется система центров обучения и документация на русском языке. Демонстрационная версия Vijeo Citect имеет ограничения, несущественные для использования в учебном процессе (шесть часов непрерывной работы, при работе с внешними каналами ввода-вывода — 10 минут).

SCADA-система TRACE MODE (компания AdAstra Research Group, Ltd, Москва) представляет собой 32-разрядную SCADA и SoftLogic-систему для разработки АСУ ТП мирового класса. С более чем 3500 инсталляциями TRACE MODE является одной из наиболее покупаемых в России для разработки крупных диспетчерских комплексов и программирования PC-контроллеров. Система поддерживает более 300 марок контроллеров и УСО. Благодаря новым технологиям сквозного программирования операторских станций и контроллеров, а также автоматического построения проекта, мощь TRACE MODE теперь сочетается с простотой разработки. TRACE MODE имеет самую современную архитектуру, основанную на DCOM. Поддерживаются технологии OPC (сервер/клиент), ActiveX, Internet/Intranet, SQL/ODBC, DDE.

SCADA-система GeniDAQ является самой простой и недорогой SCADA-системой, наиболее простой в изучении и освоении. Ее демонстрационная версия имеет ограничения, несущественные для использования в учебном процессе (два часа непрерывной работы, ограниченное число каналов ввода-вывода и др.). С другой стороны, *GeniDAQ* является вполне представительной *SCADA*-системой.

Из сказанного следует, что для применения в учебном процессе перспективным является изучение SCADA-систем GeniDAQ и Vijeo Citect, причем именно в такой последовательности.

Глава 2. OPC — промышленный стандарт и средство интеграции компонентов в промышленной автоматизации

Ранее указывалось, что информационная автоматизированная система управления промышленным предприятием имеет открытую архитектуру (рис. 2.1), включающую следующие неотъемлемые уровни [1]:

- Нижний уровень, включающий полевые шины и отдельные контроллеры (Field Management), представляющие собой "интеллектуальные" технологические устройства: датчики, контролеры, механизмы и т. д. Поток информации от нижнего уровня должен быть предоставлен пользователю и всем приложениям верхнего уровня, использующим их, посредством цифровых коммуникационных протоколов связи. При этом в системе не должно возникать проблем несовместимости.
- Уровень АСУ ТП (Process Management) — уровень работы SCADA-систем для сбора данных и диспетчерского управления технологическими процессами на производстве. Этот уровень обеспечивает вторичную обработку данных, которые получены с нижнего уровня, сохранение данных и их доступность приложениям и пользователям верхнего уровня.
- Уровень автоматизированной системы управления предприятия (АСУП) — уровень приложений управления ресурсами предприятия (Business Management). Информация с уровня АСУ ТП должна доступной для уровня АСУП, т. е. доступ к данной информации со стороны прикладных программ также не должен вызывать проблемы несовместимости.

Для обеспечения совместимости между уровнями и создания эффективной интегрированной системы управления предприятием системный интегратор или разработчик АСУ ТП должен извлекать данные технологического процесса в реальном времени с самого нижнего уровня и обеспечивать "прозрачный" путь получаемым данным к самым верхним уровням. Чтобы получить систему, отвечающую всем потребностям заказчика, системному интегратору или разработчику необходимо использовать инструментальные средства управления различных уровней — SCADA-пакеты, базы данных, электронные таблицы. Ключ к этому — открытая и эффективная коммуникационная архитектура взаимодействия между приложениями, которую предлагает стандарт OPC (OLE for Process Control).

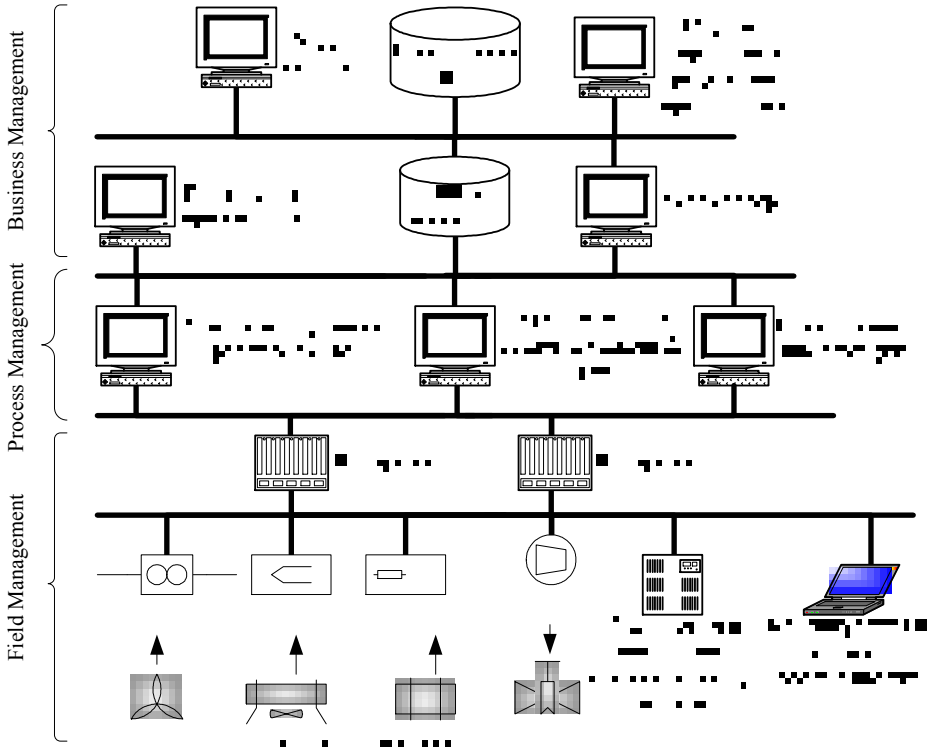


Рис. 2.1. Архитектура информационной автоматизированной системы управления промышленным предприятием

2.1. Что такое OPC?

Попытаемся определить, что такое OPC. *OPC* — технология связывания и внедрения объектов для систем промышленной автоматизации, предназначенная для обеспечения универсального механизма обмена данными между датчиками, исполнительными механизмами, контроллерами, устройствами связи с объектом и системами представления технологической информации, оперативного диспетчерского управления, а также системами управления базами данных.

На сегодняшний день технология OPC в определенной степени реализована, но продолжает развиваться. Консорциум OPC Foundation, объединяющий более 300 производителей средств промышленной автоматизации, разрабатывает все аспекты, связанные с взаимодействием между компонентами программного обеспечения, между программным обеспечением и между системами типа SCADA и технологическим оборудованием. OPC Foundation привлекает к разработке спецификаций обмена ведущих производителей оборудования и систем автоматизации, которые стараются максимально учесть свой опыт и предоставить абсолютно всё необходимое тому, кто будет использовать OPC. Существуют много

спецификаций OPC — Data Access (доступ к данным реального времени), Alarms & Events (обработка тревог и событий), Historical Data Access (доступ к архивным данным) и т. д. Поэтому можно определить OPC как стандарт взаимодействия между программными компонентами сбора данных и управления, основанный на объектной модели COM/DCOM фирмы Microsoft. Через интерфейсы OPC одни приложения могут читать или записывать данные в другие приложения, обмениваться событиями, оповещать друг друга о нештатных ситуациях, осуществлять доступ к данным, зарегистрированным в архивах. Эти приложения могут располагаться как на одном компьютере, так и быть распределенными в сети. При этом, независимо от фирмы-поставщика, стандарт OPC, признанный и поддерживаемый всеми ведущими фирмами-производителями SCADA-систем и оборудования, обеспечит их совместное функционирование.

Популярный класс OPC-приложений представляют собой OPC-серверы конкретных аппаратных устройств, обеспечивающие предоставление информации о состоянии параметров многочисленных устройств технологического процесса, полученной OPC-приложением, OPC-клиентам на локальном компьютере или в компьютерной сети. OPC-сервер создает свою абстракцию устройств (это загружаемый модуль, предоставляющий интерфейс нижнего уровня с оборудованием, на котором исполняется OPC-сервер). OPC-сервер скрывает аппаратно-зависимые детали, такие как интерфейс ввода/вывода, контролеры прерываний и механизм коммуникации в многопроцессорных системах — любые функции, зависящие от конкретной архитектуры и машин, позволяя любому OPC-клиенту записывать и считывать данные с устройства. Устройство, для которого есть OPC-сервер, может использоваться вместе с любой современной SCADA-системой.

Современные SCADA-системы не ограничивают выбор аппаратных средств нижнего уровня, так как SCADA-пакеты предоставляют большой набор драйверов или серверов ввода/вывода (в т. ч. OPC-серверы) и имеют хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов для новых и нестандартных устройств нижнего уровня. Производители аппаратных средств нижнего уровня, используя спецификации OPC, имеют возможность разрабатывать свой OPC-сервер для обеспечения доступа к данным реального времени и передачи данных приложениям — клиентам различных производителей программного обеспечения для промышленной автоматизации (в т. ч. SCADA-системам).

2.2. DCOM и OPC-приложения

Технология OPC основана на модели распределенных компонентных объектов *DCOM* — Distributed COM. Модель представляет собой сетевое расширение COM или распределённую COM (Component Object Model). Технология COM — Моделей Компонентных Объектов — создана первоначально Microsoft для совместного использования различных офисных приложений в Windows, например, электронных таблиц Excel, редактора Word и т. п.

COM поддерживает модель "клиент-сервер" [9]. Объекты, называемые серверами, предоставляют некие функции в распоряжение объектов, называемых клиентами.

Серверы всегда являются COM-объектами, т. е. объектами, которые подчиняются спецификации COM. С другой стороны, клиенты могут быть COM-объектами или не быть таковыми. Это значит, что некоторые объекты могут быть простыми объектами C++, приложениями Visual Basic и т. п. Каждый COM-объект существует внутри конкретного сервера. Этот сервер содержит программный код реализации операций, а также данные активного COM-объекта. Один сервер может обеспечивать несколько объектов и даже несколько COM-классов. Используются три типа серверов (рис. 2.2):

- внутризадачный сервер (in-process) — объекты находятся в динамически подключаемой библиотеке и, следовательно, выполняются в том же процессе, что и клиент;
- локальный сервер (local) — объекты находятся в отдельном процессе, выполняются в том же компьютере, что и клиент;
- удаленный сервер (remote) — объекты находятся в DLL или в отдельном процессе, который расположен на удаленном от клиента компьютере.

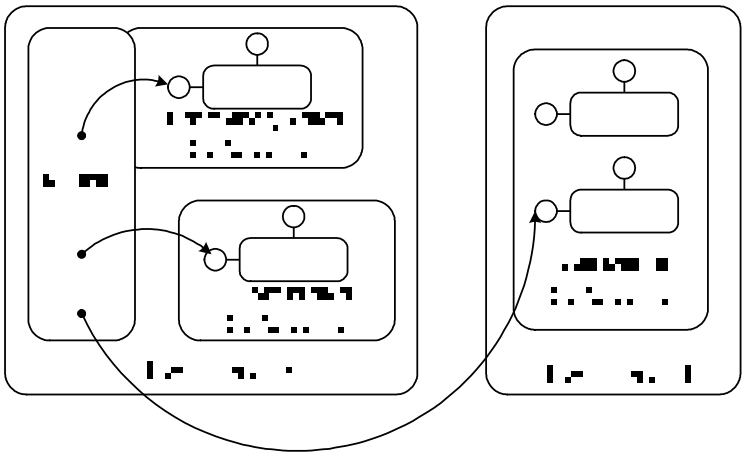


Рис. 2.2. Разновидности OPC-серверов

Клиенты и локальные серверы находятся в различных адресных пространствах. OPC берет на себя заботу о передаче данных между ними. В случае внутризадачных серверов, родительский процесс загружает DDL-файл, содержащий COM-сервер. Это означает, что внутризадачный сервер находится в том же адресном пространстве, что и вызвавший его процесс. В случае DCOM вызов любой функции объекта перехватывается специальным агентом-посредником, называемым Proxy Manager или Stub Manager. Proxy Manager получает все запросы на транспортировку и определяет, стандартные ли данные запрашивает или предлагает клиент. Если это так, Proxy Manager передает запрос подходящему Proxy-объекту. Подходящие Proxy и Stub — это объекты, предназначенные для транспортировки данного интерфейса и/или типа данных. Аналогичный процесс происходит на стороне Stub Manager. Встроенные Proxy и Stub называются транспортировщиками интерфейса.

Популярным вариантом OPC-клиента является SCADA-система. С помощью OPC-серверов SCADA-система может обращаться к любому аппаратному устройству (рис. 2.3) путем вызова определенных функций OPC-сервера, подписываться на получение определенных данных какого-либо канала или устройства с требуемой частотой. В свою очередь, OPC-сервер опрашивает аппаратное устройство, вызывает известные функции клиента, подтверждает клиенту получение данных и посылает требуемые клиенту данные.

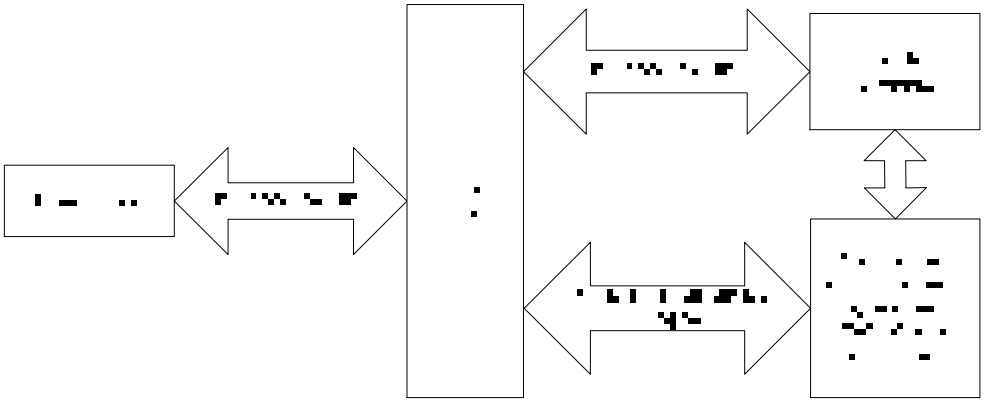


Рис. 2.3

Обмен данными между OPC-клиентом и OPC-сервером может быть реализован в трех режимах — синхронного чтения/записи, асинхронного чтения/записи и режиме подписки (только чтение).

При синхронном чтении/записи клиент посылает серверу запрос со списком интересующих его переменных и ждёт, когда сервер его выполнит.

При асинхронном чтении/записи клиент посылает серверу запрос, а сам продолжает работать. Когда сервер выполнил запрос, клиент получает уведомление. Этот режим обладает большей гибкостью и рекомендуется в большинстве случаев, т. к. он минимизирует затраты процессорного времени и сетевых ресурсов, особенно при передаче большого количества данных.

В случае *подписки* клиент передаёт серверу список интересующих его переменных, а сервер присылает клиенту информацию об изменившихся переменных из этого списка. При этом сервер будет передавать клиенту информацию только тогда, когда данные изменились, причём эти данные передаются единым блоком. Эти меры позволяют существенно ускорить обмен данными, особенно если речь идёт о взаимодействии через сеть.

Кроме механизмов обмена данными, при реализации OPC-серверов необходимо учитывать еще один важный аспект — источник получаемых данных. В зависимости от реализации OPC-сервера, клиенты могут свободно получать данные от разных источников — непосредственно от устройства или из кэша OPC-сервера.

2.3. Почему OPC?

Ранее уже упоминалось, что основная цель OPC-стандарта заключается в определении *механизма доступа к данным любого устройства из различных приложений*. OPC позволяет производителям оборудования стандартизовать свои продукты, обеспечивает подключение оборудования различных производителей, в т. ч. подключение к SCADA-системам.

Идеальной выглядела бы следующая картина. Все в мире признают OPC своим стандартом. При этом все поставщики оборудования снабжают свои продукты OPC-серверами. Все поставщики программ для систем управления делают свои продукты OPC-клиентами — а все производители операционных систем поддерживают в своих ОС технологии COM/DCOM, а также предоставляют сервисный инструментарий. И при этом все это делают на высоком профессиональном уровне и очень грамотно рассказывают сборщикам систем, как это всё собирать и конфигурировать. Тогда пользователи будут иметь широкую возможность выбора оптимальных для своей системы компонентов, а не создавать систему управления "с нуля" и не выбрасывать свой имеющий контроллер. Таким образом, по образному выражению Теркеля [10], *OPC — это свобода выбора.*

Преимущество применения стандарта *OPC* с точки зрения интеграции достаточно прозрачно. С применением OPC-стандарта появляется возможность *интегрировать в единую систему неоднородные узлы*.

OPC-стандарт можно рассматривать как “универсальный переходник”. Если мы заменяем какой-нибудь компонент клиентского приложения, то нет необходимости корректировать серверное приложение, поскольку COM обеспечивает эффективное управление изменением программы. Если мы хотим добавить в систему новое оборудование, то достаточно его включить в OPC-сервер. При этом клиентские программы не требуют изменений, в т. ч. для *SCADA*-систем.

В настоящее время, консорциум OPC Foundation набирает силу в разработке открытых промышленных стандартов на основе OPC-стандарта на базе PC и операционных систем Microsoft. Как указывалось ранее, в состав OPC Foundation входят более 300 членов, среди которых практически все мировые ведущие производители технологического оборудования, систем автоматизированного управления и программного обеспечения. Членами организации являются, например, фирмы Iconics Inc. (США), Wonderware (США), Citect (Австралия), AdAstra (Россия), Siemens (Германия), Rockwell Software (США), Intellution (США), Indusoft Russia (Россия), Fastwel Inc. (Россия), ABB Automation (США), Fieldbus Foundation (США), Toshiba Corp. (Япония), Hitachi (Япония), National Instruments (США) и др. Организация пытается охватить все аспекты, связанные с взаимодействием с технологическим оборудованием. Ведущие производители стараются максимально учесть свой опыт и предоставить абсолютно всё необходимое тому, кто будет использовать OPC. Этот факт показывает *большой авторитет OPC-технологии*. Это перспективная технология для использования в развитии автоматизированных систем управления.

2.4. Заключение

OPC-технология содержит стандарты, обеспечивающие взаимодействие программных средств промышленной автоматизации. В технологию заложены богатые возможности, которые дают руководителям предприятия возможность интеграции разнородных систем и обеспечивают разработчикам свободу выбора с применением OPC-спецификаций, позволяют не задумываться по поводу поддержки аппаратуры завтрашнего дня. Консорциум OPC Foundation создал интерфейс, который объединяет все компоненты систем автоматизации и визуализации ведущих производителей. OPC станет технологией, которую не сможет проигнорировать ни один производитель средств промышленной автоматизации.

Глава 3. Краткий обзор SCADA-системы GeniDAQ

Рассмотрим основные отличительные особенности SCADA-системы GeniDAQ и ее место на рынке SCADA-систем.

3.1. Почему мы рассматриваем GeniDAQ?

Производитель SCADA-системы GeniDAQ — американское отделение фирмы Advantech, которая является известным производителем компьютеров и электроники для промышленной автоматизации. Отличительной чертой SCADA-системы GeniDAQ является то, что Вы можете получить полноценную SCADA-систему (Runtime-версию) для Windows всего за несколько сотен долларов. Даже "доморощенные" пакеты с неясным будущим за такую цену уже давно никто не предлагает. А почувствовать себя честным пользователем лицензионно чистой копии добротно сделанного продукта фирмы с мировым именем почти даром — просто приятно. Секрет низкой цены в этом случае раскрывается просто — SCADA-система GeniDAQ предназначена для программной поддержки аппаратуры фирмы Advantech и, в первую очередь, содержит драйверы именно для нее. Вместе с тем, никто не запрещает использовать SCADA-систему GeniDAQ и с оборудованием других изготовителей. Последнее объясняется тем, что SCADA-пакет GeniDAQ полнофункционально поддерживает OPC-спецификацию. С этой точки зрения, SCADA-систему GeniDAQ можно рассматривать в качестве OPC-клиента. Большинство ведущих производителей оборудования в мире поставляет на рынок свои аппаратные средства вместе с соответствующими OPC-серверами. С помощью OPC-технологии можно легко создавать приложения, которые работают не только с устройствами фирмы Advantech, но и с аппаратурой любых других фирм.

Другой важной отличительной чертой SCADA-пакета GeniDAQ является прекрасно продуманный интерфейс пользователя. Намеренно сократив число "степеней свободы" в инструментальной части пакета и написав прекрасную справку (Help, помощь), авторы пакета создали уникальный по простоте освоения программный продукт. В худшем случае, уже через несколько часов знакомства с пакетом, Вы сможете написать что-нибудь содержательное и работающее. Если же это окажется не так, то Вам стоит задуматься о смене профессиональной ориентации. Прекрасно выполненная демоверсия пакета одновременно служит и хорошим учебным пособием — разобравшись в работе десятка примеров несложных программ, можно спокойно принять решение о приобретении полной версии [11].

3.2. Системная архитектура GeniDAQ

SCADA-пакет GeniDAQ имеет открытую архитектуру[5, 12], что обеспечивает наибольшую гибкость и эффективность (рис. 3.1).

Центр обработки данных является основным информационным хранилищем в GeniDAQ и представляет собой набор библиотек динамической компоновки (DLL), которые предназначены для размещения и хранения всех данных, связанных с работой приложения под управлением исполнительной среды GeniDAQ. Результаты выполнения всех функциональных блоков и данные, вводимые пользователем с помощью элементов управления в экранных формах, передаются в центр обработки данных.

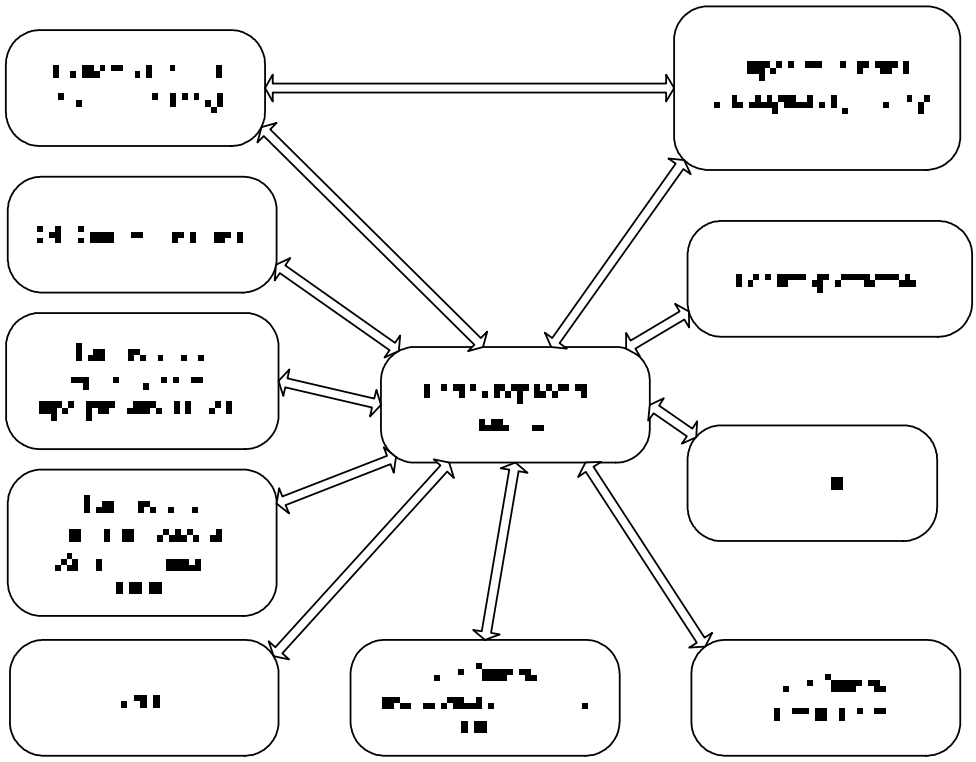


Рис. 3.1. Системная архитектура SCADA-пакета GeniDAQ

Центр обработки данных располагается в физической (не виртуальной) оперативной памяти для обеспечения наиболее быстрого сохранения и извлечения данных. Ключом для поиска информационного объекта в центре обработки данных является имя тега. Для увеличения скорости доступа к информации в центре обработки данных могут быть использованы эффективные алгоритмы, реализация которых имеется в библиотеке классов Microsoft Foundation Classes (MFC). Каждый объект в центре обработки данных имеет имя тега, идентификатор функционального блока, период обновления информации, счетчик доступа и значение, связанное с объектом. Другие приложения Windows могут использовать имя тега для получения идентификатора функционального блока из центра обработки данных. Идентификатор функционального блока, наряду с именем тега, также может

применяться в качестве ключа для поиска объекта в центре обработки данных. Центр обработки данных поддерживает ряд способов взаимодействия пакета с другими приложениями Windows:

- интерфейс прикладного программирования C API;
- интерфейс динамического обмена данными DDE;
- интерфейс связывания и внедрения (встраивания) объектов OLE Automation;
- OPC-интерфейс для подключения к OPC-серверам;
- интерфейс TCP/IP для организации обмена данными в сети.

Интерфейс прикладного программирования C API представляет собой наиболее эффективное средство взаимодействия между SCADA-пакетом GeniDAQ и другими приложениями, поскольку с его помощью осуществляется взаимодействие между программными компонентами GeniDAQ.

Интерфейс связывания и внедрения объектов OLE Automation предназначен для организации взаимодействия между GeniDAQ и другими приложениями Windows, поддерживающими механизм OLE. Интерфейс OLE Automation является основой *интерфейса OPC*, который можно рассматривать как дальнейшее развитие OLE Automation. OPC-интерфейс используется для обмена данными между GeniDAQ и OPC-серверами для управления и сбора данных в системах промышленной автоматизации.

С помощью *интерфейса TCP/IP* данные о технологическом процессе можно наблюдать и регистрировать в режиме реального времени в любой точке локальной сети.

Исполнительная среда GeniDAQ обеспечивает возможность переключения нескольких задач в процессе исполнения, а также позволяет осуществлять однократный вызов задач. Этим объясняется способность GeniDAQ одновременно исполнять несколько задач. Поскольку один вызов задачи является наименьшей единицей исполнения, пользователи получают возможность разрабатывать приложение таким образом, чтобы логически и функционально связанные блоки группировались в одной и той же задаче. Использование основного сценария (подробнее см. далее) для управления исполнением задач позволяет вызывать те или иные задачи только при выполнении определенных условий. В результате появляется возможность разработки сложных систем путем объединения простых задач. Простое приложение, содержащее одну задачу, может исполняться без использования сценарных процедур. Имеется возможность определения приоритетов выполнения задач для оптимизации работы системы.

Ядро подсистемы исполнения сценарных процедур пакета GeniDAQ представляет собой набор библиотек динамической компоновки, с помощью которых выполняется предварительная компиляция сценарных процедур на этапе разработки, и исполнение сценариев в процессе выполнения приложения. Бейсик-сценарий обеспечивает возможность не только манипуляции задачами, входящими в стратегию (приложение), но и взаимодействия с Windows-приложениями и другими приложениями посредством механизмов DDE, OLE, OPC и ODBC (SQL). Синтаксис

Бейсик-сценария совместим с Microsoft VBA (Visual Basic for Application, используемым в Excel, Word, Access и т. п.) и Microsoft Visual Basic. Бейсик-сценарий и VBA имеют ряд несовместимых функций, но более 95% функций и процедур абсолютно идентичны. При использовании в Бейсик-сценарии базовых функций имеется возможность компиляции и исполнения программ, написанных на Visual Basic, без каких-либо изменений. Номера ошибок и сообщения об ошибках в Бейсик-сценарии также совместимы с имеющимися в Visual Basic. В состав Бейсик-сценария входит редактор, позволяющий разрабатывать собственные средства взаимодействия с оператором. Средство программирования сценарных процедур делает пакет GeniDAQ одним из наиболее удобных и современных инструментов для разработки программного обеспечения верхнего уровня систем сбора данных и оперативного диспетчерского управления (SCADA).

Драйверы в виде библиотек динамической компоновки. В пакете GeniDAQ, как и в более ранних версиях пакета, используются загружаемые драйверы в виде библиотек динамической компоновки. Для обмена информацией с исполнительной средой GeniDAQ в драйверах используется интерфейс прикладного программирования C API. *Драйверы устройств* могут непосредственно обмениваться данными с центром обработки данных посредством вызовов функций языка C. Таким же способом может осуществляться информационный обмен между GeniDAQ и другими приложениями Windows.

Редактор отчетов является отдельным приложением, которое полностью независимо от исполнительной среды. Редактор отчетов обеспечивает пользователю возможность формирования отчетов и вывода их на экран монитора или печатающее устройство.

Глава 4. Учебник по SCADA-системе GeniDAQ

Данная глава является основной главой первой части учебного пособия. В ней с использованием демонстрационных примеров приводятся общие правила выполнения основных операций редактора задач, редактора форм отображения и редактора сценариев SCADA-пакета GeniDAQ [13].

> ***Совет***
> На прилагаемом DVD-диске содержатся файлы для инсталляции демонстрационной версии SCADA-системы GeniDAQ и указания по ее инсталляции. Настоятельно советуем вам установить SCADA-систему и пользоваться ею при изучении материала — это важно.

Для создания приложений (стратегий) и окон отображения с помощью редактора задач и редактора форм отображения следует использовать мышь, что позволит значительно повысить степень интуитивного восприятия предоставляемого GeniDAQ графического интерфейса. Далее будет использоваться следующая терминология, относящаяся к способам работы с указательными устройствами в среде операционной системы Windows.

Указание объекта заключается в помещении подвижного (не текстового) курсора мыши в область отображения объекта (пиктограммы, кнопки, поля, имени файла и т. п.) на экране монитора путем перемещения мыши.

Щелчок и двойной щелчок — помещение подвижного курсора мыши в область отображения объекта на экране монитора путем перемещения мыши с последующим нажатием и быстрым отпусканием ее левой клавиши (щелчок) или с последовательным двойным нажатием и отпусканием левой клавиши мыши (двойной щелчок). Указанные действия обычно ассоциируются с выбором объекта и с выполнением операции, связанной с данным объектом. Выбор блока в окне редактора задач или элемента отображения в окне редактора форм отображения приведет к выделению выбранного объекта вдоль периметра рамкой. Объект остается выбранным (выделенным) до выполнения следующей операции.

Перенос курсора — перемещение подвижного курсора мыши при одновременном нажатии и удержании ее левой клавиши с последующим отпусканием. При выполнении операции переноса с одновременным выбором объекта происходит его перемещение до отпускания левой клавиши мыши. Операция переноса курсора может быть использована также для выделения нескольких объектов в окне редактора задач или редактора форм отображения.

Использование справочной системы. В процессе работы с GeniDAQ имеется возможность получения справочной информации путем выполнения команды **Help | Help Topics** построителя стратегии. Кроме того, в каждом окне диалога имеется кнопка **Help**, позволяющая вызвать относящуюся к текущему диалогу

справочную информацию. Контекстная справка, если она предусмотрена, может быть вызвана путем выбора кнопки на панели инструментов с изображением стрелки и вопросительного знака.

Учебные стратегии GeniDAQ. Для быстрого освоения приемов работы со SCADA-системой GeniDAQ в комплект поставки включены девять учебных приложений (стратегий), которые после инсталляции SCADA-системы помещаются в папку \Program Files\Advantech\GeniDAQ\Strategy. В учебных стратегиях используется программный эмулятор сигналов **Advantech DEMO I/O=1H**, который позволяет создавать и запускать на исполнение демонстрационные и обучающие приложения без применения каких-либо дополнительных аппаратных средств. В этой же папке имеется и еще ряд стратегий, изучение которых представляет интерес. Далее, с целью обучения, приводится описание всех учебных приложений и, дополнительно, разработанных автором некоторых других стратегий (приложений). Такой подход обеспечивает быстрое формирование у пользователя начальных навыков работы со SCADA-системой.

4.1. Занятие 1 "Демонстрация базовых приемов работы — одна задача реального времени с отображением результатов ее работы в одном экранном окне"

Цель занятия состоит в демонстрации базовых приемов работы со SCADA-системой GeniDAQ. Далее показывается простой способ использования средств, предоставляемых GeniDAQ, для сбора в реальном масштабе времени измерительной информации и отображения ее в экранном окне на графике зависимости от времени и на цифровом индикаторе. Для этого используются программный эмулятор сигналов **Advantech I/O**, блок аналогового ввода для сбора измерительной информации и два индикатора — график зависимости от времени и цифровой индикатор.

4.1.1. Используемый инструментарий

*Используемый инструментарий***.** Для построения пользовательского *приложения*, выполняющего требуемые функции, используется построитель приложений GeniDAQ Builder и программный эмулятор **Advantech DEMO I/O**. Процесс построения приложения состоит из двух этапов:

- собственно проектирования приложения (в SCADA-системе GeniDAQ этот этап называют построением *стратегии*);
- разработка визуального отображения работы созданного приложения для оперативного персонала (в SCADA-системе GeniDAQ этот этап называют построением *форм отображения*).

На первом этапе построитель приложений использует *редактор задач*, имеющий собственное окно и панель инструментов (рис. 4.1).

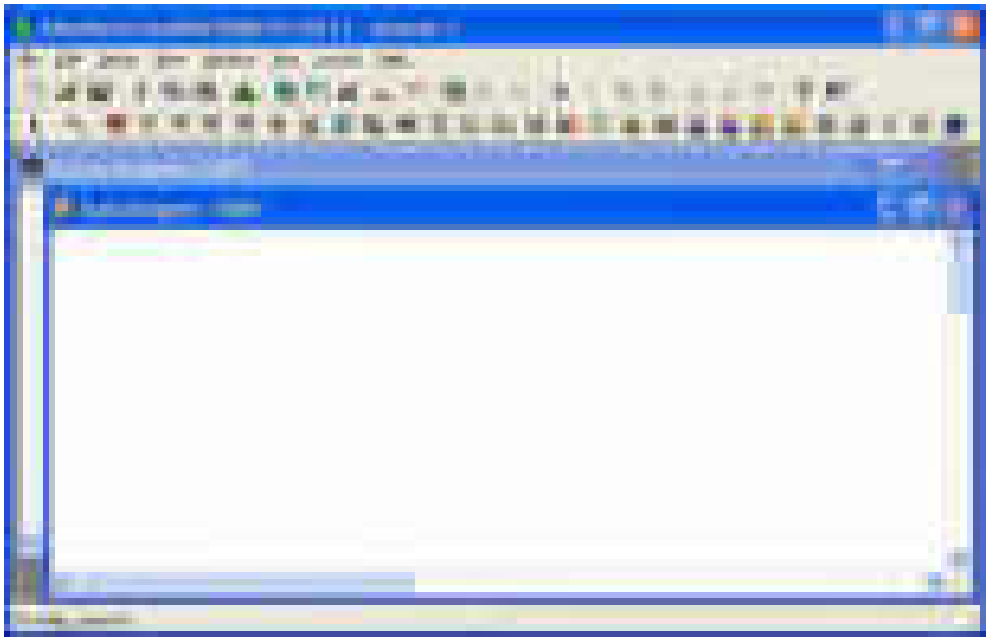


Рис. 4.1. Главное окно построителя приложений с окном **Task Designer: TASK1** и панелью инструментов редактора задач

На втором этапе построитель приложений использует *редактор форм отображения*, который также использует собственное окно и панель инструментов (рис. 4.2).

Редактор задач использует визуальную (информационно-поточную) модель программирования, которая значительно удобнее, чем традиционная линейная архитектура текстовых языков программирования. При проектировании приложения для сбора данных и управления пользователь (разработчик) создает блок-схему стратегии. При этом он не должен уделять особого внимания различным логическим и синтаксическим соглашениям, принятым в стандартных языках программирования. При проектировании приложения разработчик просто выбирает объекты (пиктограммы функциональных блоков на панели инструментов редактора задач) и соединяет их проводниками для передачи данных от одного блока к другому. Каждый функциональный блок, представлен пиктограммой на панели инструментов редактора задач и предназначен для выполнения соответствующей встроенной функции обработки данных, поступающих от аппаратуры или вводимых пользователем. Ряд блоков позволяет организовывать взаимодействие непосредственно с низкоуровневыми драйверами аппаратуры.

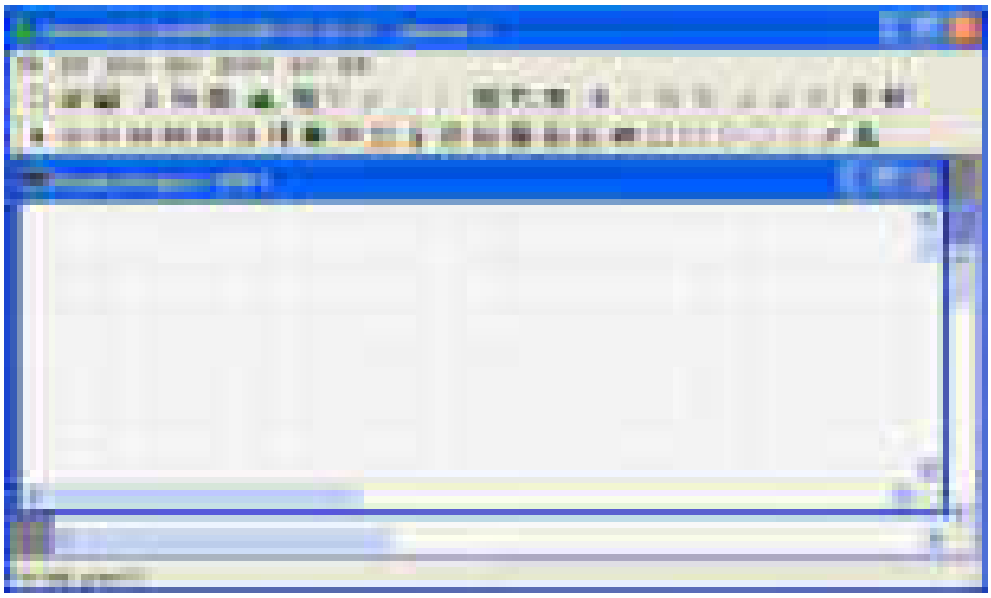


Рис. 4.2. Главное окно построителя приложений с окном **Display Designer: DISP1** и панелью инструментов редактора форм отображения

Ранее уже упоминалось, что редактор задач состоит из двух основных компонент: панели инструментов и окна. Для создания стратегии в клиентскую область окна редактора задач с помощью операции "перенести и оставить" (Drag and Drop) помещаются требуемые функциональные блоки. При этом размещение функционального блока выполняется путем щелчка левой кнопкой мыши по его пиктограмме на панели инструментов, последующем перемещении курсора мыши в требуемую позицию окна редактора задач и повторного щелчка левой кнопкой мыши. После размещения в окне всех необходимых функциональных блоков и их конфигурирования устанавливаются связи между ними в соответствии с требованиями реализуемого алгоритма сбора данных и управления. Для этой цели используется проводник, представленный соответствующей пиктограммой на панели инструментов редактора задач.

В рамках данного занятия используется один функциональный блок редактора задач — *блок аналогового ввода*. Данный функциональный блок предназначен для приема информации от устройств, имеющих подсистему ввода аналоговых сигналов, и передачи указанных сигналов другим функциональным блокам и элементам отображения. Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме блока аналогового ввода в окне редактора задач приводит к появлению диалогового окна настройки параметров блока. Пример диалогового окна приведен на рис. 4.3. Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров блока аналогового ввода будут также рассмотрены в последующих примерах.

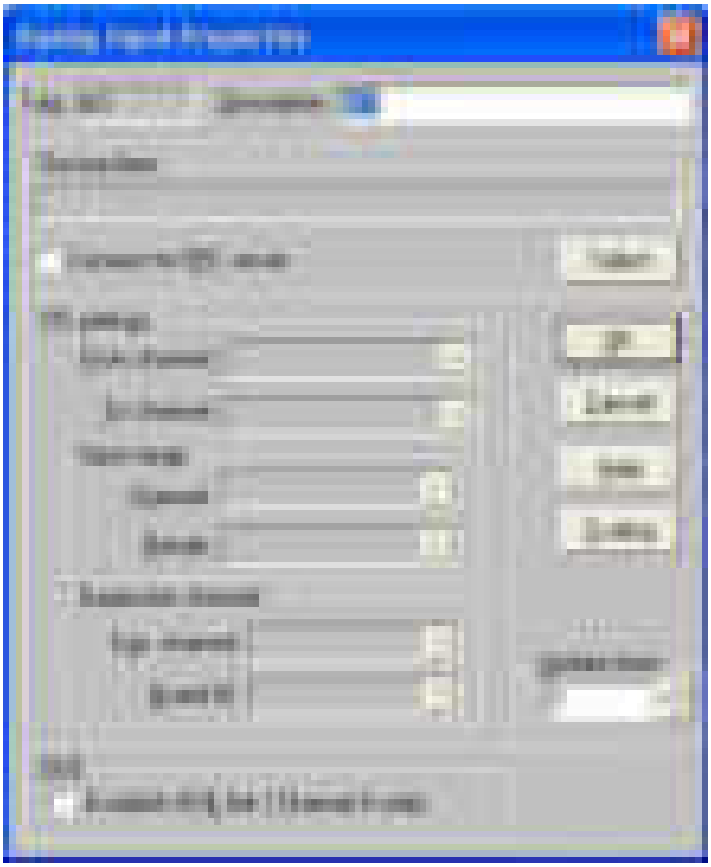


Рис. 4.3. Вид диалогового окна настройки блока аналогового ввода

Редактор форм отображения предназначен для создания графических мнемосхем автоматизированных рабочих мест оператора, обеспечивающих динамическое представление информации о контролируемом технологическом процессе в удобной для восприятия форме. Кроме того, редактор обеспечивает возможность использования растровых изображений, создаваемых разработчиком, в качестве фоновых рисунков. Оператор может не только следить за ходом контролируемого процесса, но и осуществлять управление его параметрами в процессе исполнения стратегии, спроектированной с помощью редактора задач.

По завершении или во время разработки стратегии может быть принято решение о том, какая информация и в каком виде должна быть представлена оператору в окне редактора форм отображения в процессе исполнения стратегии. Перед началом создания мнемосхемы рекомендуется уделить серьезное внимание предварительной проработке ее внешнего вида — перечню элементов отображения/управления (динамических элементов), виду фоновых рисунков (статическая часть мнемосхемы),

а также тому, какие именно данные должны быть отображены с помощью динамических элементов.

Редактор форм отображения, как и редактор задач, состоит из двух основных компонент: панели инструментов с пиктограммами динамических элементов (элементов отображения/управления) и окна. Для создания мнемосхемы в клиентскую область окна редактора форм отображения с помощью операции "перенести и оставить" (Drag and Drop) помещаются требуемые динамические элементы. После размещения в окне всех необходимых динамических элементов, их конфигурирования и создания фоновых рисунков создание мнемосхемы закончено и ею можно пользоваться.

В рамках данного занятия используется два динамических элемента редактора форм отображения — цифровой индикатор (Numeric String) и временной график (Realtime Trend Graph).

Цифровой индикатор предназначен для отображения значения параметра на выходе присоединенного функционального блока стратегии, а также для вывода на экран текстовых строк, поступающих с выхода блока процедуры пользователя или блока Бейсик-сценария в процессе исполнения стратегии. Цифровой индикатор может быть помещен в окно формы отображения и связан с выходной переменной функционального блока задачи, входящей в стратегию. Имеется возможность установки требуемых размеров индикатора. Цифровой индикатор может использоваться для отображения вещественных (с плавающей точкой) и целочисленных переменных, а также текстовых строк. Кроме того, имеется возможность установки требуемого количества цифр после десятичной точки при отображении вещественных значений, выбора типа шрифта, его цвета и размера, а также метода выравнивания отображаемого значения или строки. Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме цифрового индикатора в окне редактора форм отображения приводит к появлению диалоговой окна настройки параметров индикатора. Пример диалогового окна приведен на рис. 4.4. Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров цифрового индикатора будут также рассмотрены в примерах, следующих далее.

Временной график предназначен для отображения на мнемосхеме (в окне формы отображения) временной зависимости одной или нескольких переменных стратегии. Количество зависимостей величин на выходах функциональных блоков от времени, отображаемых с помощью динамического элемента, может быть неограниченным, однако из практических соображений не рекомендуется строить более восьми временных зависимостей на одном графике. Имеется возможность выбора цвета графика и диапазонов по осям абсцисс (время) и ординат (параметр) Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме временного графика в окне редактора форм отображения приводит к появлению диалоговой окна настройки параметров графика. Пример диалогового окна приведен на рис. 4.5. Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров временного графика будут рассмотрены в примерах, следующих далее.

Рис. 4.4. Вид диалогового окна для задания параметров цифрового индикатора

Программный эмулятор Advantech DEMO I/O представляет собой программный эмулятор платы ввода/вывода, который позволяет проверить большинство функций без использования каких-либо аппаратных средств ввода-вывода. Эмулятор имеет в своем составе четыре канала аналогового ввода и два канала цифрового ввода — вывода. Канал 0 аналогового ввода моделирует синусоидальный сигнал ± 5 вольт, канал 1 — сигнал прямоугольной формы ± 5 вольт, канал 2 — пилообразный сигнал ± 5 вольт и канал 3 — случайный сигнал. Каждый используемый эмулятор должен иметь собственный уникальный базовый адрес. Устанавливайте базовый адрес для каждого эмулятора ввода/вывода в соответствующем диалоговом окне.

4.1.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. *Первое действие — запустите построитель приложений и создайте новое приложение*. После включения компьютера на экране компьютера появляется запрос на ввод атрибутов пользователя. Запустите построитель приложений двойным щелчком левой кнопкой мыши на ярлыке **GeniDAQ Builder 4.25**, расположенном на рабочем столе. В результате на экран будет выведено главное окно построителя приложений (рис. 4.6). Для запуска построителя задач в демонстрационном режиме последовательно нажмите кнопки **Exit** и **OK**. Демонстрационный режим отличается непрерывным двухчасовым интервалом работы и меньшим количеством входных и выходных каналов. В нашем случае

это несущественно. Нажмите кнопку **New** на панели инструментов (ее легко найти, так как все кнопки снабжены всплывающими подсказками). После этого в главном окне построителя приложений появится диалоговое окно настройки, которое может быть настроено так, как это показано на рис. 4.7. При работе в учебной лаборатории в поле **Location** качестве каталога следует использовать каталог, к которому имеется полный доступ. После нажатия кнопки **OK** и подтверждения необходимости создания каталога **Занятие 1**, который до этого не существовал, в главном окне построителя задач появятся пустые окна редактора задач **TASK1** и редактора форм отображения **DISP1**. Произведите щелчок мышью в области окна редактора задач и окно с заголовком **Task Designer: TASK1** будет выдвинуто на передний план (см. приведенный ранее рис. 4.1). В окне построителя задач появится еще одна панель инструментов, содержащая пиктограммы встроенных функциональных блоков редактора задач.

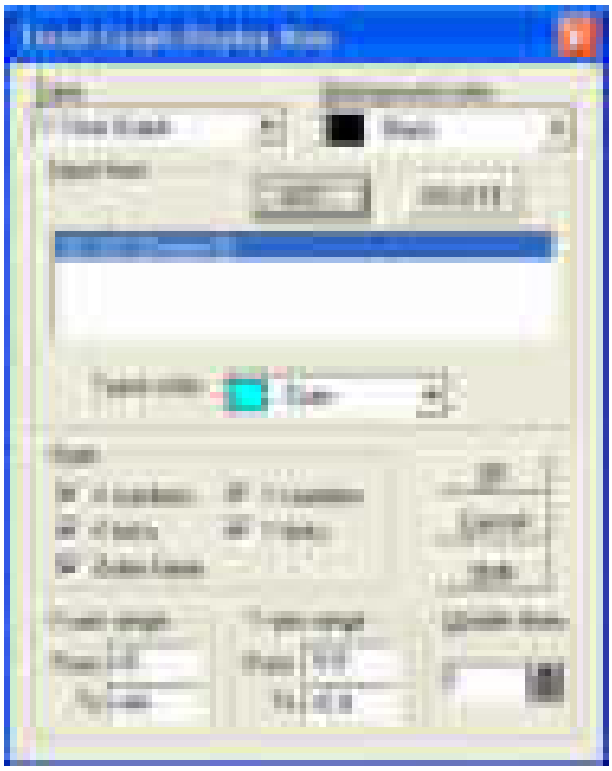


Рис. 4.5. Пример диалогового окна настройки графика времени

Примечание

Атрибуты пользователя следует получить у преподавателя. Пользователь должен обладать правами администратора.

2. *Второе действие — задайте временные параметры запуска приложения*. Для этого нажмите кнопку **Task Properties** на панели инструментов или выполните команду **Setup | Task Properties**, в появившемся окне задайте требуемое значение периода (рис. 4.8) и нажмите кнопку **OK**. В нашем примере задан период запуска приложения 100 миллисекунд.
3. *Третье действие — разместите в окне редактора задач блок аналогового ввода и настройте его*. На панели инструментов выберите кнопку с мнемоникой **AI**, поместите на нее курсор мыши, щелкните левой кнопкой мыши, переместите мышь в окно редактора задач и еще раз щелкните левой кнопкой мыши. При этом в окне редактора задач появится блок аналогового ввода с позиционным обозначением **AI1**. Данную операцию принято называть "перенести и оставить" (Drag and Drop) — рис. 4.9. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над блоком аналогового ввода и появится диалоговое окно его настройки. Для выбора источника аналогового сигнала, если для блока аналогового ввода не указано связанное с ним устройство (поле **Device/Item** пусто), нажмите кнопку **Select**, в появившемся окне диалоговом окне выберите программный эмулятор сигнала (рис. 4.10) и нажмите кнопку **OK**. В данном случае **1H** является 16-ричным адресом экземпляра эмулятора. В результате диалоговое окно настройки блока аналогового ввода приобретает вид, показанный на рис. 4.11. Нулевые значения каналов в полях **From channel** и **To channel** означают, что в эмуляторе будет использован синусоидальный сигнал с амплитудой 5 вольт и нулевым смещением. Значение в поле **Update times** является делителем, который позволяет вызывать блок аналогового ввода и сканировать соответствующие ему каналы устройства аналогового ввода реже, чем вызывается вся задача, в которую входит данный функциональный блок. Например, пусть задача вызывается (сканируется) один раз в 100 миллисекунд. Для того чтобы блок аналогового ввода, входящий в данную задачу, вызывался один раз в 200 миллисекунд, следует установить в поле **Update times** значение 2. В этом случае значение на выходе блока аналогового ввода будет обновляться через каждые два вызова задачи, содержащей блок. Делитель может изменяться в диапазоне от 1 до 32767. В нашем примере задача и блок аналогового ввода выполняются синхронно, с одинаковым периодом 100 миллисекунд. Для сохранения значений параметров блока аналогового ввода нажмите кнопку **OK**.

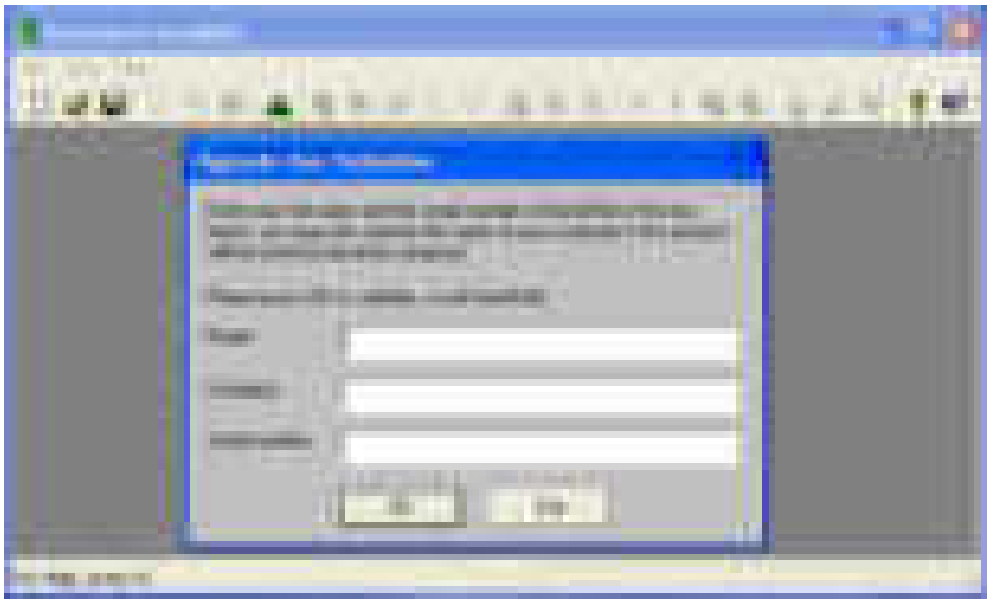


Рис. 4.6. Главное окно построителя приложений

4. *Четвертое действие — перейдите в окно редактора форм отображения и сконфигурируйте его*. Чтобы сделать активным окно **DISP1** редактора форм отображения щелкните по этому окну левой кнопкой мыши. При этом в верхней части главного окна появится панель инструментов редактора форм отображения (см. приведенный ранее рис. 4.2). На панели инструментов выберите кнопку **RealTime Trend Graph** (временной график) и с помощью мыши перетащите ее и положите во внутреннюю область окна редактора форм отображения (рис. 4.12). Для настройки свойств временного графика щелкните дважды левой кнопкой мыши над пиктограммой временного графика. В результате появится диалоговое окно настройки, показанное ранее на рис. 4.5. Для привязки графика к источнику информации в этом окне нажмите кнопку **ADD** и в появившемся окне выполните необходимую настройку (рис. 4.13). Затем с помощью кнопок **OK** закройте это и предыдущее окна. Аналогичным образом перетащите в окно редактора форм отображения и настройте цифровой индикатор. С этой целью на панели инструментов выберите кнопку **Numeric String** (цифровой индикатор) и с помощью мыши перетащите ее и положите во внутреннюю область окна редактора форм отображения (рис. 4.14). Для настройки свойств цифрового индикатора щелкните дважды левой кнопкой мыши над пиктограммой цифрового индикатора. В результате появится диалоговое окно настройки, показанное ранее на рис. 4.4. Для привязки графика к источнику информации в этом окне нажмите кнопку **SELECT** и в появившемся окне выполните необходимую настройку (рис. 4.15). Затем с помощью кнопок **OK** закройте это и предыдущее окна.

Рис. 4.7. Окно настройки приложения

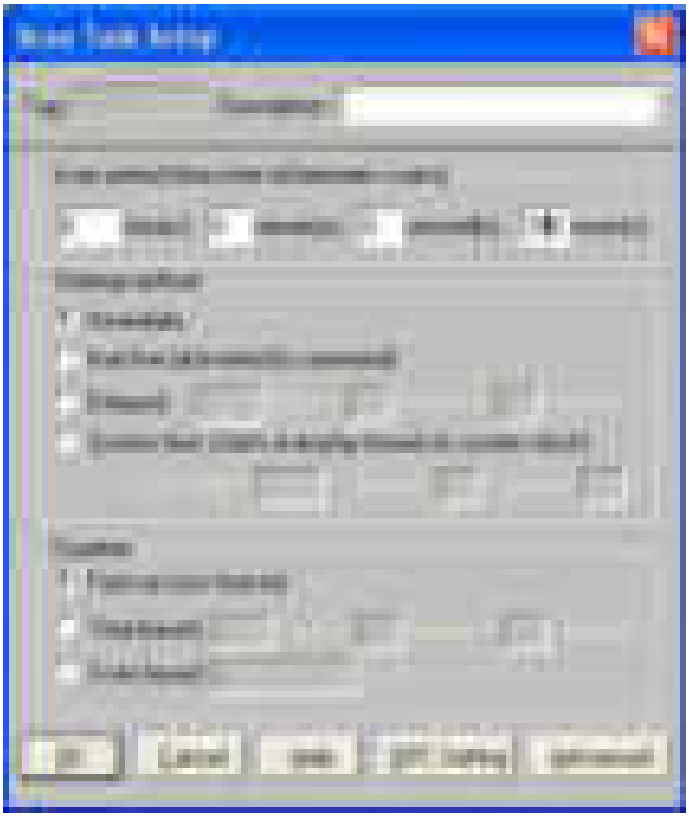


Рис. 4.8. Задание временных параметров запуска приложения

5. *Пятое действие — сохраните созданный проект (стратегию).* Для этого выполните команду **File | Save As**, в появившемся окне диалога укажите необходимую информацию (рис. 4.17) и нажмите кнопку **Сохранить**.
6. *Шестое действие — запуск и останов проекта*. После сохранения созданного проекта имеется возможность немедленного запуска созданного проекта с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.17). Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
7. *Седьмое действие — завершение работы GeniDAQ*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

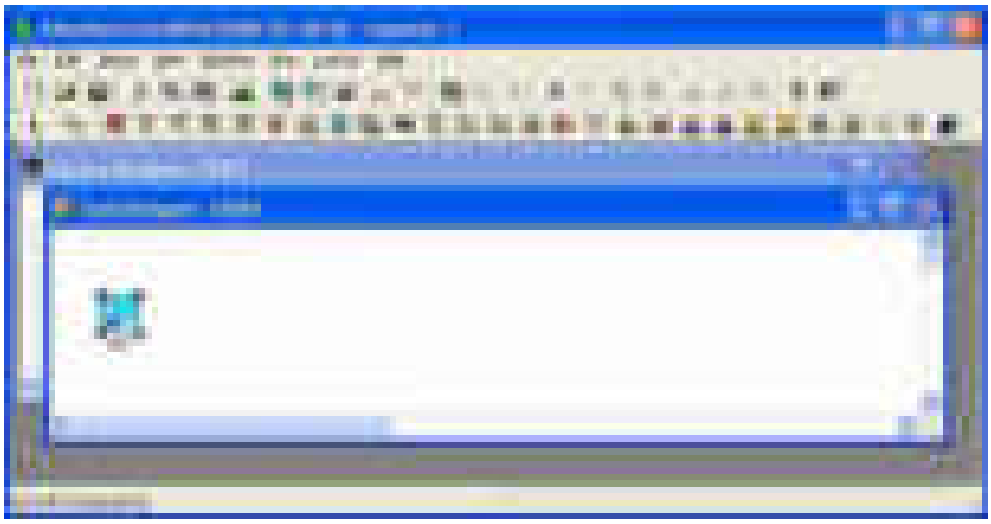


Рис. 4.9. Добавление блока аналогового ввода

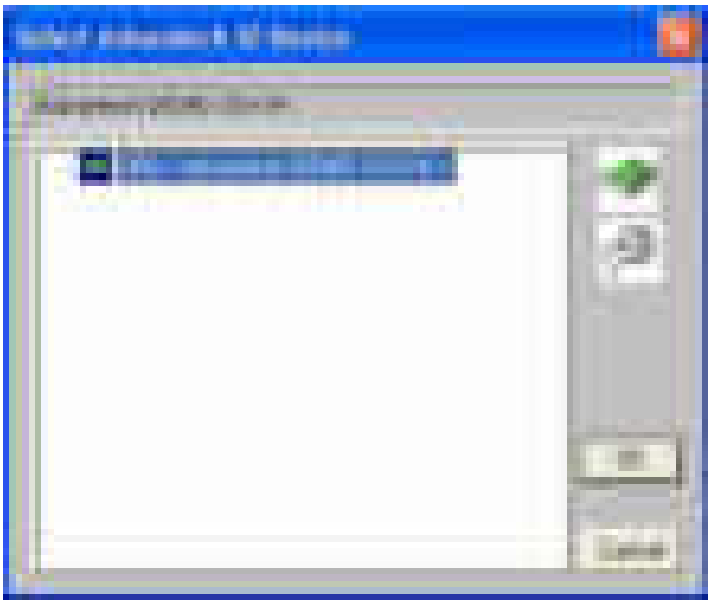


Рис. 4.10. Добавление программного эмулятора ввода/вывода

4.1.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

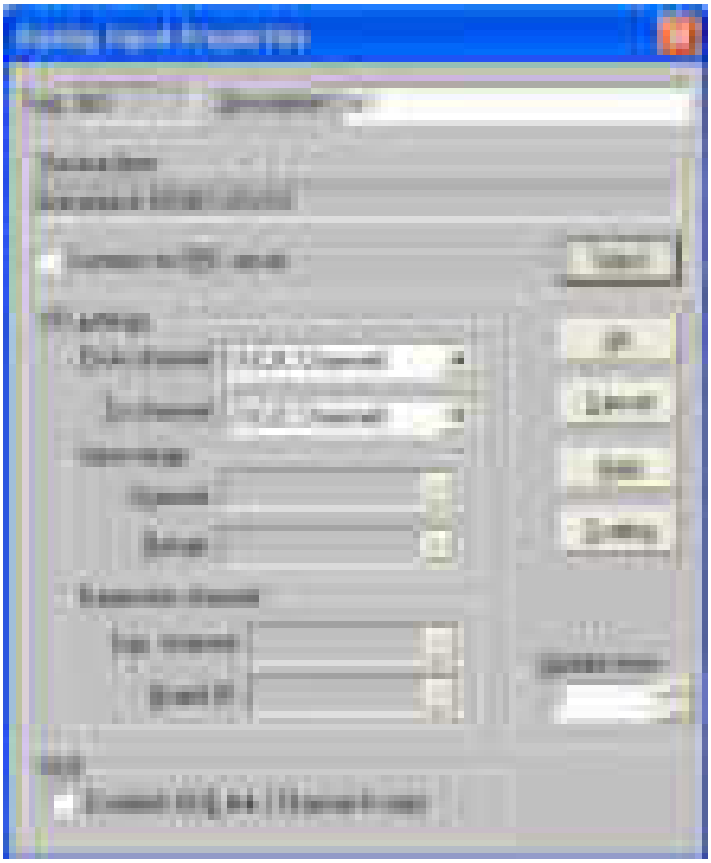


Рис. 4.11. Параметры блока аналогового ввода

Упражнение 4.1. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 1"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 1**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Упражнение 4.2

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 0.2 секунды. С помощью эмулятора и четырех блоков аналогового ввода, помещенных в окно редактора задач, смоделируйте соответственно гармонический, прямоугольный, пилообразный и случайный сигналы. В окне редактора форм отображения покажите указанные процессы на общем графике времени и с помощью цифровых индикаторов. Снабдите элементы отображения поясняющими надписями.

4.2. Занятие 2 "Переключение окон отображения"

Цель занятия состоит в изучении правил разработки приложения с несколькими окнами отображения и способа переключения окон отображения в процессе выполнения приложения. Для этого используется программный эмулятор сигналов **Advantech I/O**, блок аналогового ввода для сбора измерительной информации с канала 1 программного эмулятора и два индикатора для отображения получаемой информации в разных окнах отображения — в виде временного графика и цифрового индикатора. Новым является то, что для переключения окон отображения используется кнопка меню.

4.2.1. Используемый инструментарий

*Используемый инструментарий***.** Новым на данном занятии является использование для построения стратегии *командной кнопки (кнопки меню)* редактора форм отображения. Данный элемент управления предназначен для создания командных кнопок в окнах отображения, позволяющих управлять процессом исполнения стратегии. С помощью кнопки меню можно реализовать одну из трех функций **Function**: *действие* **Action**, *переключение окна отображения* **Display switching** или *управление задачей* **Task control**.

Функция **Action** позволяет выбрать одну из следующих операций при нажатии на кнопку меню: **NONE** — функция выключена; **START** — запуск стратегии на исполнение; **STOP** — завершение исполнения стратегии; **PAUSE** — приостанов исполнения стратегии; **RESUME** — возобновление исполнения после приостанова; **CLOSE** — завершение исполнения стратегии и завершение сеанса исполнительной среды; **LOCK** — блокировка пунктов меню и других органов управления Windows; **UNLOCK** — разблокировка и др. При выборе второй функции нажатие на кнопку во время исполнения стратегии приведет к выдвижению на передний план окна отображения, идентификатор которого выбран в поле **Display Switch** диалоговой панели настройки параметров элемента управления. Использование именно функции **Display switching** и демонстрируется на данном занятии. Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме кнопки меню в окне редактора форм отображения приведет к появлению диалоговой окна настройки параметров кнопки. Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров кнопки меню будут рассмотрены в нижеследующих примерах.

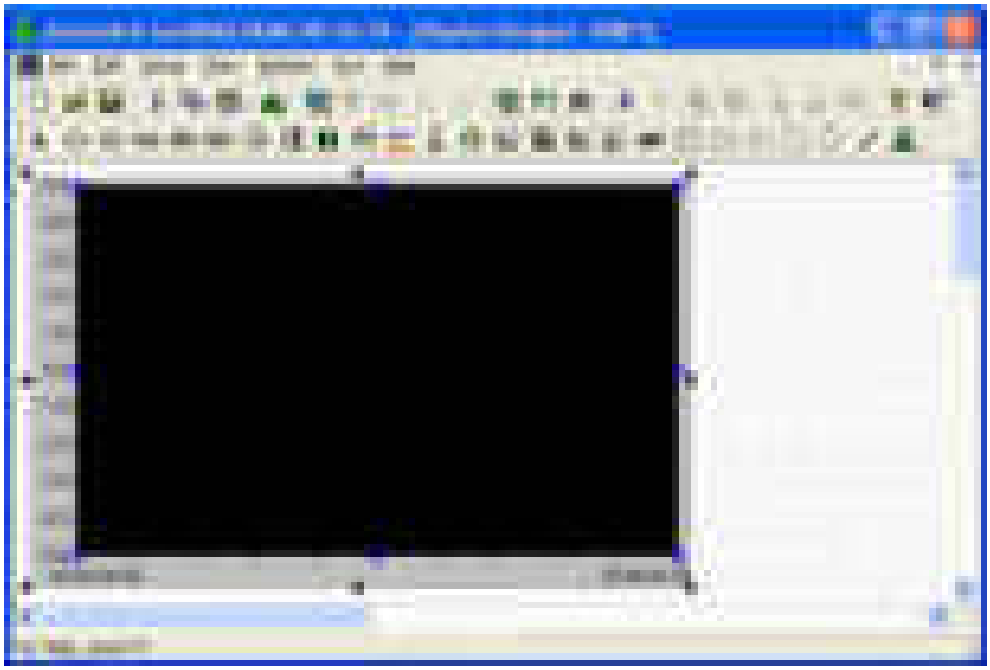


Рис. 4.12. Элемент отображения временного графика

4.2.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.18.
2. Выполните *второе действие* из занятия 1. В нашем примере также задан период запуска приложения 100 миллисекунд.
3. Выполните *третье действие* из занятия 1. Сконфигурируйте блок аналогового ввода в соответствии с рис. 4.19. Единичные значения номеров каналов **From channel** и ***To channel*** означают, что в эмуляторе будет использован меандр (прямоугольный сигнал) со значениями ± 5 вольт. Для сохранения значений параметров блока аналогового ввода нажмите кнопку ***OK***.
4. Выполните *четвертое действие* из занятия 1 в части графика времени. Сконфигурируйте график времени в соответствии с рис. 4.20, а затем с помощью кнопок **OK** закройте окна.
5. *Пятое действие*. Выполните команду **File | Add/Delete | Add Display**. В главном окне построителя приложений появится еще одно окно отображения с заголовком **Display Disigner: DISP2**. Поместите в это окно цифровой индикатор аналогично

тому, как это указано в действии 4 из занятия 1 и сконфигурируйте цифровой индикатор в соответствии с рис. 4.21.

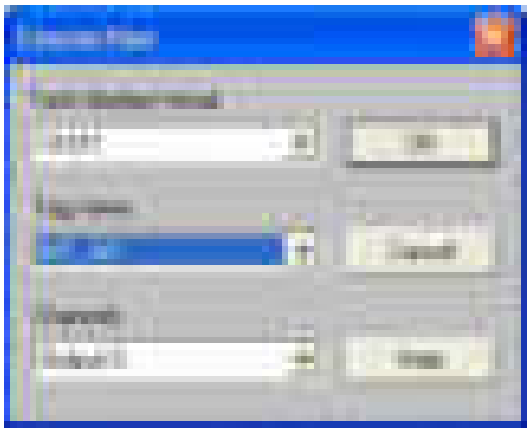


Рис. 4.13. Задание отображаемого параметра для графика времени

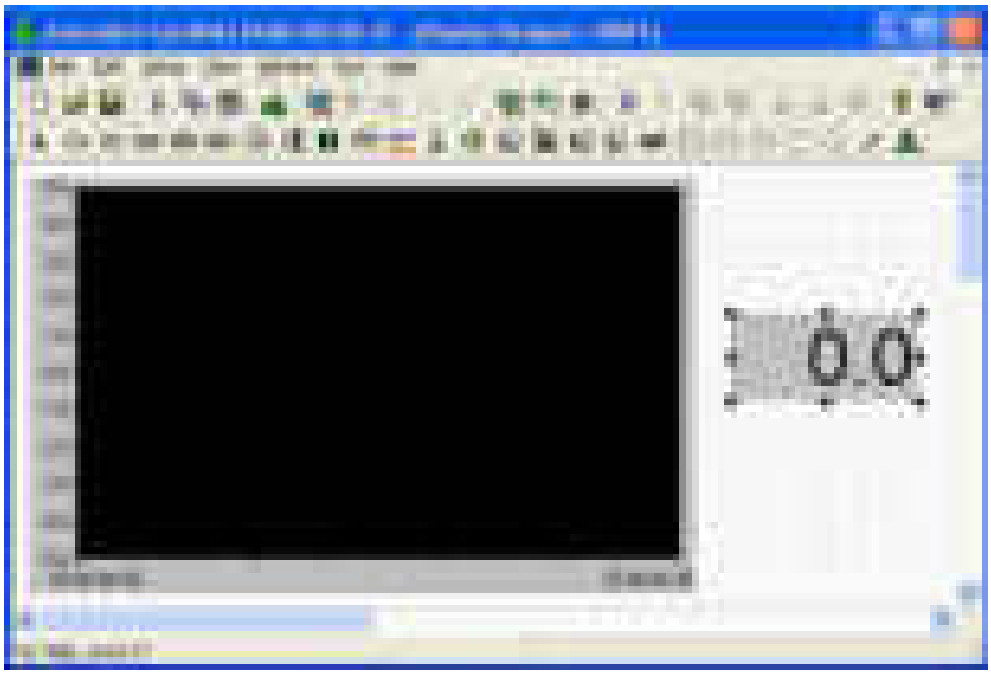


Рис. 4.14. Цифровой индикатор

Рис. 4.15. Источник информации для цифрового индикатора

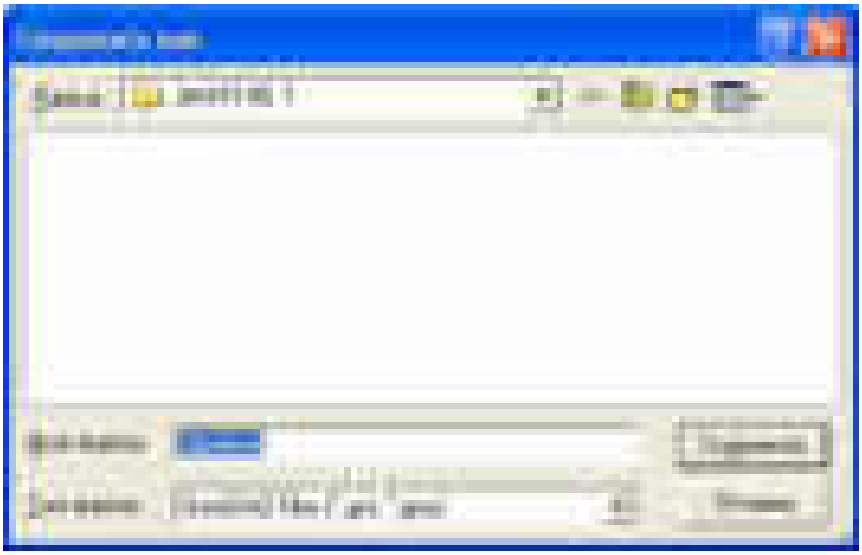


Рис. 4.16. Сохранение созданного программного проекта (стратегии)

6. *Шестое действие*. Перетащите в окно отображения **DISP2** кнопку меню **Menu Button** (рис. 4.22). Сконфигурируйте ее в соответствии с рис. 4.23.
7. *Седьмое действие*. Активизируйте окно отображения **DISP1** и перетащите в него кнопку меню **Menu Button** (рис. 4.24). Сконфигурируйте ее в соответствии с рис. 4.25.
8. *Восьмое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично пятому действию из занятия 1.

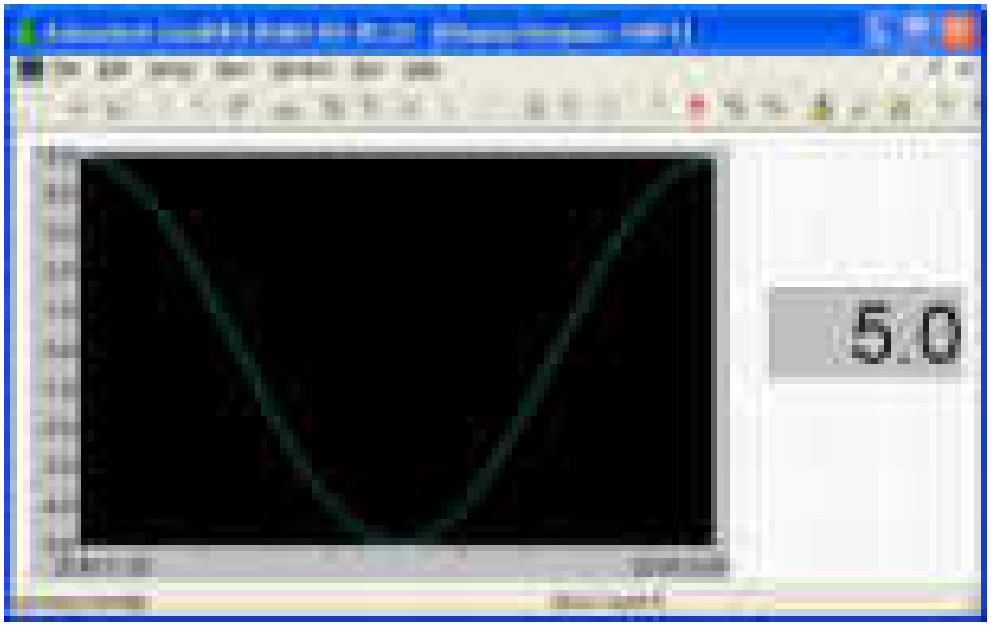


Рис. 4.17. Демонстрация работы проекта

Рис. 4.18. Конфигурирование параметров создаваемого приложения

9. *Девятое действие*. После сохранения файлов созданного проекта имеется возможность немедленного запуска созданного проекта с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.26). Для перехода в окно отображения **DISP2** в процессе работы приложения достаточно нажать кнопку меню **B DISP2**. Результат такого действия показан на рис. 4.27. Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
10. *Десятое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

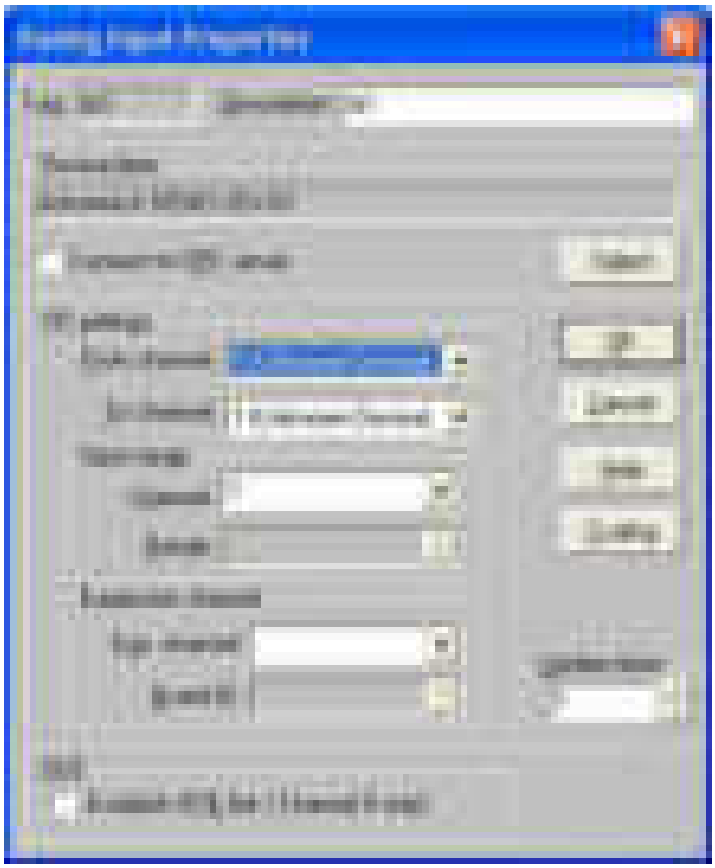


Рис. 4.19. Конфигурирование блока аналогового ввода

4.2.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Рис. 4.20. Конфигурирование графика времени

Рис. 4.21. Конфигурирование цифрового индикатора

Упражнение 4.3. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 2"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 2**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

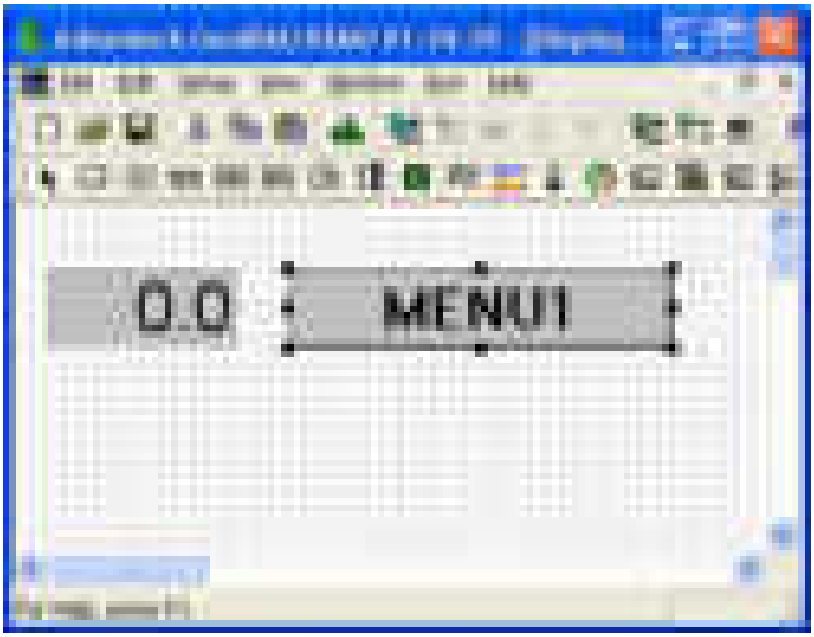


Рис. 4.22. Создание кнопки меню в окне **DISP2**

Упражнение 4.4

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Создайте три окна редактора задач с периодами запуска 0.5, 1.0 и 1.5 секунды соответственно. С помощью эмулятора и блоков аналогового ввода, помещенных в окна редактора задач, смоделируйте соответственно гармонический, прямоугольный и пилообразный сигналы. Создайте четыре окна отображения. В первом и третьем окнах на графиках времени отобразите выходы блоков аналогового ввода в виде синусоидального и пилообразного сигналов. Во втором окне отобразите с помощью цифрового индикатора выход блока аналогового сигнала в виде меандра. Четвертое (главное) окно отображения должно содержать общий график времени и цифровые индикаторы для отображения выходов блоков аналоговых входов. После запуска стратегии должно отображаться главное окно. Предусмотреть переключение между окнами отображения по кольцу и из каждого окна отображения в главное окно отображения.

Упражнение 4.5

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 0.5 секунды. С помощью эмулятора и четырех блоков аналогового ввода, помещенных в окно редактора задач, смоделируйте соответственно гармонический, прямоугольный, пилообразный и случайный сигналы. Создайте пять окон отображения. В первом окне редактора форм отображения покажите указанные процессы на общем графике времени, а в остальных четырех отобразите их с

помощью цифровых индикаторов. После запуска стратегии должно отображаться окно с временным графиком. Предусмотреть переключение между окнами отображения по кольцу вправо (**DISP1**-**DISP2**-**DISP3**-**DISP4**-**DISP5**-**DISP1**-…). Снабдите элементы отображения поясняющими надписями.

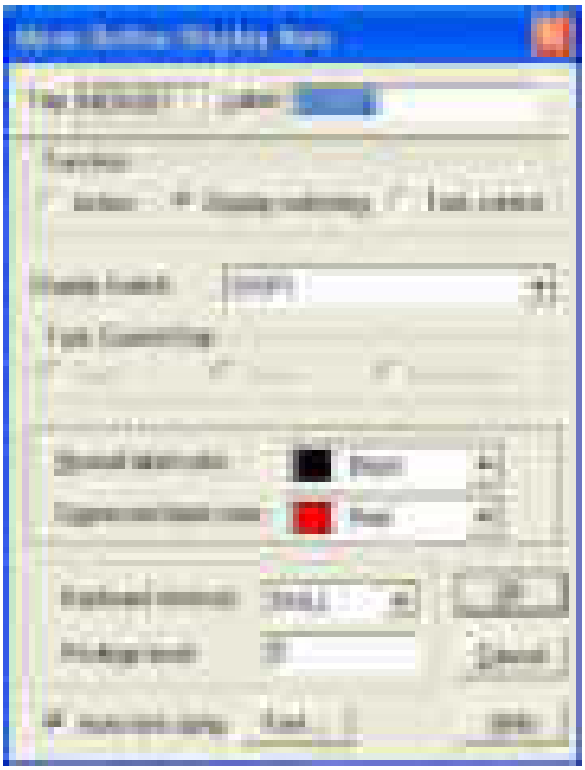


Рис. 4.23. Конфигурирование кнопки меню в окне **DISP2**

Упражнение 4.6

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 0.1 секунды. С помощью эмулятора и четырех блоков аналогового ввода, помещенных в окно редактора задач, смоделируйте соответственно гармонический, прямоугольный, пилообразный и случайный сигналы. Создайте пять окон отображения. В первом окне редактора форм отображения покажите указанные процессы на общем графике времени, а в остальных четырех отобразите их с помощью цифровых индикаторов. После запуска стратегии должно отображаться окно с временным графиком. Предусмотреть переключение между окнами отображения по кольцу влево (**DISP1**-**DISP5**-**DISP4**-**DISP3**-**DISP2**-**DISP1**-…). Снабдите элементы отображения поясняющими надписями.

Упражнение 4.7

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Создайте два окна редактора задач с периодами запуска 1.0 и 1.5 секунды соответственно. С помощью эмулятора и блоков аналогового ввода, помещенных в окна редактора задач, смоделируйте соответственно пилообразный и случайный сигналы. Создайте два окна отображения. В первом окне отобразите пилообразный сигнал с помощью временного графика и цифрового индикатора, а во втором окне аналогично отобразите случайный сигнал. После запуска стратегии должно отображаться окно **DISP1**. Предусмотрите переключение между окнами отображения. Снабдите элементы отображения поясняющими надписями.

4.3. Занятие 3 "Просмотр и изменение порядка выполнения функциональных блоков редактора задач"

Цель занятия состоит в изучении средств просмотра и изменения порядка выполнения функциональных блоков редактора задач. Используются программный эмулятор сигналов **Advantech I/O**, два блока аналогового ввода и два блока вычисления с одним оператором, в одном из которых выполняется сложение выходных сигналов блоков аналогового ввода, а в другом – вычитание. Результаты вычислений представляются в окне отображения с помощью цифровых индикаторов, временного графика и поясняющих строк. Изменяется порядок выполнения функциональных блоков стратегии и оценивается его влияние на результат.

4.3.1. Используемый инструментарий

Используемый инструментарий. Новым на данном занятии является использование для построения стратегии блоков вычисления с одним оператором и средств просмотра и изменения порядка выполнения функциональных блоков стратегии**.**

*Блок вычисления с одним оператором***.** Данный блок предназначен для выполнения одной математической операции, такой как сложение, вычитание, умножение, деление и т. д. По крайней мере, один функциональный блок стратегии должен быть присоединен к входу блока вычисления с единственным оператором. Значение на выходе присоединенного блока будет являться первым операндом в производимой математической операции. Вторым оператором может быть константа, заданная в соответствующем поле диалоговой панели настройки параметров блока, либо значение на выходе другого присоединенного функционального блока стратегии (рис. 4.28). Результат на выходе блока вычисления с единственным оператором может быть представлен в виде целого (**Integer**) либо вещественного (**Floating Point**) числа. Операторы и функции блока вычисления с единственным оператором приведены в табл. 4.1. Операторы, после которых стоит символ "*", требуют использования в качестве аргументов (операндов) значения целого (**Integer**) типа. Некоторые из перечисленных выше операторов требуют только один аргумент

(операнд). Логические операции (and, or, xor) требуют использования двух аргументов целого типа. Операторы abs, not, inv, sqrt, log, ln, exp, jct требуют использования одного аргумента (целого или с плавающей точкой в зависимости от типа операции).

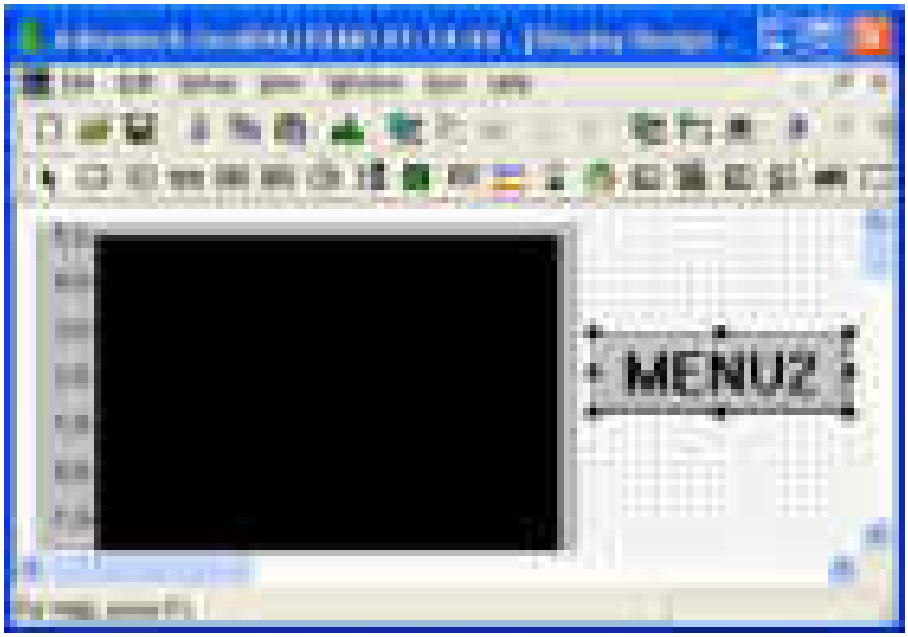


Рис. 4.24. Создание кнопки меню в окне **DISP1**

При передаче значений операндов блоку вычисления с одним оператором необходимо принимать ряд мер предосторожности. Операциям деления и вычисления остатка от целочисленного деления в качестве второго аргумента не должно передаваться нулевое значение. Кроме того, некоторым операторам (sqrt, ln, log) в качестве аргумента должно передаваться только положительное значение. Если не следовать указанным правилам, то при исполнении стратегии будут возникать неустранимые ошибки.

Представленный в таблице оператор jct предназначен для выполнения специальной функции, которая заключается в передаче на выход блока значения, поступающего на его вход. Данная функция наиболее удобна в случае, если требуется установить связь между элементом управления *кнопка* (Binary Button) редактора форм отображения и несколькими функциональными блоками стратегии. Элемент управления *кнопка* может быть связан только с одним функциональным блоком стратегии. Оператор jct, вход которого связан с элементом управления *кнопка*, может быть использован в качестве "точки ветвления" для установления связи с любым количеством функциональных блоков стратегии. Блок вычисления с одним оператором имеет два входа — **Операнд 1** и **Операнд 2** — и один выход, по которому выводится результат выполнения математической операции, выбранной в

поле **Operator** диалогового окна настройки параметров блока. Справочную информацию о параметрах настройки диалогового окна, показанного на рис. 4.28, можно получить также с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров блока вычислений с единственным параметром рассмотрены в примере, следующем далее.

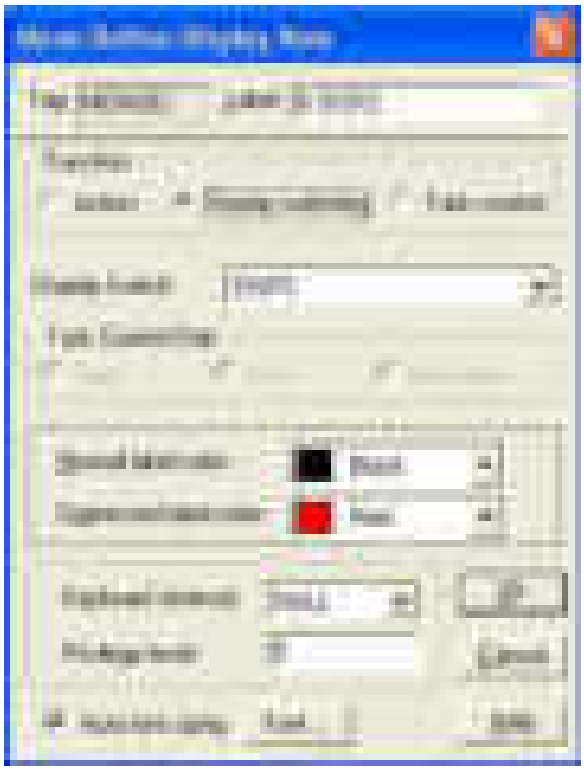


Рис. 4.25. Конфигурирование кнопки меню в окне **DISP1**

Для просмотра и изменения порядка выполнения функциональных блоков стратегии предназначены команды **View | Order Layout**, **Lauout | Complete Reorder** и **Layout | Exchange Order**. Их использование для просмотра и изменения порядка выполнения функциональных блоков также рассмотрено в примере, следующем далее.

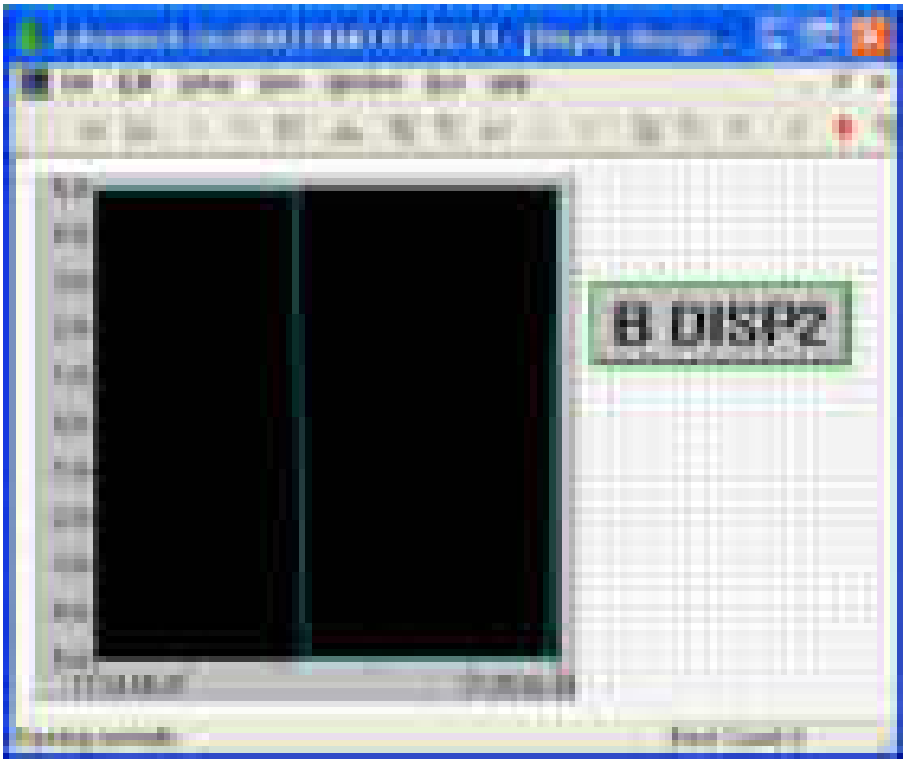


Рис. 4.26. Запуск проекта

4.3.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.29.
2. Выполните *второе действие* из занятия 1. В нашем примере также задан период запуска приложения 100 миллисекунд.
3. *Третье действие.* В окно редактора задач добавьте два блока аналогового ввода с позиционными обозначениями **AI1**, **AI2** соответственно и блок сложения **Single Calculation** (рис. 4.30). Настройте блоки аналогового ввода в соответствии с рис. 4.31 и 4.32.
4. *Четвертое действие.* С помощью проводника установите связь между блоком аналогового ввода **AI1** и блоком сложения. Для этого поместите курсор на пиктограмму проводника на панели инструментов редактора задач и произведите щелчок левой кнопкой мыши. Курсор мыши при этом примет вид катушки с нитками. Поместите курсор в область отображения блока **AI1** и произведите

щелчок левой кнопкой мыши. В появившемся окне диалога (рис. 4.33) выберите канал **Cannel0** и нажмите кнопку **OK**. Переместите курсор по горизонтали в позицию, расположенную над блоком суммирования, щелкните левой кнопкой мыши, затем поместите курсор в область отображения блока суммирования и еще раз щелкните левой кнопкой мыши. В появившемся окне диалога (рис. 4.34) выберите **Operand1** и нажмите кнопку **OK**. Аналогичным образом установите связь между блоком аналогового ввода **AI2** и блоком суммирования (выберите соответственно **Cannel0** *и* **Operand2**). В результате желаемые связи будут установлены (рис. 4.35), а блок сложения настроен нужным образом. Чтобы посмотреть настройку блока сложения, достаточно дважды щелкнуть левой кнопкой мыши над его изображением в окне редактора задач (рис. 4.36).

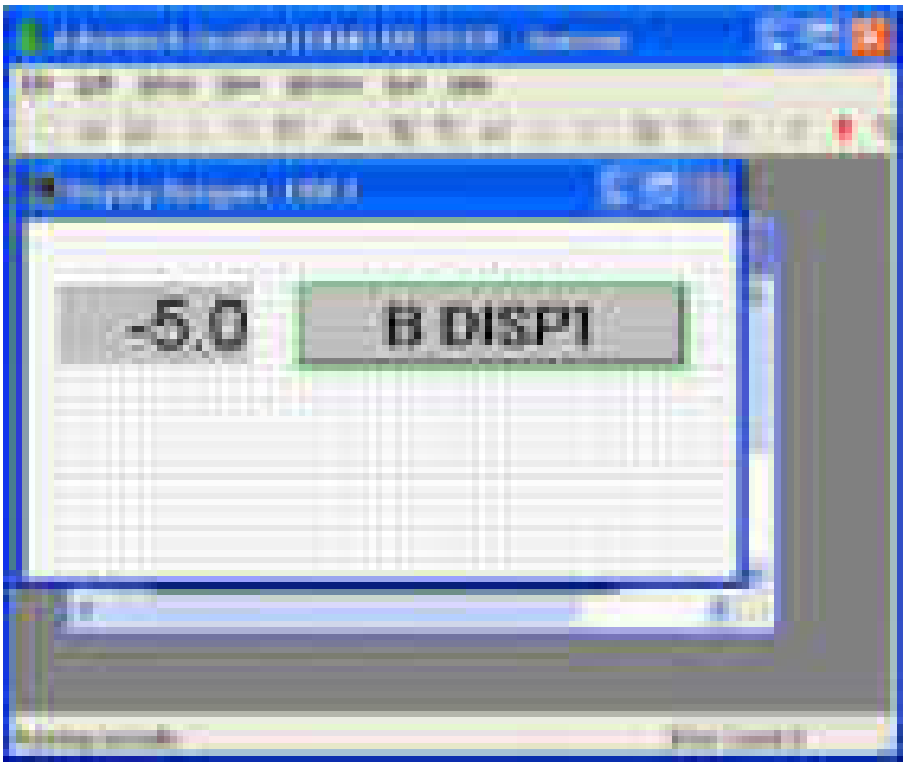


Рис. 4.27. Работа проекта после переключения окна отображения

5. *Пятое действие.* Аналогичным образом установите в окне редактора задач блок вычитания и установите связи между блоками аналогового ввода и блоком вычитания. Результирующий вид окна редактора задач показан на рис. 4.37, а настройка блока вычитания — на рис. 4.38.
6. *Шестое действие.* Сконфигурируйте график времени в соответствии с рис. 4.39 аналогично указанному в четвертом действии из занятия 1.

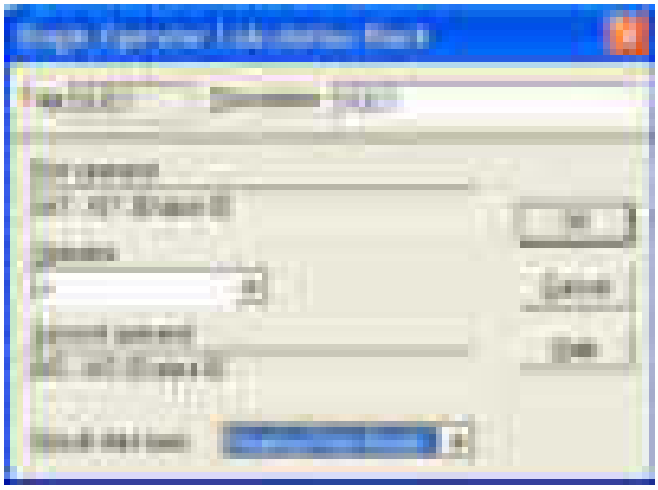


Рис. 4.28. Диалоговое окно настройки блока вычислений с одним оператором

Таблица 4.1. *Операторы и функции вычисления с единственным операторм*

Оператор	**Результат на выходе блока**
nop	Всегда 0
+	*Операнд1* + *Операнд2*
-	*Операнд1* - *Операнд2*
x	*Операнд1* * *Операнд2*
/	*Операнд1* / *Операнд2*
pow	*Операнд1* в степени *Операнд2*
mod*	Остаток целочисленного деления *Операнда1* на *Операнд2*
and*	Логическое И операндов
or*	Логическое ИЛИ операндов
xor*	Логическое ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ операндов
max	Максимальное значение из двух операндов
min	Минимальное значение из двух операндов
>=	1, если *Операнд1* >= *Операнд2*; 0 — в противном случае

Оператор	Результат на выходе блока
<=	1, если *Операнд1* <= *Операнд2*; 0 — в противном случае
>	1, если *Операнд1* > *Операнд2*; 0 — в противном случае
<	1, если *Операнд1* < *Операнд2*; 0 — в противном случае
equ	1, если *Операнд1* равен *Операнду2*; 0 — в противном случае
neq	1, если *Операнд1* не равен *Операнд2*; 0 — в противном случае
abs	Абсолютная величина (модуль) *Операнда1*
not*	Логическое НЕ *Операнда1*
inv	Инверсия *Операнда1*
sqrt	Квадратный корень из *Операнда1*
log	Десятичный логарифм *Операнда1*
ln	Натуральный логарифм *Операнда1*
exp	*exp(Операнд1)*
jct	Оператор объединения (описание приведено ниже)

7. *Седьмое действие.* Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично пятому действию из занятия 1.
8. *Восьмое действие.* После сохранения файлов созданного проекта имеется возможность немедленного запуска созданного проекта с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.40). Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
9. *Девятое действие.* Посмотрите порядок выполнения функциональных блоков стратегии. Для этого включите команду **View | Order Layout** и на пиктограммах блоков аналогового ввода **AI1** и **AI2** будут показаны номера, определяющие порядок исполнения блоков в стратегии (рис. 4.41).

Для изменения порядка выполнения функциональных блоков стратегии выключите команду **View | Order Layout** и включите команду **Layout | Complete Reorder**. В результате этого в окне редактора задач появятся номера, определяющие порядок выполнения всех блоков стратегии, но в этом режиме можно изменить порядок выполнения только функциональных блоков. Для этого щелкните левой кнопкой мыши вначале над изображением блока **AI2**, а потом — над изображением блока **AI1** (рис. 4.42). Чтобы изменить порядок выполнения всех блоков стратегии выключите команду **Layout | Complete Reorder** и включите команду **Layout | Exchage Reorder**. Установите выполнение блоков в следующей последовательности: **AI2**, **AI1**, **SOC2** и **SOC1**. Для этого последовательно

щелкните левой кнопкой мыши над изображением блоков **SOC1** и **SOC2** (рис. 4.43). Выключите команду **Layout | Exchage Reorder**.

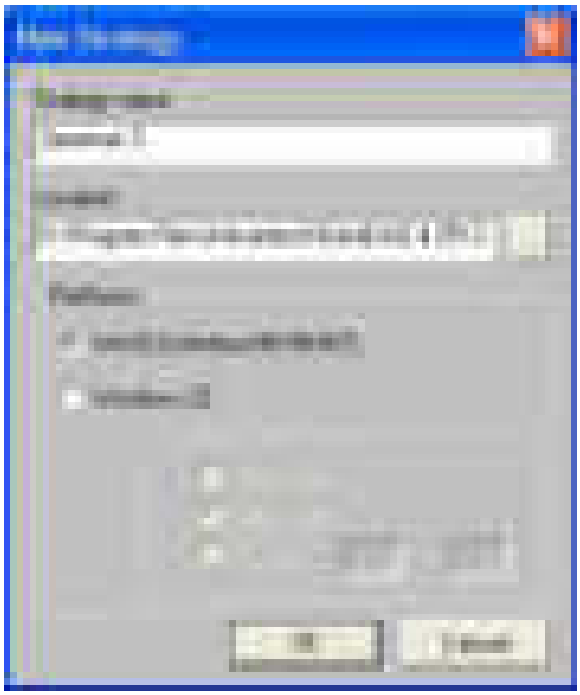


Рис. 4.29. Конфигурирование параметров стратегии

Запустите модифицированный проект после его сохранения с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.44). Остановите работу проекта с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.

10. *Десятое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

4.3.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.8. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 3"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 3**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Рис. 4.30. Окно редактора задач с блоками аналогового ввода и блоком сложения

Упражнение 4.9

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 0.2 секунды. С помощью эмулятора и двух блоков аналогового ввода, помещенных в окно редактора задач, смоделируйте соответственно гармонический и случайный сигналы. С помощью блоков вычисления с одним оператором ослабьте случайный сигнал в десять раз и сложите его с гармоническим сигналом. В окне редактора форм отображения покажите указанные процессы на общем графике времени и с помощью цифровых индикаторов. Снабдить элементы отображения поясняющими надписями. Измените порядок выполнения функциональных блоков в окне редактора задач и пронаблюдайте вызванные этим изменения.

4.4. Занятие 4 "Использование инструментов рисования редактора форм отображения"

Цель занятия состоит в изучении правил применения инструментов рисования для создания пользовательских элементов отображения. Используются инструменты рисования и кнопка с двумя состояниями, имеющиеся на панели инструментов редактора задач. С помощью инструментов рисования создается некоторый графический объект. С помощью кнопки с двумя состояниями созданный объект изменяет свой цвет (элемент анимации).

Рис. 4.31. Конфигурация блока аналогового **AI1**

4.4.1. Используемый инструментарий

Новым на данном занятии является использование в окне отображения *кнопки с двумя состояниями* и *инструментов рисования (эллипс, прямоугольник)* для создания графического объекта и его анимации**.**

Кнопка с двумя состояниями (*Binary Button*) может быть с помощью функционального блока *тег* (*Tag*) связана и использована для управления логическим состоянием любой двоичной или целочисленной переменной стратегии. Она позволяет передавать свое состояние из формы отображения в задачу. При нажатии кнопки с двумя состояниями производится передача логической 1 (или логического 0) связанному с ней блоку *тег*. Активизировать кнопку с двумя состояниями (нажать на кнопку) можно следующими способами:

- поместить курсор мыши на изображение кнопки в окне отображения и произвести щелчок левой клавишей мыши;

Рис. 4.32. Конфигурация блока аналогового **AI2**

- с помощью клавиши **Tab** на клавиатуре перевести фокус ввода на кнопку и нажать клавишу **Enter**;
- нажать клавишу, выбранную в комбинированном списке **Keyboard mapping** диалогового окна настройки параметров кнопки (рис. 4.45).

Размер и тип шрифта, используемого для отображения надписи на кнопке, могут быть установлены путем нажатия кнопки **Font** диалогового окна и выбора требуемого шрифта и его параметров из перечня шрифтов, зарегистрированных в ОС Windows. Поле *тег* (**Tag**) содержит идентификатор кнопки, который используется при установлении связи между кнопкой и другими элементами отображения либо функциональными блоками *тег* стратегии.

Рис. 4.33

Рис. 4.34

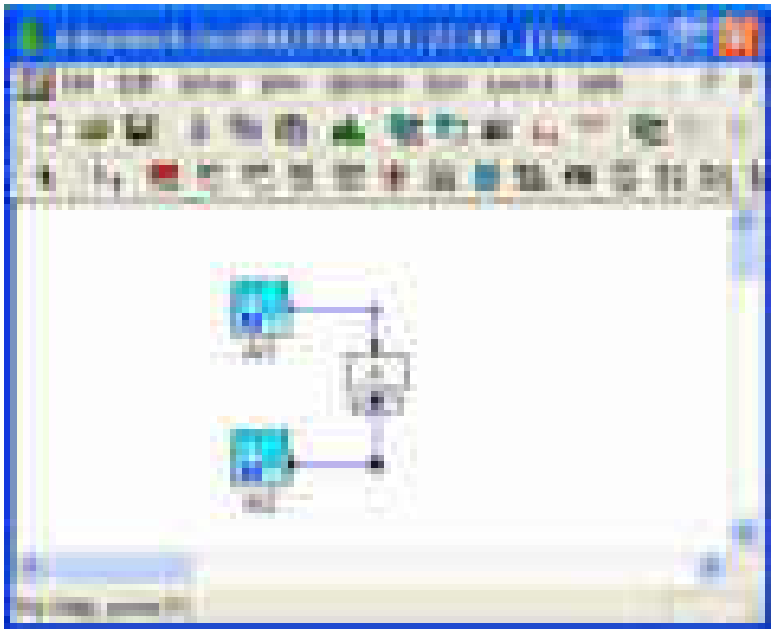


Рис. 4.35. Связь блоков аналогового ввода с блоком суммирования

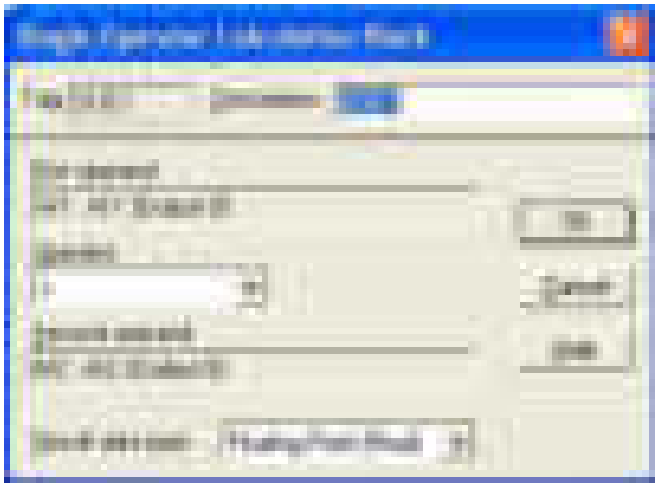


Рис. 4.36. Результирующая настройка блока суммирования

Рис. 4.37. Окно редактора задач с блоками аналогового ввода и блоками сложения и вычитания

Обратите особое внимание на то, что *связь между кнопкой и любыми функциональными блоками в задачах должна осуществляться через функциональный блок тег редактора задач*. Поле *надпись на кнопке* (**Label**) предназначено для ввода надписи, которая будет отображаться на кнопке в процессе исполнения стратегии.

Максимальное количество символов, из которых состоит надпись, составляет 30. Поле *режим функционирования* (**Operating style**) представлено комбинированным списком и используется для выбора режима функционирования кнопки.

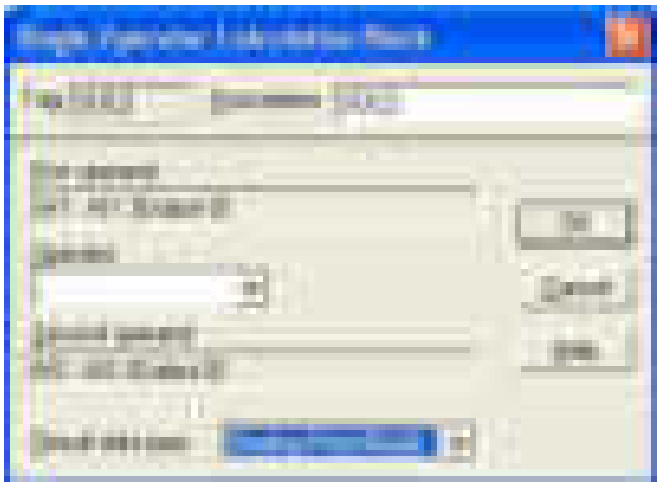


Рис. 4.38. Результирующая настройка блока вычитания

При выборе значения **On-Off** элемент управления будет выполнять функцию кнопки с фиксацией состояния после нажатия и отпускания с удержанием выходного значения для каждого состояния. При выборе значения **Monentary** элемент управления будет выполнять функцию кнопки без фиксации состояния (нажатие с мгновенным возвратом в отжатое состояние). Соответствующее значение на выходе удерживается только в течение времени, пока кнопка удерживается в нажатом состоянии. При выборе значения **Radio Button** элемент управления будет выполнять функцию кнопки, состояние которой зависит от состояния других связанных с ней кнопок. Данная кнопка носит название "радиокнопка". Поле *управление от клавиатуры* (**Keyboard mapping**), представленное комбинированным списком, позволяет выбрать клавишу на клавиатуре, с помощью которой возможно управлять состоянием кнопки при передаче ей фокуса ввода. Возможно использование функциональных клавиш от **F2** до **F9** или от **A** до **Z**. Поле *уровень привилегий* (**Privilege level**) предназначено для защиты функций управления положением коммутационных аппаратов, связанных с данной кнопкой. Уровень привилегий может принимать значения от 0 до 255, причем большему значению соответствует более высокий уровень привилегий. Таким образом, если для кнопки установлен уровень привилегий, равный 100, то нажать на данную кнопку смогут только пользователи с правами доступа от 100 и выше. Поля *цвет надписи на кнопке* (**Normal label color, Depressed label color**) позволяют установить цвета надписи на кнопке в нажатом и отпущенном состояниях. Реализована поддержка до 16 цветов. Переключатель *выходное значение* (**Output value**) предназначен для установки значений, передаваемых кнопкой другим элементам отображения и функциональным блокам *тег* стратегии при нажатии и отпускании.

Рис. 4.39. Конфигурация графика времени

Имеется возможность передачи **0 в отжатом состоянии, 1 в нажатом состоянии** или **1 в отжатом состоянии, 0 в нажатом состоянии**. Независимый переключатель *звуковой сигнал при нажатии* (**Beep when pressed**) позволяет формировать звуковой сигнал при любом изменении состояния кнопки. Переключатель *автоподбор размера шрифта* (**Auto font sizing**) в отмеченном состоянии активизирует функцию автоматического выбора размера надписи при изменении размеров кнопки в процессе разработки стратегии.

Инструмент рисования "прямоугольник" предназначен для создания в окне экранной формы графического объекта прямоугольной формы, цвет которого определяется логическим состоянием на выходе присоединенного функционального блока стратегии (рис. 4.46).

Поле **Input from** содержит идентификатор выхода функционального блока, связанного с элементом отображения. Поле **Pen color** позволяет выбрать цвет рамки графического объекта. Возможен выбор одного из 16 цветов. Поле **Pen size** позволяет установить толщину рамки графического объекта.

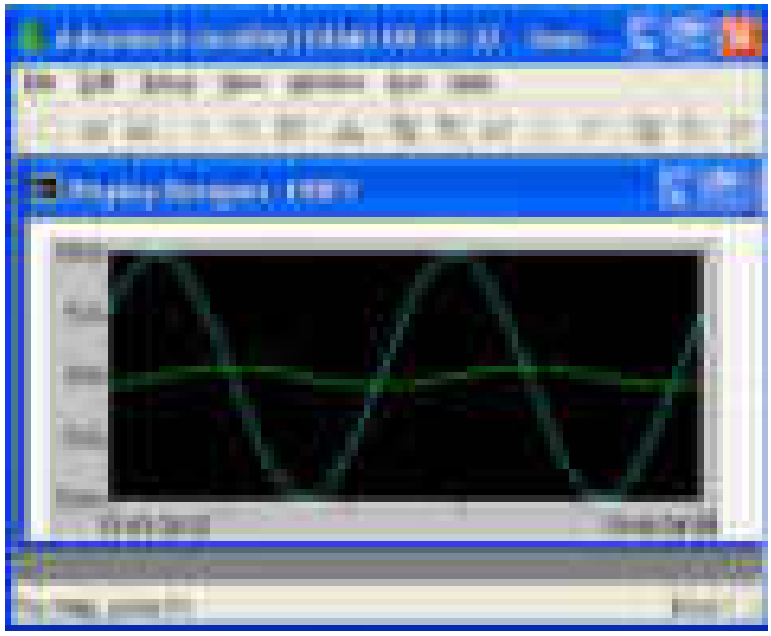


Рис. 4.40. Работа приложения сразу же после его запуска

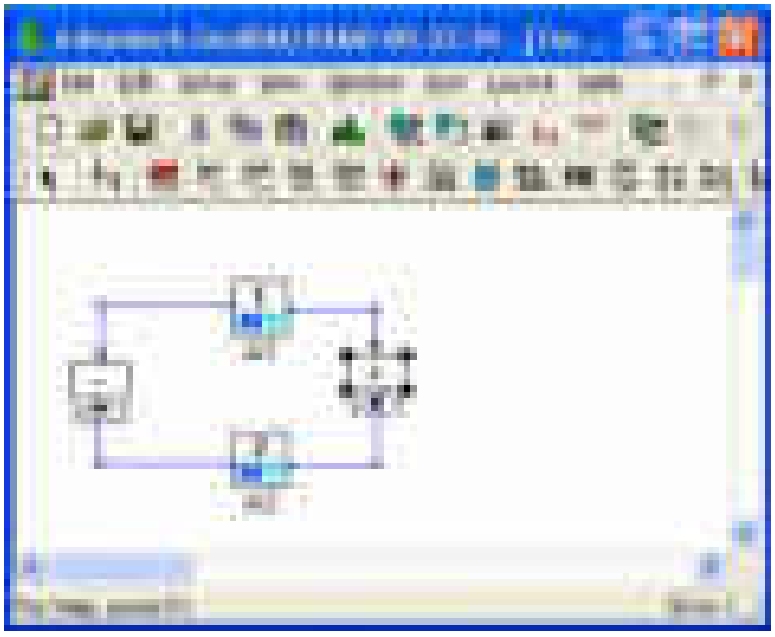


Рис. 4.41. Просмотр порядка выполнения функциональных блоков стратегии

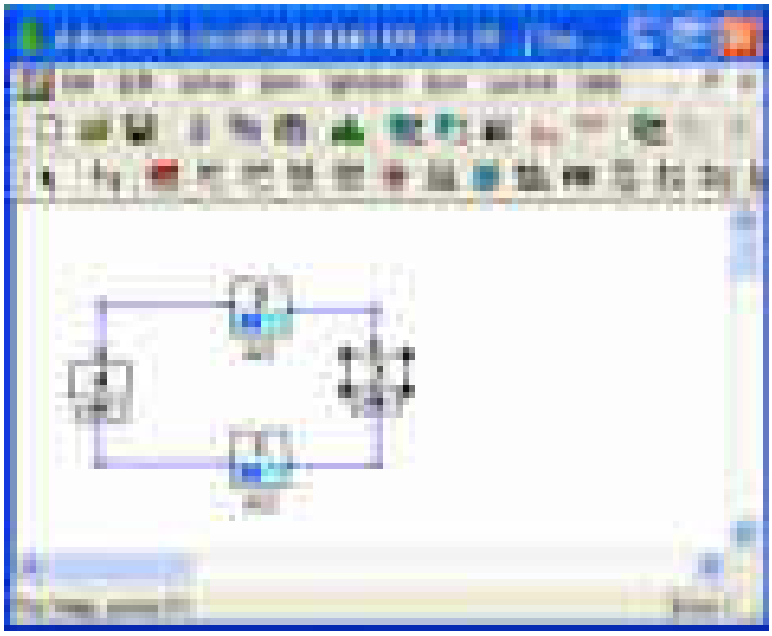


Рис. 4.42. Вид окна редактора задач после изменения порядка выполнения функциональных блоков

Толщина рамки задается в пикселях. Поле **Color when normal** позволяет выбрать цвет внутренней области графического объекта при поступлении на его вход логической единицы. Поле **Color when activated** позволяет выбрать цвет внутренней области графического объекта при поступлении на его вход логического нуля.

Инструмент рисования "эллипс". предназначен для создания в окне экранной формы графического объекта, имеющего форму эллипса, цвет которого определяется логическим состоянием на выходе присоединенного функционального блока стратегии (рис. 4.47).

Поле **Input from** содержит идентификатор выхода функционального блока, связанного с элементом отображения. Поле **Pen color** позволяет выбрать цвет рамки графического объекта. Возможен выбор одного из 16 цветов. Поле **Pen size** позволяет установить толщину рамки графического объекта. Толщина рамки задается в пикселях. Поле **Color when normal** позволяет выбрать цвет внутренней области графического объекта при поступлении на его вход логической единицы. Поле **Color when activated** позволяет выбрать цвет внутренней области графического объекта при поступлении на его вход логического нуля.

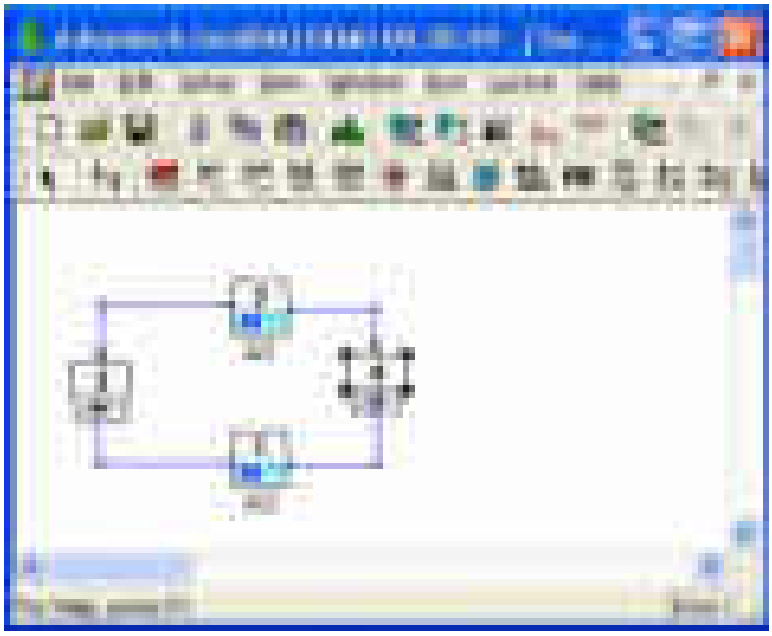


Рис. 4.43. Вид окна редактора задач после изменения порядка выполнения всех блоков стратегии

4.4.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.48.
2. *Второе действие*. Добавьте в окно редактора форм отображения кнопку с двумя состояниями **Binary Button**. Выполните над ней двойной щелчок левой кнопкой мыши и в появившемся диалоговом окне задайте параметры кнопки в соответствии с приведенным ранее рис. 4.45. Для сохранения параметров нажмите кнопку **OK**.
3. *Третье действие*. Произведите щелчок левой кнопкой мыши над пиктограммой инструмента рисования *эллипс* (**Oval Draw**) на панели инструментов редактора форм отображения. Переместите курсор в окно отображения, нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, нарисуйте круг. С помощью команд **Edit | Copy** и **Edit | Paste** скопируйте созданный круг (он появится в левом вернем углу окна отображения), уменьшите его размер. Для этого поместите курсор в угол рамки черного цвета и переместите курсор в направлении середины рамки. Поместите круг меньшего размера внутрь круга большего размера.

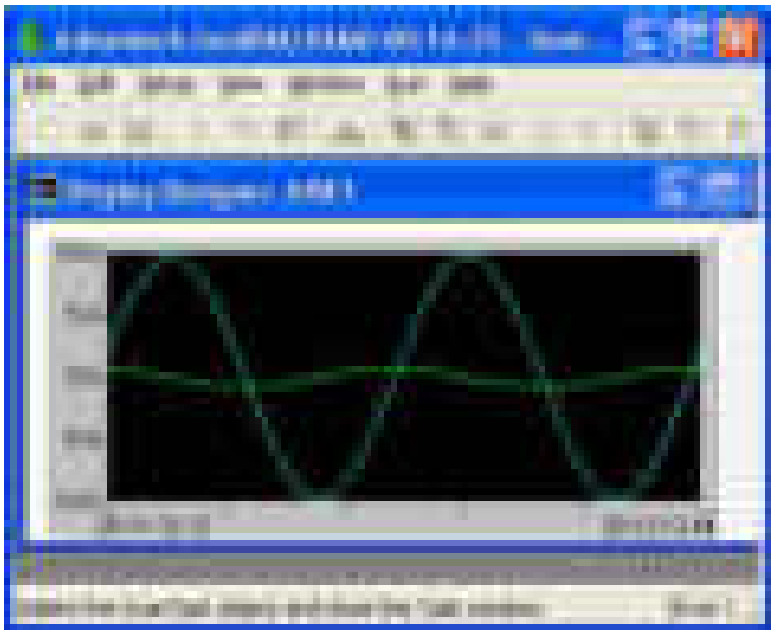


Рис. 4.44

Аналогичным образом создайте в окне отображения два графических примитива *прямоугольник* (**Rectangle Draw**). Расположите созданные графические примитивы таким образом, чтобы они образовали графическое изображение насоса. При необходимости используйте команды **Edit | Bring to Front** и **Edit | Send to Back**. Объедините графические примитивы один графический объект. Для этого выполните операцию переноса курсора для одновременного выделения всех примитивов, образующих графическое изображение насоса, и выполните команду **Edit | Make Object**. Окно отображения приобретет вид, показанный на рис. 4.49. Выполните двойной щелчок левой кнопкой мыши над изображением созданного графического объекта, в появившемся окне диалога нажмите кнопку **Select**, установите связь графического объекта с кнопкой с двумя состояниями в соответствии с рис. 4.50 и нажмите кнопку **OK**. Окно диалога приобретает вид, показанный на рис. 4.51. Нажатием кнопки **OK** закройте окно диалога.

4. *Четвертое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично тому, как это делалось на занятии 1. Запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.52). Понажимайте на кнопку с двумя состояниями — цвет графического объекта будет меняться при каждом нажатии на кнопку. Остановите работу проекта с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
5. *Пятое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

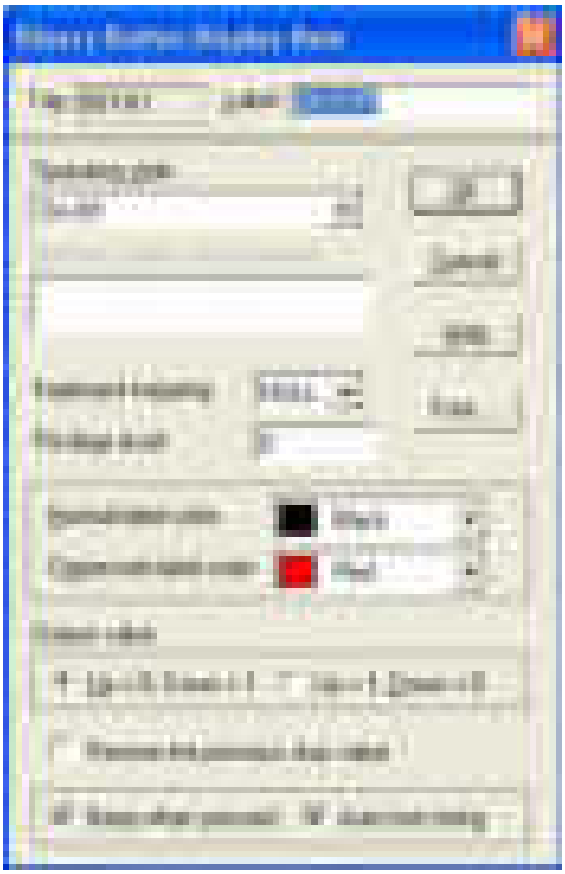


Рис. 4.45. Диалоговое окно конфигурирования кнопки с двумя состояниями

Замечание

Обратите внимание на то, что а частном случае окно редактора задач может не использоваться. Именно такая ситуация имела место в приложении **Занятие 4**.

4.4.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.10. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 4"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 4**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Рис. 4.46. Окно конфигурирования графического примитива **Прямоугольник**

Рис. 4.47. Окно конфигурирования графического примитива **Эллипс**

4.5. Занятие 5 "Использование тега для связи между задачей и формой отображения"

Цель занятия состоит в изучении правил использования функционального блока *тег* (**Tag**) редактора задач для получения данных, вводимых пользователем с помощью какого либо элемента управления, используемого в окне отображения. Используются функциональные блок *тег* (**Tag**), блок *архива тревог* (**Alarm Log**) редактора задач и инструменты *инкрементный регулятор* (**Numeric Control**), *индикатор* (**Indicator**) и *текстовые строки* (**Text String**) редактора форм отображения.

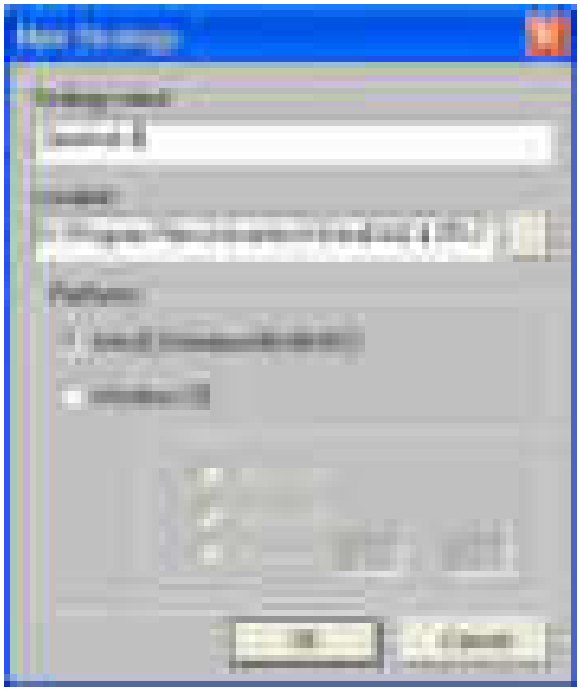


Рис. 4.48. Конфигурирование параметров стратегии

4.5.1. Используемый инструментарий

Для построения пользовательского *приложения*, выполняющего требуемые функции, используются перечисленные ранее функциональные блоки редактора задач и инструменты редактора форм отображения. Дадим их краткую характеристику.

Функциональный блок тег (Tag) редактора задач предназначен для установления связи между элементами управления редактора форм отображения с одной стороны и функциональными блоками редактора задач или виртуальными тегами с другой стороны (рис. 4.53). На данном занятии тег используется для связи управляющего элемента из окна отображения с функциональным блоком редактора задач.

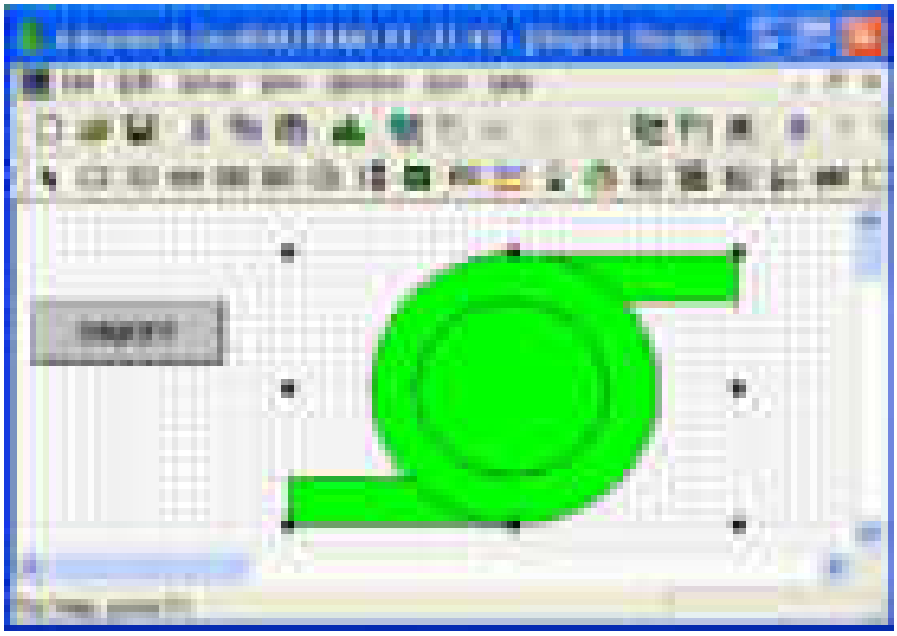


Рис. 4.49. Вид окна отображения после создания графического объекта (насоса)

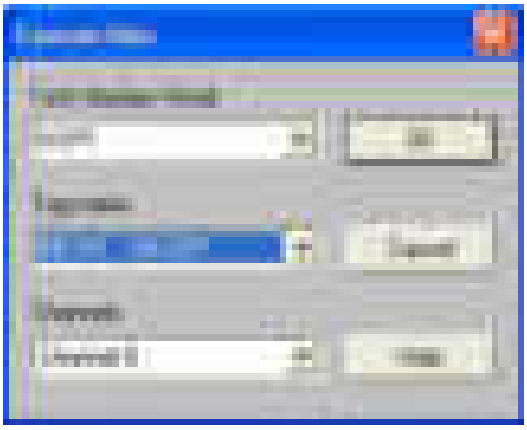


Рис. 4.50. Установление связи графического объекта с кнопкой

Блок *тег* имеет непосредственный доступ к значениям элемента управления редактора форм отображения или виртуального тега центра обработки данных, указанного в полях группы **Attaching to**. На рис. 4.53 таким элементом является управляющий элемент **NCTL1** окна отображения. Получаемые значения *тег* передает функциональному блоку окна редактора задач, присоединенному к его выходу.

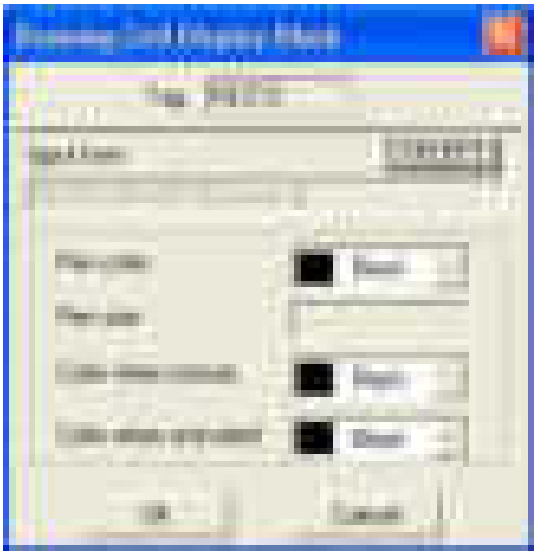


Рис. 4.51. Конфигурирование параметров графического объекта

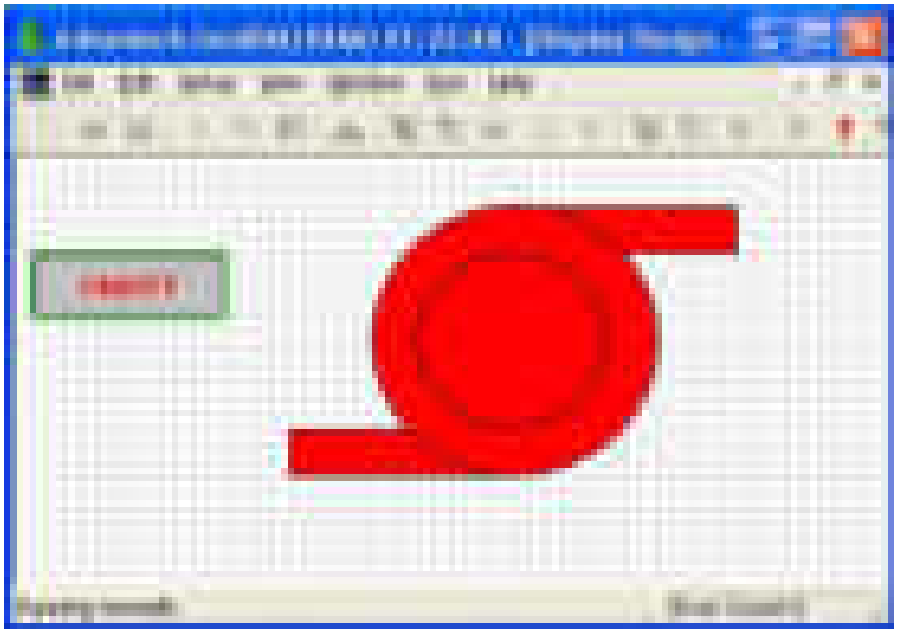


Рис. 4.52. Работа приложения

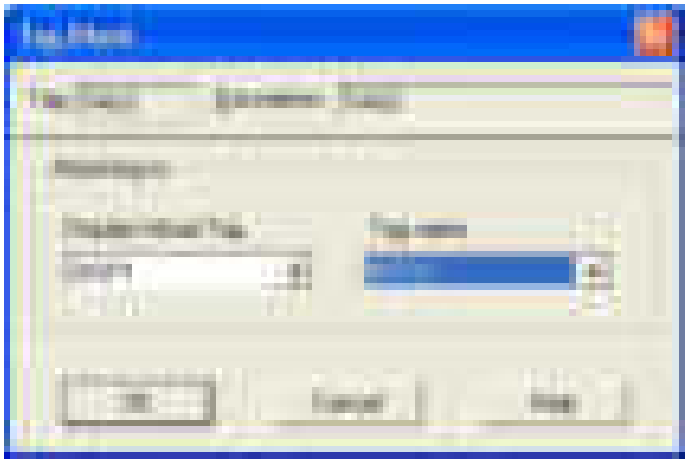


Рис. 4.53. Конфигурирование функционального блока *тег*

Функциональный блок архива тревог (Alarm Log) редактора задач предназначен для сохранения в архиве информации о зафиксированных аварийных событиях, связанных с сигналом, поступающим на вход блока архива тревог. Блок имеет вход и выход. Тревоги можно фиксировать в файле архива событий (..\GeniDAQ 4.25\genieDAQ.elf). Для включения такого режима необходимо выполнить команду **Setup | Runtime Preference...** и в появившемся окне диалога установить флаг **Enable event log**. Сообщения об аварийных событиях могут в процессе исполнения стратегии отображаться в окне *журнала событий* (окно делается видимым при выполнении команды **View | Event Log**), когда значение на входе блока попадает в следующие диапазоны:

1. Выше верхнего предельного значения.
2. Между максимальным и верхним предельным значениями.
3. Между минимальным и нижним предельным значениями.
4. Ниже нижнего предельного значения.

На выходе блока присутствует целое число, соответствующее событию, зафиксированному блоком. Это позволяет представлять информацию об аварийных событиях в графической форме путем установления связи между блоком архива тревог и элементом отображения *индикатор*. Зависимость значений на выходе блока от зафиксированного блоком события приведена в табл. 4.4.

Таблица 4.2. *Зависимость значения на выходе блока тревог от зафиксированного им события*

Аварийное событие (значение на входе блока)	**Значение на выходе блока**
Выше верхнего предельного значения	4

Аварийное событие (значение на входе блока)	Значение на выходе блока
Между максимальным и верхним предельным значениями	2
Между максимальным и минимальным значениями	0
Между минимальным и нижним предельным значениями	1
Ниже нижнего предельного значения	3

Диалоговое окно конфигурирования блока архива тревог показано на рис. 4.54. При исполнении стратегии имеется возможность подтверждения восприятия оператором событий, зафиксированных блоком, путем двойного щелчка левой клавишей мыши в окне *журнала событий*. До подтверждения информация об аварийном событии отображается в окне *журнала событий* в виде строки красного цвета. Функциональный блок *архива тревог* имеет один вход, на который может поступать сигнал от другого функционального блока стратегии. Значение на входе проверяется блоком на вхождение в пределы, заданные в группе параметров *значения параметров тревоги* (**Alarm Settings**) диалогового окна настройки параметров блока в процессе разработки стратегии. На выходе блока присутствует целое число, соответствующее событию, зафиксированному блоком (см. табл. 4.2).

Инкрементный регулятор (Numeric Control) редактора форм отображения может быть помещен в окно отображения и связан с входной переменной функционального блока задачи, входящей в стратегию, и/или элементами отображения. Имеется возможность установки требуемых размеров регулятора. Инкрементный регулятор предназначен для ввода оператором числовых значений с помощью клавиатуры или мыши и передачи введенных значений связанному функциональному блоку стратегии, что позволяет реализовывать функции оперативного диспетчерского управления. Диалоговое окно конфигурирования инкрементного регулятора показано на рис. 4.55. Вводимые и отображаемые значения могут быть целого или вещественного типа (групповое окно **Data type**). Формат вводимого значения (количество цифр после десятичной точки — **Digits of precision**) может быть установлен только для вещественных чисел. Тип и размер используемого шрифта выбираются путем нажатия кнопки **Font...** Поле **Privilege level** предназначено для защиты функций управления, связанных с инкрементным регулятором. Уровень привилегий может принимать значения от 0 до 255, причем большему значению соответствует более высокий уровень привилегий. Таким образом, если для регулятора установлен уровень привилегий, равный 100, то изменить значение на его выходе смогут пользователи с правами доступа от 100 и выше. Поле **Initial value** определяет значение на выходе инкрементного регулятора при запуске стратегии на исполнение. Поле **Step value** определяет величину уменьшения/увеличения значения на выходе регулятора при однократном щелчке левой клавишей мыши на кнопках уменьшения/увеличения, расположенных справа от области отображения значения на выходе инкрементного регулятора. Поля **High limit/Low limit** предназначены для установки диапазона изменения значения на выходе инкрементного регулятора.

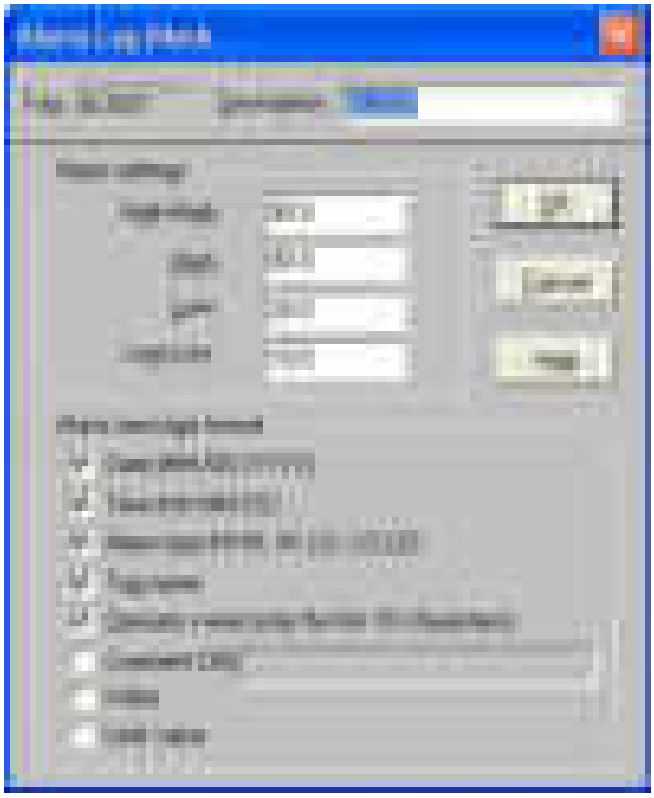


Рис. 4.54. Конфигурирование функционального блока *архива тревог*

Индикатор (Indicator) редактора форм отображения представляет собой единичный индикатор, предназначенный для отображения логического состояния связанного с ним дискретного выхода функционального блока стратегии. Индикатор переводится в состояние *включено* при появлении логической единицы (ненулевое целое значение) на выходе связанного с ним функционального блока и в состояние *выключен* при появлении логического нуля (нулевое целое значение) на выходе связанного с ним функционального блока. Размеры, форма и цвет индикатора в разных состояниях могут быть установлены с помощью диалогового окна настройки параметров индикатора (рис. 4.56).

Поле **Input from** устанавливает связь индикатора с одной из переменных задачи, входящей в стратегию. Перед началом настройки параметров индикатора необходимо установить связь с функциональным блоком, логическое состояние на выходе которого предполагается отображать. Для этого в окне настройки индикатора следует нажать кнопку **SELECT** и в появившемся окне выбрать идентификатор задачи, идентификатор функционального блока и номер присоединяемого выхода функционального блока.

Рис. 4.55. Конфигурирование *инкрементного регулятора*

Рис. 4.56. Конфигурирование *индикатора*

При запуске стратегии на исполнение логическое состояние на выходе присоединенного функционального блока будет отображаться соответствующим цветом индикатора. Поле **Style** предназначено для выбора формы индикатора. Индикатор может иметь прямоугольную (квадратную) форму или форму эллипса (круга). Поля **Color for ON (1) state/Color for OFF (0) state** предназначены для

выбора цвета индикатора во включенном и выключенном состояниях. Реализована поддержка до 16 цветов.

Элемент отображения *Текстовая строка (Text string)* редактора форм отображения не имеет средств связи с функциональными блоками и другими элементами отображения/управления стратегии и предназначен для вывода на экран монитора статической символьной строки, которая определяется на этапе разработки стратегии. Имеется возможность выбора типа и размера шрифта, которым будет выводиться текстовая строка (рис. 4.57).

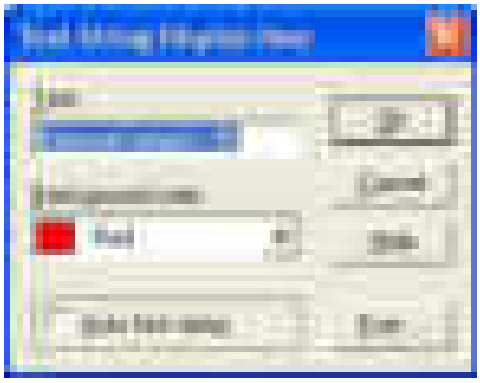


Рис. 4.57. Конфигурирование *текстовой строки*

Поле **Text** предназначено для ввода строки символов, которая будет выводиться во внутренней области элемента отображения во время исполнения стратегии. Поле **Background color** позволяет выбрать цвет внутренней области элемента отображения. Если требуется установить цвет и размер шрифта, следует снять отметку с флажка **Auto font sizing** и нажать кнопку **Font...** диалогового окна, после чего выбрать требуемый вид, размер и цвет в появившемся диалоговом окне настройки параметров шрифта.

4.5.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.57.
2. Выполните *второе действие* из занятия 1. В нашем примере также задан период запуска приложения 100 миллисекунд.
3. *Третье действие*. Добавьте в окно отображения инкрементный регулятор и настройте его в соответствии с рис. 4.55. Добавьте в окно отображения индикатор и настройте его в соответствии с рис. 4.56. Добавьте в это же окно три текстовых строки и настройте их в соответствии с рис. 4.57, 4.59 и 4.60. В результате окно отображения приобретает вид, показанный на рис. 4.61.

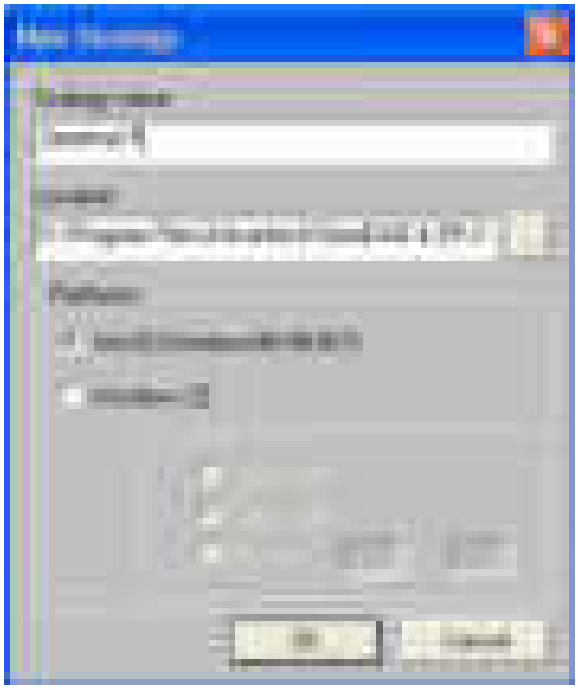


Рис. 4.58. Конфигурирование приложения

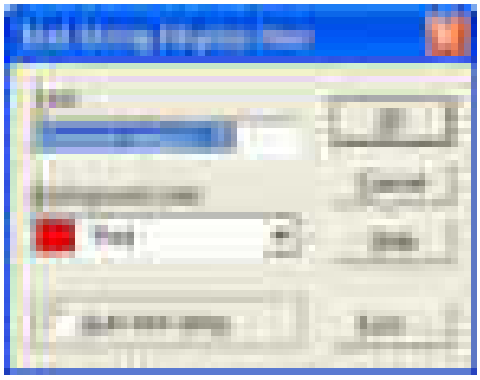


Рис. 4.59. Конфигурирование *текстовой строки*

4. *Четвертое действие*. Выдвиньте на передний план окно редактора задач и разместите в нем функциональные блоки *тег* и блок *архива тревог*. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над блоком *тег* и появится диалоговое окно его настройки (см. выше рис. 4.53). Сконфигурируйте блок *архива тревог* в соответствии с рис. 4.54. Соедините выход *тега* со входом блока архива *тревог*. Окно редактора задач приобретет вид, показанный на рис. 4.62.

Рис. 4.60. Конфигурирование *текстовой строки*

Рис. 4.61. Вид окна отображения

5. *Пятое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично пятому действию из занятия 1. Выполните команду **Setup | Runtime Preference...** и в появившемся окне диалога установите флаг **Enable event log**. Запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.63). Для отображения журнала событий выполните команду **View | Event Log** (рис. 4.64). Используя инкрементный регулятор задайте текущие значения 81 и 19 и обратите внимание на изменение состояния индикатора и связанного с этим появление звуковых сигналов. Подтвердите аварийные сообщения двойным щелчком левой клавиши мыши на строках журнала событий, отображаемых красным цветом. Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.

Рис. 4.62. Вид окна редактора задач

Рис. 4.63. Демонстрация работы проекта в окне отображения

6. *Шестое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

Рис. 4.64. Вид журнала событий

4.5.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.11. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 5"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 5**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Упражнение 4.12

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 0.2 секунды. С помощью эмулятора и блока аналогового ввода, помещенного в окно редактора задач, смоделируйте гармонический сигнал. Поместите в окно редактора задач функциональный блок тревог и подайте на него выходной сигнал блока аналогового ввода. В окне отображения с помощью индикатора отобразите состояние гармонического сигнала (для диапазона High-Low зеленым цветом, а в остальных случаях — красным). Подключите журнал событий и подтвердите получение аварийных сигналов. Снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

Упражнение 4.13

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 1 секунда. Сконфигурируйте окно отображения в соответствии с рис. 4.65. В окне редактора задач используйте блок архива тревог и сконструируйте окно таким образом, чтобы в процессе работы обеспечить следующую последовательность активизации индикаторов: 3-2-1-2-3-4-5-4-3 и т. д.

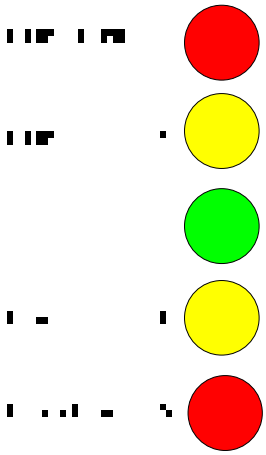


Рис. 4.65. Вид окна отображения (цвета индикаторов: 1, 5 — красный, 2, 4 — желтый, 3 — зеленый, альтернативный цвет — белый)

Упражнение 4.14

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 1 секунда. Сконфигурируйте окно отображения в соответствии с рис. 4.65. В окне редактора задач используйте блок архива тревог и сконструируйте окно таким образом, чтобы в процессе работы обеспечить следующую последовательность активизации индикаторов: 3-4-5-4-3-2-1-2-3 и т. д.

Упражнение 4.15

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 1 секунда. Сконфигурируйте окно отображения в соответствии с рис. 4.66. В окне редактора задач используйте блок архива тревог и сконструируйте окно таким образом, чтобы в процессе работы обеспечить следующую последовательность активизации индикаторов: 2-1-2-3-2-1 и т. д.

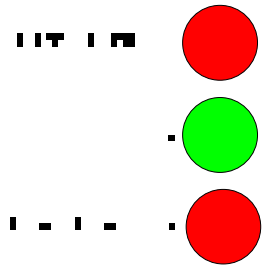


Рис. 4.66. Вид окна отображения (цвета индикаторов: 1, 3 — красный, 2 — зеленый, альтернативный цвет — белый)

Упражнение 4.16

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Задайте период запуска задачи 1 секунда. Сконфигурируйте окно отображения в соответствии с рис. 4.66. В окне редактора задач используйте блок архива тревог и сконструируйте окно таким образом, чтобы в процессе работы обеспечить следующую последовательность активизации индикаторов: 2-3-2-1-2-3 и т. д.

Замечание

Рассматриваемые далее учебные примеры используют программы, написанные на языке Visual Basic for Applications (VBA). Поэтому следующий раздел главы посвящен рассмотрению языка VBA.

4.6. Использование языка VBA в SCADA-системах

Язык *VBA* широко применяется в SCADA-системах в качестве инструментального средства программирования. Далее последовательно приводится краткое описание основных средств VBA, не зависящих от среды его использования [14, 15], и рассматриваются средства привязки языка VBA к SCADA-системе GeniDAQ (фирма Advantech, США).

4.6.1. Средства языка VBA, инвариантные к среде использования (Microsoft Visual Basic 6.3)

Язык VBA, в отличие от языка Visual Basic (VB), не является языком объектно-ориентированного программирования в строгом смысле этого слова, но в нем широко используются элементы объектно-ориентированного подхода и связанные с ним понятия. VBA — подмножество языка VB, которое включает почти все средства создания приложений, структуры данных, управляющие структуры и возможность создания пользовательских типов данных.

Язык VBA является языком визуального и событийно управляемого программирования. Он позволяет создавать нестандартные диалоговые окна с набором элементов управления, процедуры, обрабатывающие события, возникающие при тех или иных действиях системы и пользователя. Проект (программа) на языке VBA, в отличие от программ на других языках, — результат побочной деятельности по созданию некоторого объекта (документа). Более того, проект VBA нельзя создать независимо от какого-либо объекта, даже если никакие свойства этого объекта не используются.

Язык VBA имеет графическую интегрированную среду разработки и реализует концепцию визуального программирования, управляемого событиями. Одной из важных областей применения языка VBA является его использование для программирования алгоритмов управления и других целей в SCADA-системах. Применительно к этому и ведется дальнейшее изложение материала.

4.6.1.1. Типы данных

В языке VBA имеются следующие типы данных: **Byte** (байт), **Boolean** (логический), **Integer** (целое), **Long** (длинное целое), **Single** (с плавающей точкой обычной точности), **Double** (с плавающей точкой двойной точности), **Currency** (денежный), **Decimal** (масштабируемое целое), **Date** (даты и время), **Object** (объект), **String** (строка), **Variant** (тип используется по умолчанию) — тип данных, определяемый пользователем, а также специальные типы объектов (табл. 4.3).

Таблица 4.3. *Типы данных языка VBA*

Тип	Размер в байтах	Диапазон значений
Boolean	2	**True** или **False**
Byte	1	От 0 до 255 (беззнаковое)
Date	8	От 0:00:00 1 января 0100 г. до 23:59:59 31 декабря 9999 г.
Currency	8	Характеризует денежную величину и принимает значения от 922 337 203 685 477.580 8 до -922 337 203 685 477.580 7
Decimal	12	От 0 до +/-79 228 162 514 264 337 593 543 950 335 без десятичной точки. От 0 до +/-7.922 816 251 426 433 759 354 395 033 5 с 28 знаками справа от десятичной точки; наименьшее ненулевое число +/-0.0000000000000000000000000001 (+/-1E-28)
Double (double precision floating point)	8	От -1.797 693 134 862 315 70E+308 до 4.940 656 458 412 465 44E-324 для отрицательных значений. От 4.940 656 458 412 465 44E-324 до 1.797 693 134 862 315 70E+308 для положительных значений
Integer	2	От -32 768 до 32 767
Long (long integer)	4	От -2 147 483 648 до 2 147 483 647
Object	4	Переменная объектного типа, содержащая ссылку на объект (объект может быть целого типа)
Single (single precision floating point)	4	От -3.402 823 5E+38 до -1.401 298E-45 для отрицательных значений. От 1.401 298E-45 до 3.402 823 5E+38 для положительных значений
String (variable length)	Реализация зависит от платформы	От 0 примерно до 2 млрд. двухбайтовых юникод-символов

Тип	Размер в байтах	Диапазон значений
Variant	Для переменной любого типа	Для переменной любого типа

Переменные и константы типа **Boolean** хранятся как 16-битные числа, но могут принимать только значения **True** или **False**. Используйте эти ключевые слова, чтобы присвоить одно из двух состояний переменной типа **Boolean**. Значение по умолчанию для переменных типа **Boolean** — **False**. Когда числовые типы данных приводятся к типу **Boolean**, 0 становится **False**, а все остальные значения — **True**. И наоборот, когда значение с типом **Boolean** приводится к числовому типу, **False** становится 0, а **True** — 1.

4.6.1.2. Переменные

В языке VBA *переменная* (variable) используется для временного хранения данного в оперативной памяти. Переменная должна быть *определена* прежде, чем ее можно использовать. Определение переменной производится при помощи операторов **Dim**, **Private**, **Static** или **Public**, которые также определяют и *область видимости* (область действия) переменной. Например, следующий оператор объявляет целую переменную (тип **Integer**):

```
Dim N As Integer
```

Если тип при определении переменной опущен, то по умолчанию переменная получает тип Variant. Например, следующий оператор определяет переменную x типа **Variant**:

```
Dim x
```

Тип переменной или константы можно также определить непосредственно при ее первом вхождении в текст программы с помощью *специальных символов в конце идентификаторов*: % — для **Integer**, & — для **Long**, ! — для **Single**, # — для **Double**, @ — для **Currency**, $ — для **String**. Например, идентификатор Primer$ является идентификатором переменной типа **String**. Однако подобная практика не соответствует хорошему стилю программирования. Приведем еще несколько примеров:

```
IntegerVar% = 123           ' Переменная типа Integer
DoubleVar# = 123.45         ' Переменная типа Double
Const Integerconst% = 123   ' Константа типа Integer
```

> ***Замечание***
> Если специальный символ в конце идентификатора отсутствует и переменная не определена явным образом, то такой идентификатор соответствует переменной с типом **Variant**.

4.6.1.3. Задание времени жизни и области видимости переменных

Время жизни и область видимости определяют соответственно место использования переменной в приложении, а также время ее существования после создания переменной (время жизни).

Область видимости переменной определяет часть кода, которая "знает" о существовании данной переменной. Так, в частности, при определении переменной в процедуре или функции получить или изменить ее значение можно только из кода этой процедуры или функции. Существуют три типа области видимости переменной.

- Переменные уровня процедуры или функции распознаются только в процедуре или функции, в которой они описаны. Они определяются в теле процедуры или функции при помощи *операторов* ***Dim, Private*** *или* ***Static*** (по умолчанию **Private**). Такие переменные называются *локальными*. При выходе из процедуры такие переменные становятся недоступными. При выходе из процедуры или функции, в которой при помощи операторов **Dim** или **Private** была определена локальная переменная, такая переменная "уничтожается", т. е. освобождается память, занятая такой переменной. Сказанное не относится к локальным переменным, определенным с помощью служебного слова **Static** — их время жизни максимально.
- Переменные уровня *контейнера* используются только в контейнере (форме, модуле, классе), в котором они описаны, но не в других контейнерах данного проекта. Контейнерные переменные определяются обязательно при помощи служебного слова **Private** в области описания контейнера, т. е. перед определением процедур и функций.
- Переменные уровня модуля, описанные при помощи *оператора* ***Public***, являются доступными внутри данного проекта, а также других проектов, которые ссылаются на данный проект. Такие переменные называются *глобальными (открытыми)*. Время жизни открытой переменной совпадает со временем работы программы. *Глобальные переменные могут использоваться только в модулях*.

Еще раз отметим, что закрытая (**Private**) переменная сохраняет свое значение, только, пока активна процедура, функция или контейнер, в которых эта переменная определена. При их завершении значение переменной теряется и при повторном запуске переменную надо заново разместить в памяти и инициализировать. Переменные, описанные с использованием оператора **Static** или **Public**, сохраняют свое значение в течение всего времени работы программы.

> ***Примечание***
> Синтаксис определения переменных с помощью операторов **Static, Private** и **Public** аналогичен синтаксису определения переменных с помощью оператора **Dim** (вместо служебного слова **Dim** можно использовать одно из служебных слов **Static, Private** или **Public**).

4.6.1.4. Опция явного определения переменных

Для обязательного определения всех переменных в начале модуля, в так называемой области модуля **General Declarations**, надо поместить *директиву* ***Option Explicit***.

Если данная опция включена, то нужно явно определять все переменные, если же выключена, то всем необъявленным переменным присваивается тип по умолчанию. Пример:

```
Option explicit
Dim MyVar       ' Определение переменной
MyInt = 10      ' Ошибка: используется неопределенная переменная
MyVar = 10      ' Ошибка отсутствует
```

4.6.1.5. Соглашения о записи имен

Язык VBA является регистрово-независимым языком, т. е. не имеет значение, какими буквами написаны *служебные* слова — прописными или строчными. Более того, встроенный редактор языка VBA автоматическая заменяет регистр, как в служебных словах, так и в определенных явно именах переменных и функций. При присвоении имен подпрограммам, константам, переменным и аргументам необходимо учитывать следующие правила.

- В языке VBA не различаются строчные и прописные буквы, поэтому, например, идентификатор MyIdentificator и myidentificator являются эквивалентными и указывают на одну область памяти. По умолчанию в языке VBA все одинаковые идентификаторы автоматически приводятся к единообразному виду, соответственно его первому вхождению в текст программного кода.
- Имена должны начинаться с буквы.
- Идентификатор (имя) не может содержать пробел, точку, восклицательный знак или специальные символы @, &, $, # (однако, в конце идентификаторов переменных специальные символы использовать можно).
- Имена не должны содержать более 255 символов.
- Не рекомендуется использовать имена, совпадающие с названиями стандартных синтаксических конструкций — служебными словами, функциями, объектами, методами и т. д. Совпадение названий может привести к замещению соответствующего стандартного элемента языка. При возникновении такой ситуации для вызова встроенных функций, операторов или методов необходимо явно указывать связанную с ними библиотеку типов. Например, если была объявлена переменная с именем Left, то функция Left должна вызываться как VBA.Left.
- Имена, определенные в одной области видимости, должны быть уникальны. Это означает, например, что в одной процедуре нельзя объявить две переменные с одинаковым именем. Однако имя переменной, определенной как глобальная, вполне может совпадать с именем переменной, описанной локально. В этом случае соответствующая глобальная переменная замещается локальной переменной. Локальные переменные, описанные в разных подпрограммах, независимы, поэтому их имена могут совпадать.

Кроме этого, при создании идентификатора рекомендуется использовать *формальные префиксы*, указывающие на тип переменной (табл. 4.4). Использование префиксов создает единообразие в обозначении переменных.

Таблица 4.4. *Префиксы переменных, указывающие на их тип*

Тип данных	Префикс
Boolean	Bln
Byte	Byt
Currency	Cur
Date	Dtm
Double	Dbl
Integer	Int
Long	Lng
Object	Obj
Single	Sng
String	Str
Пользовательский тип данных	Udt
Variant	Vnt

4.6.1.6. Определение переменной

Определение переменной до ее использования в тексте программы в языке VBA не является обязательным. Если при определении переменной не был явно указан тип переменной или она вообще не была описана, то ей автоматически присваивается тип **Variant**:

```
VarVal = "10"                 ' VarVal имеет тип String
                              '   и значение "10"
Dim VarValue As Variant
VarValue = "10"               ' VarValue имеет тип String
                              '   и значение "10"
VarValue = VarValue + 10      ' VarValue имеет тип Integer
                              '   и значение 20
VarValue = VarValue & " штук" ' VarValue имеет тип String
                              '   и значение "20 штук"
```

4.6.1.7. Служебное слово Null

Переменные типа **Variant** могут иметь *особое значение* ***Null***, которое означает, что переменные отсутствуют, неизвестны или неприменимы. Например, по умолчанию данные в полях таблицы базы данных имеют тип **Variant**. Поэтому, если оставить поле пустым, ему будет присвоено значение **Null**. Функция IsNull проверяет, является ли указанное значение **Null**:

```
Dim VntVar, BlnVar As Boolean
VntVar = 3
BlnVar = IsNull( VntVar )   ' VntVar примет значение False
```

4.6.1.8. Комментарии

Комментарии в языке VBA пишутся за символом ' вплоть до конца строки. Можно также использовать для этих целей служебное слово **Rem** в начале строки или после оператора. Пример использования комментариев:

```
Dim Inta As Integer
' ***************************
' * Inta – целая переменная *
' ******************   *****
Dim Strb As String: Rem Комментарий д. б. после двоеточия
Rem – это тоже строка комментария
```

4.6.1.9. Перенос строки кода

В соответствии с синтаксисом языка VBA оператор должен располагаться в одной строке. Однако это неудобное ограничение можно обойти. Для этого достаточно использовать комбинацию символов " _" (пробел + символ подчеркивания) в конце строки и последующая строка будет восприниматься как продолжение предыдущей:

```
MsgBox "Имя состоит только" & vbCr _
       & " из букв латинского алфавита"
' MsgBox выводит окно с заданным сообщением
' vbCr осуществляет переход на новую строку
' & является операцией сложения строк
```

4.6.1.10. Строки и строковые операции

Строка представляет собой последовательность символов, которая должна быть окружена кавычками:

```
Dim StrS As String
StrS = "Это строка"
```

В языке VBA имеется две строковые операции: *присваивание* и *конкатенация*. Конкатенация обозначается символом & или символом +:

```
Dim StrS As String
StrS = "Visual Basic " & "for " + "Applications"
```

Служебное слово ***Empty*** возвращает ссылку на пустую строку. Того же эффекта можно добиться, поставив рядом две кавычки (""). Например:

```
If Empty = "" Then MsgBox "Равносильны"
```

4.6.1.11. Даты

Тип ***Date*** подразумевает как время, так и дату. Отображаются даты из интервала от 1 января 100 года до 31 декабря 9999 года, а время из интервала от 0:00:00 до 23:59:59. Значения дат могут быть представлены в любом распознаваемом формате и должны быть окаймлены знаками “#”. Например, следующие два оператора присваивают переменным DtmD1 и DtmD2 одно и то же значение — 31 января 2003 года:

```
Dim DtmD1 As Date, DtmD2 As Date
DtmD1 = #1/31/2003#
DtmD2 = #31 Jan 2003#
```

4.6.1.12. Статические массивы

Массив, как и скалярную переменную, надо определять с помощью операторов **Dim**, **Static**, **Private** и **Public**, которые также задают область видимости и время действия массива. В массиве допускается описание до 60 размерностей. При определении размерности надо указывать верхнюю и нижнюю границы. Если нижний индекс не задан явно, нижняя граница массива определяется директивой **Option Base**. Если данная директива отсутствует, нижняя граница массива равняется нулю:

```
Dim IntA( 11 ) As Integer
```

`IntA( 0 )` — первый элемент массива, `IntA( 11 )` — последний, 0 — базовый индекс, всего 12 элементов.

Пример определения матрицы из 2 строк и 3 столбцов:

```
Dim SngB( 1, 2 ) As Single
```

Пример изменения нижней границы массива — массив из 11 элементов:

```
Option Base 1
Dim IntA( 11 ) As Integer
```

При определении массива можно использовать служебное слово **To**:

```
Dim IntA( 1 To 12 ) As Integer
```

Элементы массива можно инициализировать либо последовательностью операторов

```
Dim SngB( 1, 1 ) As Single
' Два оператора в одной строке
SngB( 0, 0 ) = 2 : SngB( 0, 1 ) = 4
SngB( 1, 0 ) = 1 : SngB( 1, 1 )= 6
```

либо оператором цикла

```
Dim IntM( 1 To 9, 1 To 9 ) As Integer, Inti As Integer, _
    Intj As Integer
' Циклы For-Next, переменные цикла Inti и Intj
' Шаг по умолчанию равен 1
For Inti = 1 To 9
    For Intj = 1 To 9
        IntM( Inti, Intj ) = Inti * Intj
    Next
Next
```

Удобным способом определения одномерных массивов является функция Array, преобразующая список элементов, разделенных запятыми, в вектор из этих значений и присваивающая их переменной типа **Variant**. Допустима инициализация как одномерного массива, так и многомерного, за счет применения вложенных конструкций с функциями Array.

Пример инициализации одномерного массива с использованием функции Array:

```
Dim VntNum As Variant, DblS As Double
VntNum = Array( 10, 20 )
DblS = VntNum( 0 ) + VntNum( 1 )
MsgBox DblS
```

Пример инициализации двумерного массива с использованием вложенных конструкций с функциями Array:

```
Dim VntCityCountry As Variant
VntCityCountry = Array( _
    Array( "Санкт-Петербург", "Россия" ), _
    Array( "Кейптаун", "ЮАР" ) )
' Отобразится "Санкт-Петербург"
MsgBox VntCityCountry( 0 ) ( 0 )
MsgBox VntCityCountry( 0 ) ( 1 ) ' Отобразится "Россия"
```

4.6.1.13. Динамические массивы

Иногда в процессе выполнения программы требуется изменять размер массива. В этом случае первоначально массив определяют как динамический. Для этого при определении массива не надо указывать размерность:

```
Dim SngR( ) As Single
```

Затем в программе следует вычислить необходимый размер массива и изменить размер динамического массива с помощью *оператора* ***ReDim***.

В следующем примере сначала объявляется динамический массив, а затем устанавливаются границы его индекса:

```
Dim DblR( ) As Double
ReDim DblR( 1 To 10 )
```

Допустимо повторное использование оператора **ReDim** для изменения числа элементов и размерностей массива. В следующем примере создается массив с результатами бросания монеты. Монета бросается до тех пор, пока три раза не выпадет орел. Размерность динамического массива после каждого броска корректируется с сохранением в нем ранее записанных результатов бросания монеты за счет использования *служебного слова* ***Preserve***.

```
Dim VntAttempt( ), Inti As Integer, IntScore As Integer, _
    IntCoin As Integer
Inti = 0: IntScore = 0
' Цикл Do, выполняется, пока не выполнится условие Until
Do
    Inti = Inti + 1
    IntCoin = Int( 2 * Rnd( ) )
    ' Функция Int( ) возвращает целую часть числа
    ' Функция Rnd( ) возвращает случайное число из
    '   интервала от 0 до 1
    ' 0 - решка, 1 - орел
    If IntCoin = 1 Then IntScore = IntScore + 1
    ReDim Preserve VntAttempt( Inti )
    VntAttempt( Inti ) = Inti
Loop Until IntScore = 3
```

4.6.1.14. Определение границ индексов массива

Функции LBound, UBound возвращают минимальное и максимальное допустимые значения указанного индекса массива. Например, в следующем коде отобразится 100 и 5:

```
Dim VntA( 1 To 100, 0 To 5 )
MsgBox UBound( VntA, 1 ) & vbCr & UBound( VntA, 2 )
' vbCr – оператор новой линии
```

Следующие операторы позволяют перебирать элементы массива без указания его размерности:

```
Dim VntD As Variant, Inti As Integer
VntD = Array( "Пн", "Вт", "Ср", "Чт", "Пт" )
For Inti = LBound( VntD ) To UBound( VntD )
    MsgBox VntD( Inti )
Next
```

4.6.1.15. Константы

Константы в отличие от переменных, *не могут изменять свои значения*. Константы могут записываться либо в виде *литералов*, либо определяться как *именованные константы*. Именованные константы определяются при помощи служебного слова **Const**, перед которым, не обязательно, может находиться определяющее область видимости служебное слово **Public** или **Private** (при его отсутствии предполагается по умолчанию **Private**). Как и переменные, именованные константы делятся на три группы — локальные, контейнерные и глобальные. Если именованная константа определяется внутри процедуры или функции (**Private**), то она является локальной и доступна только внутри процедуры или функции. Контейнерные именованные константы доступны только внутри контейнера (формы, модуля или класса), в котором они определены. Глобальные именованные константы могут определяться только в модуле с использованием служебного слова **Public.** Они доступны во всей программе. Приведем примеры констант-литералов и именованных констант:

```
' Именованные константы для типа Byte
' *********************************
Public Const BytB1 As Byte = 255
Private Const BytB2 As Byte = 0     ' или эквивалентно
Const BytB2 As Byte = 0
Const BytB2 As Byte = 121
' Литералы и именованные константы для типа Currency
' ************************************************
1000000.0000@                       ' Литерал
Public Const CurC1 As Currency = 1000000.0000@
Private Const CurC2 As Currency = 1000000.0000@
' или эквивалентно
Const CurC3 As Currency = 1000000.0000@
' Литералы и именованные константы для типа Date
' **********************************************
#January 1, 1993#                   ' Литерал
Public Const DtmD1 = #January 1, 1993#
```

```
Private Const DtmD2 = #January 1, 1993#
' или эквивалентно
Const DtmD3 = #January 1, 1993#
' Литералы и именованные константы для типа Double
' ************************************************
1.5                                  ' Литерал
Public Const DblD1 As Double = 1.5
Private Const DblD2 As Double = 1.5
' или эквивалентно
Const DblD3 As Double = 1.5
' Литералы и именованные константы для типа Integer
' ************************************************
1                                    ' Литерал
Public Const IntI1 As Integer = 2
Private Const IntI2 As Integer = 3
' или эквивалентно
Const IntI3 As Integer = 3
' Литералы и именованные константы для типа Long
' *********************************************
1&                                   ' Литерал
Public Const LngL1 As Long = 2&
Private Const LngL2 As Long = 3&
' или эквивалентно
Const LngL3 As Long = 3&
' Литералы и именованные константы для типа Single
' ************************************************
17.4!                                ' Литерал
Public Const SngS1 As Single = 17.4!
Private Const SngS2 As Single = 17.4!
' или эквивалентно
Const SngS2 As Single = 17.4!
' Литералы и именованные константы для типа String
' ************************************************
"Hello"                              ' Литерал
Public Const StrS1 As String = "Hello"
Private Const StrS2 As String = "Hello"
' или эквивалентно
Const StrS2 As String = "Hello"
```

4.6.1.16. Перечисляемый тип

Перечисляемый тип предоставляет удобный способ работы с целочисленными константами и позволяет ассоциировать их значения с именами. Этот тип определяется при помощи *служебного слова* ***Enum***, перед которым может идти модификатор доступа **Public** или **Private**. В следующем далее примере задается перечисляемый тип для идентификации стороны монеты:

```
Enum Coin
    Head = 1
    Tail = -1
End Enum
' Подпрограмма Attempt( )
```

```
Sub Attempt( )
    Dim r As Integer
    ' Оператор Randomize используется для указания выборки
    '   псевдослучайных чисел
    Randomize
    r = 2 * Int( 2 * Rnd( ) ) - 1
    ' Оператор выбора
    Select Case r
        Case Head
            MsgBox "Орел!"
        Case Tail
            MsgBox "Решка"
    End Select
End Sub
```

Если перечисляемым константам целого типа (в данном случае Head и Tail) явно не заданы значения, то по умолчанию они полагаются равными 0, 1, …

4.6.1.17. Тип данных, определяемых пользователем (структурный тип)

Наряду с массивами, представляющими нумерованный набор элементов одинакового типа, существует еще один способ создания *структурного типа* — определенный пользователем тип или, в привычной терминологии для программистов — *запись (структура)*. Запись — это совокупность нескольких элементов, каждый из которых может иметь свой тип. Элемент записи называется полем. Запись является частным случаем класса, в котором не определены методы. Данный тип определяется при помощи *служебного слова* ***Type***, перед которым может идти модификатор доступа **Public** или **Private**. Оператор **Type** используется *только на уровне модуля*. Появлению в модуле класса оператора **Type** должно предшествовать служебное слово **Private**. В следующем далее примере оператор **Type** используется для определения типа данных MyType, инкапсулирующего в себе информацию о персонажах сказок. У этой записи имеются три поля. Первое поле имеет тип **Integer** и содержит идентификационный номер героя, второе поле имеет тип **String** и специфицирует его имя. Третье поле имеет тип **Variant** и может содержать любой тип данных, и даже динамический массив.

```
' Объявление структурного типа
Private Type MyType
    ID As Integer
    Name As String
    Info As Variant
End Type
' Использование структурного типа
Sub TestMyType( )
    ' Массив структур
    Dim a( 1 ) As MyType
    ' Динамический массив строк для поля Variant
    Dim txt( ) As String
' Пересоздание и инициализация массива строк
    ReDim txt( 1 )
```

```
    txt( 0 ) = " из"
    txt( 1 ) = " страны чудес"
' Инициализация первого элемента массива структур
    a( 0 ).ID = 2
    a( 0 ).Name = " Алиса"
    a( 0 ).Info = txt
    ReDim txt( 2 )
    txt( 0 ) = " Пух"
    txt( 1 ) = " - наш любимый "
    txt( 2 ) = "персонаж"
    a( 1 ).ID = 1
    a( 1 ).Name = " Винни"
    a( 1 ).Info = txt
    ' Вывод в окно Immediate
    Debug.Print "    a0    "
    Debug.Print a( 0 ).ID & a( 0 ).Name _
          & a( 0 ).Info( 0 ) & a( 0 ).Info( 1 )
    Debug.Print "    a1    "
    Debug.Print a( 1 ).ID & a( 1 ).Name _
          & a( 1 ).Info( 0 ) & a( 1 ).Info( 1 ) _
          & a( 1 ).Info( 2 )
End Sub
```

4.6.1.18. Приоритеты операций

Выражения в языке VBA состоят из операндов (константы, переменные, указатели функций и подвыражения) и операций. При вычислении значения выражения порядок выполнения операций определяется их приоритетами. Приоритет операций позволяет установить последовательность выполнения вычислений. В языке VBA существует несколько правил, строго регламентирующих порядок вычисления значения выражения.

- Операции, расположенные внутри круглых скобок, всегда выполняются раньше, чем операции вне скобок.
- При проведении вычислений в смешанных выражениях, содержащих операции разных типов, сначала выполняются арифметические операции, затем операции сравнения и логические операции.
- Арифметические операции выполняются в следующем порядке по убыванию приоритетов: возведение в степень ^, изменение знака (унарный минус -), равнозначные по приоритету умножение и деление * и /, деление по модулю **Mod**, равнозначные по приоритету сложение и вычитание (бинарные операции плюс + и минус -), сложение строк &. Операции одинакового приоритета выполняются в порядке их расположения в выражении слева направо.
- Операции сравнения имеют равный приоритет и выполняются в порядке их расположения в выражении слева направо.
- Логические операции выполняются в следующем порядке по убыванию их приоритетов: **Not**, **And**, **Or**, **Xor**, **Eqv**, **Imp**.

4.6.1.19. Математические операции

В языке VBA поддерживается стандартный набор *математических операций*. Следующий далее код демонстрирует их применение:

```
Dim x As Double, y As Double, z As Double
x = 1 : y = 3   ' Инициализация переменных в одной строке
z = x + y       ' Сложение
z = x - y       ' Вычитание
z = x * y       ' Умножение
z = x / y       ' Деление
' Целочисленное деление (результат — целое)
z = x \ y
z = x Mod y     ' Остаток от деления по модулю
z = x ^ y       ' Возведение в степень
```

4.6.1.20. Операции отношения

В языке VBA используется стандартный набор *операций отношения*:

```
Dim x As Double, y As Double, b As Boolean
x = 1 : y = 3
b = ( x < y )   ' Меньше
b = ( x <= y )  ' Меньше или равно
b = ( x > y )   ' Больше
b = ( x >= y )  ' Больше или равно
b = ( x <> y )  ' Не равно
b = ( x = y )   ' Равно
```

4.6.1.21. Логические операции

Логические операции языка VBA перечислены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. *Логические операции языка VBA*

Операции	Описание
`exp1` **And** `exp2`	Логическое умножение (результат **True** при `exp1=exp2=`**True**)
`exp1` **Or** `exp2`	Логическое сложение (результат **True** при `exp1` и/или `exp2` **True**)
`exp1` **Xor** `exp2`	Исключающее ИЛИ (результат **True** тогда и только тогда, когда только один операнд имеет значение **True**)
Not `exp`	Логическое отрицание (результат при `exp=`**True** и наоборот)
`exp1` **Imp** `exp2`	Логическая импликация (принимает значение **False** лишь в случае, когда exp1=**True**, а exp2=**False**)
`exp1` **Equ** `exp2`	Логическая эквивалентность (результат **True**, когда операнды равны друг другу)
`exp1` **Like** `exp2`	Операция сравнения объектов типа String (результат **True**, если строки равны друг другу)

Действие операции сравнения **Like** зависит от директивы **Option Compare**, которая располагается в области описания модуля. По умолчанию для каждого модуля

считается установленной инструкция **Option Compare Binary**, при которой различаются строчные и прописные буквы, т. е. следующий оператор вернет **False**:

```
Debug.Print "AA" Like "aa"
```

Если же в области описания модуля указан оператор **Option Compare Text**, то при сравнении строчные и прописные буквы не различаются, и тот же самый оператор на этот раз вернет **True**.

В следующем далее примере в поле ввода диалогового окна пользователь вводит свое имя латинскими буквами. При нажатии кнопки **OK** программа анализирует информацию и отображает соответствующее сообщение:

- если пользователь забыл ввести имя, то его об этом информируют;
- если во введенном имени присутствуют знаки, отличные от букв латинского алфавита, пользователя об этом информируют;
- если имя состоит только из букв латинского алфавита, то с пользователем здороваются.

```
Option Compare Text
Sub DemoCompare( )
    Dim StrName As String, IntLng As Integer, _
        IntI As Integer
    StrName = InputBox( "Введите имя" )
    ' InputBox( ) выводит окно с полем ввода. Возвращает
    '   введенное выражение
    StrName = Trim( StrName )
    ' Trim( ) урезает лидирующие и последние пробелы в
    '   строке
    IntLng = Len( StrName )
    ' Len( ) возвращает длину строки
    If IntLng = 0 Then
        MsgBox "Забыли ввести имя"
        Exit Sub
    Else
        For IntI = 1 To IntLng
            If Not Mid( StrName, IntI, 1 ) _
                        Like "[A-Z]" Then
            ' Функция Mid( ) возвращает подстроку строки,
            '   содержащую, начиная со специфицированной
            '   позиции, указанное число символов
            ' "[A-Z]" - строка, содержащая все символы,
            '   находящиеся между A и Z
                MsgBox "Имя должно состоять только" _
                       & vbCr & _
                       "из букв латинского алфавита"
                Exit Sub
            End If
        Next IntI
    End If
    MsgBox "Привет, " & StrName
End Sub
```

4.6.1.22. Операции присваивания

Оператор присваивания присваивает значение выражения переменной, константе или свойству объекта (свойство — элемент ООП, позволяющий получать и устанавливать значения параметров текущего состояния объекта). Оператор присваивания всегда включает знак равенства =. Например, в результате, действия следующей пары операторов

```
x = 2
x = x + 2
```

переменной x будет присвоено значение 4.

Для присваивания переменной ссылки на объект в операторе присваивания применяется служебное слово **Set**. В общем случае оператор **Set** имеет следующий синтаксис:

```
Set varname = {[ New ] expression | Nothing}
```

Здесь служебное слово **New** используется при создании нового экземпляра класса, а служебное слово **Nothing** позволяет освободить все системные ресурсы и ресурсы памяти, выделенные для объекта, на который имелась ссылка (проще говоря, объект удаляется из памяти). Пример:

```
' Определение объекта типа Drives
Dim objFSO As FileSystemObject
Dim objDrives As Drives
Set objFSO = New FileSystemObject
Set objDrives = objFSO.Drives
```

4.6.1.23. Оператор With

*Оператор **With*** избавляет программиста от утомительной обязанности использовать большое количество повторений имени одного и того же объекта при работе с его свойствами и методами. Кроме того, он структурирует код, делая его более прозрачным:

```
With frmFirst
    .Font.Italic = True
    .PictureTiling = True
End With
```

Это эквивалентно следующей записи:

```
frmFirst.Font.Italic = True
frmFirst.PictureTiling = True
```

4.6.1.24. Операторы управления

В языке VBA имеются несколько операторов управления ходом выполнения программы. Функционально они делятся на две группы:

- операторы перехода и выбора (**Goto**, **If** и **Select**);
- операторы повтора (**For Next**, **For Each**, **Do-Loop** и **While**).

*Оператор условного перехода **If*** задает выполнение определенных групп операторов в зависимости от значения выражения. Например, если скидка (скажем, 5%)

применяется только к суммам больше 1000, то в языке VBA это можно записать следующим образом:

```
If Сумма > 1000 Then Скидка = 0.05 Else Скидка = 0
```

что эквивалентно

```
Скидка = 0
If Сумма > 1000 Then Скидка = 0.05
```

Рекомендуется использование блочной формы синтаксиса, которая часто упрощает восприятие оператора условного перехода. Приводимый ранее пример со скидкой можно записать в следующей эквивалентной блочной структуре:

```
If Сумма > 1000 Then
    Скидка = 0.05
Else
    Скидка = 0
End If
```

или

```
Скидка = 0
If Сумма > 1000 Then
    Скидка = 0.05
End If
```

Дерево условий может оказаться гораздо более сложным, чем просто проверка одного условия. В этом случае используется *оператор* ***If Then ElseIf***, который позволяет проверять множественные условия. Следующий пример демонстрирует то, как производится порядок проверки условий. В нем, в зависимости от величины вводимого числа, отображается сообщение о принадлежности числа либо интервалу [0, 1], либо интервалу (1, 2], либо о не принадлежности числа этим двум интервалам.

```
Sub DemoElseIf( )
    x = InputBox( "Введите число" )
    ' Преобразование строки в число
    x = Val( x )
    If 0 <= x And x <= 1 Then
        MsgBox "Число из интервала [0, 1]"
    ElseIf 1 < x And x <= 2 Then
        MsgBox "Число из интервала (1, 2]"
    Else
        MsgBox "Число либо отрицательное, либо больше 2"
    End If
End Sub
```

Не применяйте оператор условного перехода, если это возможно:

```
Sub TrueOrFalseSlower( )
    Dim BlnIsYes As Boolean
    Dim IntI As Integer
    IntI = 3
    If IntI = 5 Then
        BlnIsYes = True
    Else
```

```
        BlnIsYes = False
    End If
    MsgBox BlnIsYes
End Sub
```

В этом случае предпочтительнее использовать приводимый далее код, который не только изящнее, но и работает быстрее:

```
Sub TrueOrFalseFaster( )
    Dim BlnIsYes As Boolean
    Dim IntI As Integer
    IntI = 3
    BlnIsYes = ( IntI = 5 )
    MsgBox BlnIsYes
End Sub
```

Оператор выбора ***Select Case*** выполняет одну из нескольких групп операторов в зависимости от значения выражения. Оператор выбора очень эффективен, когда надо проверить одну переменную или выражение, принимающие ограниченное количество значений (типы **Byte**, **Integer**, **Long**). В следующем примере, как и ранее, в зависимости от величины введенного числа, отображается сообщение, указывающее на величину числа или диапазон, которому оно принадлежит.

```
Sub DemoSelect( )
    Dim IntX As Integer
    IntX = InputBox( "Введите целое число" )
    Select Case IntX
        Case 1
            MsgBox "Число равно 1"
        Case 2, 3
            MsgBox "Число равно 2 или 3"
        Case 4 To 6
            MsgBox "Число от 4 до 6"
        Case Is >= 7
            MsgBox "Число не менее 7"
        Case Else
            MsgBox " Число менее 1"
    End Select
End Sub
```

Оператор ***For Next*** повторяет выполнение группы операторов указанное число раз, а именно, пока переменная цикла изменяется от начального значения до конечного с указанным шагом. Если шаг не указан, то он полагается равным 1. Альтернативный способ выхода из цикла предоставляет оператор **Exit For**. В следующем примере при помощи оператора цикла находится сумма элементов массива.

```
Sub DemoFor1( )
    Dim VntA As Variant
    VntA = Array( 1, 4, 12, 23, 34, 3, 23 )
    VntS = 0
    For Vnti = LBound( VntA ) To UBound( VntA )
        VntS = VntS + VntA( Vnti )
    Next
```

```
    MsgBox VntS
End Sub
```

В следующем коде находится сумма всех четных целых из интервала от 1 до 100.

```
Sub DemoFor2( )
    Dim IntI As Integer, IntS As Integer
    IntS = 0
    For IntI = 2 To 100 Step 2
        IntS = IntS + IntI
    Next
    MsgBox IntS
End Sub
```

Оператор ***For Each*** повторяет выполнение группы операторов для каждого элемента массива или семейства. Альтернативный способ выхода из цикла предоставляет оператор **Exit For**. В следующем далее коде оператор **For Each** используется для суммирования элементов массива:

```
Sub DemoForEach( )
    Dim VntA As Variant, DblS As Double
    VntA = Array( 1, 4, 12, 23, 34, 3, 23 )
    DblS = 0
    For Each b In VntA
        DblS = DblS + b
    Next
    MsgBox DblS
End Sub
```

Оператор ***While*** выполняет последовательность операторов, пока заданное условие возвращает значение **True**. Оператор повтора **While** в отличие от оператора **For** выполняется не заданное число раз, а пока выполняется условие. В следующем примере бросается игральная кость до тех пор, пока не выпадет шесть очков. При выпадении шести очков игра заканчивается, и отображается сообщение с указанием, на каком броске она закончилась.

```
Sub DemoWhile( )
    Dim IntAttempt As Integer, IntScore As Integer
    Randomize
    IntScore = Int( 6 * Rnd( ) ) + 1
    IntAttempt = 1
    While IntScore < 6
        IntAttempt = IntAttempt + 1
        IntScore = Int( 6 * Rnd( ) ) + 1
    Wend   ' Служебное слово окончания цикла While
    MsgBox "Победили на попытке: " & IntAttempt
End Sub
```

Оператор ***Do*** повторяет выполнение набора операторов, пока условие имеет значение **True** (случай **While**) или пока оно не примет значение **True** (случай **Until**):

```
Do [{While | Until} condition]
   [statements]
   [Exit Do]
   [statements]
```

```
Loop
```
или
```
Do
   [statements]
   [Exit Do]
   [statements]
Loop [{While | Until} condition]
```

В любом месте управляющей структуры **Do** может быть размешено любое число операторов **Exit Do**, обеспечивающих альтернативные возможности выхода из цикла **Do**. Примером использования оператора цикла **Do Until** может быть следующий далее код, который обеспечивает повторение цикла до тех пор, пока в поле ввода диалогового окна не будет введен пароль (в данном случае Admin):

```
Sub DemoPassword( )
    Dim StrPs As String
    Do
        StrPs = InputBox( "Введите пароль" )
    Loop Until StrPs = "Admin"
End Sub
```
или эквивалентно
```
Sub DemoPassword( )
    Dim StrPs As String
    Do While StrPs <> "Admin"
        StrPs = InputBox( "Введите пароль" )
    Loop
End Sub
```

Оператор безусловного перехода ***Goto*** задает переход на указанную строку внутри подпрограммы или функции. Для использования оператора безусловного перехода надо какой-то строке присвоить метку. Метка должна начинаться с буквы и заканчиваться двоеточием. В качестве примера использования оператора безусловного перехода рассмотрим далее игру, в которой игроку даны десять попыток броска игральной кости. В случае если при какой-то из этих попыток выпадает шесть очков, игрок выигрывает, и игра заканчивается.

```
Sub DemoGoTo( )
    Dim IntI As Integer, IntScore As Integer
    Randomize
    For IntI = 1 To 10
        IntScore = Int( 6 * Rnd( ) ) + 1
        If IntScore = 6 Then GoTo lblMessage
    Next
    GoTo lblEnd
    lblMessage: MsgBox "Выиграли при броске " & IntI
    lblEnd:
End Sub
```

4.6.1.25. Основные программы и функции языка

Язык VBA содержит большое количество *стандартных подпрограмм и функций*, которые существенно расширяют возможности языка. Далее рассматриваются основные подпрограммы и функции, сгруппированные по их назначению.

4.6.1.25.1. Математические функции

В языке VBA имеется представительная группа *математических функций* (табл. 4.6).

Таблица 4.6. *Математические функции языка VBA*

Функция	Описание
`Abs`	Модуль (абсолютная величина) аргумента функции
`Atn`	Арктангенс аргумента функции, выраженного в радианах
`Cos`	Косинус аргумента функции, выраженного в радианах
`Exp`	Экспонента, т. е. результат возведения основания натурального логарифма в степень, указанную аргументом функции
`Log`	Натуральный логарифм аргумента функции
`Rnd`	Функция Rnd(number) возвращает очередное псевдослучайное число из интервала [0, 1]. Если значение параметра number меньше нуля, то возвращается число, зависящее от number. Если значение параметра number больше нуля или этот параметр опущен, то возвращает следующее случайное число в последовательности
`Sgn`	Знак аргумента функции (1 — аргумент положительный, 0 — аргумент нулевой, -1 — аргумент отрицательный)
`Sin`	Синус аргумента функции, выраженного в радианах
`Sqr`	Квадратный корень из аргумента функции
`Tan`	Тангенс аргумента функции, выраженного в радианах
`Fix, Int`	Функции отбрасывают дробную часть числа и возвращают целое значение. Различие между ними состоит в том, что для отрицательного значения аргумента функция Int возвращает отрицательное ближайшее целое число, меньшее либо равное аргументу, а Fix — ближайшее отрицательное целое число, большее либо равное аргументу

Функция `Rnd` генерирует очередное число из последовательности псевдослучайных чисел. У таких последовательностей, если совпадают первые члены, то совпадают и все последующие. Перед вызовом функции `Rnd` следует применять *оператор* ***Randomize***, который определяет первый член этой последовательности. Если этот оператор используется без параметра, то первый член последовательности привязан к текущему системному времени, что делает число, возвращаемое функцией `Rnd`, "более" случайным. В языке VBA нет функции, возвращающей число π, но для его нахождения можно использовать функцию `Atn`:

```
Dim Pi As Double
Pi = 4.0 * Atn( 1 )
```

Конечно, можно задать π и явным образом, указав достаточное число значащих цифр, но этот подход менее удобен.

4.6.1.25.2. Функции проверки типов

Функция проверки типа проверяет, имеет ли ее аргумент заданный тип (табл. 4.7).

Таблица 4.7. *Функции проверки типов языка VBA*

Функция	Проверяемый тип
`IsArray`	Возвращает **True**, если аргумент функции является массивом
`IsDate`	Возвращает **True**, если аргумент функции является датой
`IsEmpty`	Возвращает **True**, если аргумент функции был явно объявлен
`IsError`	Возвращает **True**, если аргумент функции является кодом ошибки
`IsNull`	Возвращает **True**, если аргумент функции имеет значение **Null**
`IsNumeric`	Возвращает **True**, если аргумент функции является значением переменной
`IsObject`	Возвращает **True**, если аргумент функции является объектом

4.6.1.25.3. Функции преобразования типов

Преобразование строки в число. Функция `Val` возвращает подходящее число, заданное в аргументе функции в виде строки. При наличии другого десятичного разделителя целой и дробной частей (например, запятой) будет преобразована только часть строки-аргумента, предшествующая недопустимому разделителю. Приведем далее примеры преобразования строк в числа:

```
Sub DemoStrToNum( )
    Dim StrS As String
    StrS = "23432"
    Debug.Print Val( StrS )          ' Отобразится 23432
    StrS = "123-45-45"
    Debug.Print Val( StrS )          ' Отобразится 123
    StrS = #12/15/1999#
    Debug.Print Val( StrS )          ' Отобразится 15,12
    StrS = "198,005"
    Debug.Print Val( StrS )          ' Отобразится 198
    StrS = "198.005"
    Debug.Print Val( StrS )          ' Отобразится 198,005
End Sub
```

Преобразование числа в строку. Функция `CStr` возвращает значение типа **String**, являющееся строковым представлением числового аргумента функции. Например, следующий далее код проверяет, является ли 0 одной из цифр сгенерированного целого случайного числа из интервала от 1 до 1000. Для этого число преобразуется в строку, а затем с помощью функции `InStr` проверяется, является ли указанная строка подстрокой данной.

```
Sub DemoNumToStr( )
    Dim IntI As Integer
    IntI = 1000 * Rnd( ) + 1
```

```
    If InStr( CStr( IntI ), "0" ) > 0 Then
        MsgBox "0 встретился"
    Else
        MsgBox "0 не встретился"
    End If
End Sub
```

Кроме функций `Val` и `CStr`, в языке VBA имеется целый ряд *функций преобразования типов* (табл. 4.8).

Таблица 4.8. *Функции преобразования типов языка VBA*

Функция	Тип, в который преобразуется аргумент функции (возвращаемое значение)
`CBool`	**`Boolean`**
`CByte`	**`Byte`**
`CCur`	**`Currency`**
`CDate`	**`Date`**
`CDbl`	**`Double`**
`CDec`	**`Decimal`**
`CInt`	**`Integer`**
`CLng`	**`Long`**
`CSng`	**`Single`**
`CVar`	**`Variant`**
`CStr`	**`String`**

4.6.1.25.4. Форматирование числового значения функцией Format

Чтобы представить числовое значение, заданное выражением, как дату, время, денежное значение или в специальном формате, следует использовать *функцию* `Format`, которая возвращает значение типа **`Variant`** (**`String`**), содержащее выражение, отформатированное в соответствии с описанием формата:

```
Format( Expression[, NameUserFmt[, FirstDayOfWeek
        [, FirstWeekOfYear]]] ),
```

где `Expression` — любое допустимое выражение; `NameUserFmt` — любое допустимое именованное или определяемое пользователем выражение формата; `FirstDayOfWeek` — константа, определяющая первый день недели и `FirstWeekOfYear` — константа, определяющая первую неделю года. Примером именованного формата является `Fixed` — формат для вывода вещественного числа с двумя значащими цифрами после десятичной точки. *Именованные числовые форматы* и *форматы даты и времени* приведены далее в табл. 4.9 и 4.10).

Таблица 4.9. *Именованные числовые форматы*

Формат	Описание
General Number	Число без разделителя тысяч
Currency	Использует установки страны из панели управления. Отображает две цифры справа от десятичной точки
Fixed	Отображает, по крайней мере, одну цифру слева и две справа от десятичной точки
Standard	Отображает, по крайней мере, одну цифру слева и две справа от десятичной точки и выводит разделитель тысяч
Percent	Отображает число в виде процентов и выводит две цифры справа от десятичной точки (числовое значение умножается на 100)
Scientific	Использует формат с плавающей десятичной точкой (мантисса-порядок). В мантиссе выводится одна значащая цифра слева от десятичной точки и две цифры справа. Порядок начинается с буквы "E", за которой следует знак порядка и порядок.
Yes/No	Отображает No (Нет), если число равно 0 и Yes (Да) в противном случае
True/False	Отображает False (Ложь), если число равно 0 и True (Истина) в противном случае
On/Off	Отображает Off (Выкл), если число равно 0 и On (Вкл) в противном случае

Таблица 4.10. *Именованные форматы даты и времени*

Формат	Описание
General Date	Выводит дату или время. Если нет дробной части, то выводит только дату
Long Date	Выводит дату в соответствии с полным форматом ОС Windows для даты
Medium Date	Выводит дату в соответствии с обычным форматом ОС Windows для даты
Short Date	Выводит дату в соответствии с сокращенным форматом ОС Windows для даты
Long Time	Выводит часы, минуты и секунды
Medium Time	Выводит часы и минуты в 12-часовом формате
Short Time	Выводит часы и минуты в 24-часовом формате

Далее приводится пример использования именованных форматов в функции `Format`:

```
Sub DemoUsgFormatFunction( )
    Dim x As Double
    x = 4654646.544564
    MsgBox Format( x, "General Number" ), , _
                   "General Number"
    ' Аргументы , , "General Number" задают заголовок окна
    '   сообщения
```

```
    ' Будет выведено: 4654646,544564
    MsgBox Format( x, "Currency" ), , "Currency"
    ' Будет выведено: 4 654 646,54р.
    MsgBox Format( x, "Fixed" ), , "Fixed"
    ' Будет выведено: 4654646,54
    MsgBox Format( x, "Standard" ), , "Standard"
    ' Будет выведено: 4 654 646,54
    MsgBox Format( x, "Percent" ), , "Percent"
    ' Будет выведено: 465464654,46%
    MsgBox Format( x, "Scientific" ), , "Scientific"
    ' Будет выведено: 4,65E+06
    MsgBox Format( x, "Yes/No" ), , "Yes/No"
    ' Будет выведено: Да
    MsgBox Format( x, "True/False" ), , "True/False"
    ' Будет выведено: Истина
    MsgBox Format( x, "On/Off" ), , "On/Off"
    ' Будет выведено: Вкл
    MsgBox Format( Now, "General Date" ), , "General Date"
    ' Служебное слово Now используется для получения
    '   текущей даты и времени
    ' Будет выведено: 05.01.2007 11:10:51
    MsgBox Format( Now, "Long Date" ), , "Long Date"
    ' Будет выведено: 5 Январь 2007 г.
    MsgBox Format( Now, "Medium Date" ), , "Medium Date"
    ' Будет выведено: 05-янв-07
    MsgBox Format( Now, "Short Date" ), , "Short Date"
    ' Будет выведено: 05.01.2007
    MsgBox Format( Now, "Long Time" ), , "Long Time"
    ' Будет выведено: 11:12:26
    MsgBox Format( Now, "Medium Time" ), , "Medium Time"
    ' Будет выведено: 11:12
    MsgBox Format( Now, "Short Time" ), , "Short Time"
    ' Будет выведено: 11:13
End Sub
```

Наряду с именованными числовыми форматами и форматами даты и времени, в функции `Format` можно применять *пользовательские форматы*, позволяющие настроить вид отображаемых значений по желанию пользователя. При построении пользовательского формата применяются специальные символы, приведенные далее в табл. 4.11.

Таблица 4.11. *Символы, используемые при построении пользовательского формата*

Символ	Описание
`0`	Резервирует позицию цифрового разряда. Отображает цифру или нуль. Если у числа, представленного параметром, есть какая-нибудь цифра в той позиции разряда, в которой в строке формата находится нуль, то функция отображает эту цифру параметра, а если нет — в этой позиции отображается нуль

Символ	Описание
#	Резервирует позицию цифрового разряда. Отображает цифру или ничего. Если у числа, представленного параметром, есть какая-нибудь цифра в той позиции разряда, в которой в строке формата находится символ #, то функция отображает эту цифру параметра, а если нет — в этой позиции не отображается ничего. Действие этого символа аналогично действию символа нуль, за исключением того, что лидирующие и завершающие нули не отображаются
.	Резервирует позицию десятичного разделителя. Указание точки в строке формата определяет, сколько разрядов необходимо отображать слева и справа от десятичной точки
%	Задает процентное отображение числа
,	Задает разделитель разряда сотен от тысяч
:	Задает разделитель часов, минут и секунд в категории форматов времени
/	Задает разделитель дня, месяца и года в категории форматов даты
E+, E-, e+, e-	Задает разделитель мантиссы и порядка в экспоненциальном формате
d, m, y	Резервирует позицию при выводе дня, месяца, года в категории форматов даты
h, m, s	Резервирует позицию при выводе часа, минуты, секунды в категории форматов времени

Далее приведен пример использования пользовательских форматов:

```
Sub DemoUsgFormatFunction( )
    MsgBox Format( 1.2^2, "##.###" )
    ' Будет выведено: 1,44
    MsgBox Format( 1.2^2, "##.000" )
    ' Будет выведено: 1,440
    MsgBox Format( Sin( 1 )*Exp( 5 ), "#.##e+##" )
    ' Будет выведено: 1,25e+2
    MsgBox Format( Now, "hh:mm:ss" )
    ' Будет выведено: 13:17:12
    MsgBox Format( Now, "dd/mm/yyyy" )
    ' Будет выведено: 05.01.2007
End Sub
```

4.6.1.25.5. Форматирование числовых, процентных, денежных значений, значений даты и времени специализированными функциями

Наряду с универсальной функцией `Format`, для форматирования выводимых значений можно использовать специализированные функции `FormatNumber` (форматирование числовых значений), `FormatPercent` (форматирование процентных значений), `FormatCurrency` (форматирование денежных значений), и `FormatDateTime` (форматирование даты и времени).

Для *форматирования числовых значений* можно использовать специализированную функцию `FormatNumber`, имеющую следующий формат:

```
FormatNumber( Expression[, NumDigitsAfterDecimal
```

```
[, IncludeLeadingDigit[,
UseParensForNegativeNumbers
[, GroupDigits]]]] ),
```

где `Expression` — обязательный параметр, указывающий форматируемое числовое выражение; `NumDigitsAfterDecimal` — необязательный параметр, задающий число знаков, отображаемых после десятичной точки (по умолчанию в дробной части выводятся две цифры); `IncludeLeadingDigit` — необязательный параметр, указывающий, надо ли отображать целую нулевую часть (допустимыми значениями являются константы: `vbTrue` — отображать, `vbFalse` — не отображать и `vbUseDefault` — отображать); `UseParensForNegativeNumbers` —необязательный параметр, определяющий, надо ли отрицательные числа отображать в скобках (допустимыми значениями являются константы `vbTrue` — отображать, `vbFalse` — не отображать и `vbUseDefault` — не отображать); `GroupDigits` — необязательный параметр, определяющий, надо ли группировать цифры (допустимыми значениями являются константы `vbTrue` — группировать, `vbFalse` — не группировать и `vbUseDefault` — группировать).

Далее приведен пример использования функции `FormatNumber`:

```
Sub DemoUsgFormatNumberFunction( )
    MsgBox FormatNumber( Sin( 4 ) )
    ' Будет выведено: -0,76
    MsgBox FormatNumber( Sin( 4 ), 3 )
    ' Будет выведено: -0,757
    MsgBox FormatNumber( Sin( 4 ), 3, vbTrue )
    ' Будет выведено: -0,757
    MsgBox FormatNumber( Sin( 4 ), 3, vbFalse )
    ' Будет выведено: -,757
    MsgBox FormatNumber( Sin( 4 ), 3, vbFalse, vbTrue )
    ' Будет выведено: (,757)
    MsgBox FormatNumber( Sin( 4 ), 3, vbFalse, vbFalse )
    ' Будет выведено: -,757
    MsgBox FormatNumber( 14547, 3, vbFalse, vbFalse, _
                         vbTrue )
    ' Будет выведено: 14 547,000
End Sub
```

Для *форматирования процентных значений* можно использовать специализированную функцию `FormatPercent`, имеющую такой же синтаксис, как и функция `FormatNumber`. Например, следующая далее функция

```
Sub DemoUsgFormatPercentFunction( )
    x = 0.2342
    MsgBox FormatPercent( x, 2 )
End Sub
```

выведет значение `23.42%`, т. е. число, записанное в формате процентов, у которого после десятичной точки отображаются две цифры.

Для *форматирования денежных значений* можно использовать специализированную функцию `FormatCurrency`, имеющую такой же синтаксис, как и функция `FormatNumber`. Например, следующая далее функция

```
Sub DemoUsgFormatPercentFunction( )
    MsgBox FormatCurrency( 12312.3453, 2 )
End Sub
```

выведет значение 12 312,35р.

Для *форматирования даты и времени* можно использовать специализированную функцию FormatDateTime, имеющую следующий синтаксис:

```
FormatDateTime( Date[, NamedFormat] ),
```

где Date — обязательный параметр, задающий форматируемую дату; NamedFormat — необязательный параметр, указывающий тип форматирования (допустимыми значениями являются константы vbGeneralDate, vbLongDate, vbShortDate, vbLongTime, vbShortTime).

Далее приведен пример использования функции FormatDateTime:

```
Sub DemoUsgFormatDateTimeFunction( )
    MsgBox FormatDateTime( Now, vbGeneralDate )
    ' Будет выведено: 05.01.2007 15:33:35
    MsgBox FormatDateTime( Now, vbLongDate )
    ' Будет выведено: 5 Январь 2007 г.
    MsgBox FormatDateTime( Now, vbShortDate )
    ' Будет выведено: 05.01.2007
    MsgBox FormatDateTime( Now, vbLongTime )
    ' Будет выведено: 15:34:21
    MsgBox FormatDateTime( Now, vbShortTime )
    ' Будет выведено: 15:34
End Sub
```

4.6.1.26. Процедуры и функции

Процедура является самостоятельной частью кода, которая имеет имя и может иметь параметры, выполнять последовательность операторов и изменять значения своих параметров. Процедура имеет следующий синтаксис:

```
[Private|Public|Friend] [Static] Sub name[( arglist )]
    [statements]
    [Exit Sub]
    [statements]
End Sub
```

Здесь **Public** — служебное слово, указывающее на то, что процедура является *открытой* и доступна для всех других процедур во всех модулях, кроме модулей, содержащих оператор **Options Private**; **Private** — служебное слово, указывающее на то, что процедура является *закрытой*, и областью ее видимости является текущий модуль; **Friend** — служебное слово, используемое только в модуле класса и указывающее на то, что процедура является *дружественной*, и областью ее видимости является проект, содержащий модуль класса; **Static** — служебное слово, указывающее на то, что локальные переменные процедуры сохраняются в промежутках времени между вызовами этой процедуры; name — имя процедуры, удовлетворяющее стандартным правилам именования переменных; arglist — список параметров, значения которых передаются в процедуру или возвращаются из процедуры при ее вызове, разделителем в списке параметров является запятая;

`statements` — любая группа операторов, выполняемых в процедуре; **Exit Sub** — оператор, приводящий к немедленному выходу из процедуры и **End Sub** — оператор, отмечающий конец процедуры.

Процедуру можно вызвать из другой процедуры или функции двумя способами.

- С помощью указателя:

```
name arglist,
```

где `name` — имя вызываемой процедуры, а `arglist` — список аргументов, передаваемых процедуре (он должен соответствовать по количеству и типу списку параметров, заданному в процедуре при ее определении, аргументы в списке разделяются запятыми).

- С помощью оператора **Call**:

```
Call name( arglist )
```

Обратите внимание, что в этом случае список фактических параметров заключается в скобки. При первом способе скобки не использовались.

Используя именованные параметры, можно вводить аргументы в любом порядке и опускать необязательные. При этом после имени аргумента ставятся двоеточие и знак равенства, после которого помещается значение аргумента. Приводимый далее код показывает основные способы передачи параметров на примере вызова процедуры `CircleLenght`:

```
Private Sub CircleLength( DblR As Double )
    Dim DblPi As Double
    DblPi = Atn( 1# ) * 4#
    MsgBox 2# * DblR * DblPi
End Sub
Private Sub ShowResults( )
    CircleLength DblR:=1# ' Первый способ вызова процедуры
    Dim DblRs As Double
    DblRs = 2#
    CircleLength DblRs    ' Второй способ вызова процедуры
    ' Третий способ вызова процедуры
    Call CircleLength( 3# )
End Sub
```

Кроме процедуры, в языке VBA имеется *функция* **Function**. Синтаксис функции содержит те же элементы, что и процедура. Оператор **Exit Function** приводит к немедленному выходу из функции. Подобно процедуре, функция является самостоятельной процедурой, которая может получать значения аргументов, выполнять последовательность операторов и изменять значения своих аргументов. Однако в отличие от процедуры, когда требуется использовать возвращаемое функцией значение, функция **Function** может применяться в правой части выражения, как и любая другая стандартная функция, например, `Cos`. Функция **Function** вызывается в выражении по своему имени, за которым следует список параметров, заключенный в скобки. Для возврата значения из функции в ее теле следует присвоить значение имени функции. Любое число таких операторов присваивания может находиться в любом месте функции.

В следующем далее коде приводится пример функции DblSum, которая находит сумму двух своих аргументов:

```
Sub DemoFun( )
    MsgBox DblSum( 1#, 3# )
End Sub
Function DblSum( DblX As Double, DblY As Double ) _
                 As Double
    DblSum = DblX + DblY
End Function
```

Передача параметров процедуры или функции по ссылке или значению. При вызове процедуры или функции в нее передаются некоторые аргументы. Если внутри процедуры или функции этим аргументам нужно присвоить какие-то значения, которые нужно сохранять после выхода из процедуры или функции, то в качестве параметров в процедуру или функцию следует передавать физические адреса переменных (использовать передачу параметров по ссылке). Благодаря этому внутри процедуры или функции может быть модифицировано их содержание. Для явного указания передачи параметров в процедуру или функцию по ссылке используется служебное слово **ByRef**. Другим способом передачи параметров в процедуру или функцию является передача их по значению. При этом способе передачи параметра в процедуру попадает не сама переменная, а ее значение (копия аргумента из вызова). Передача параметра по значению задается служебным словом **ByVal** и применяется для передачи исходных данных. В следующем далее примере показано отличие передачи параметра по ссылке от передачи параметра по значению:

```
Sub DemoByValByRef( ByVal IntA As Integer, IntB As _
                    Integer, ByRef IntC As Integer )
    ' IntA передается по значению
    ' по умолчанию IntB передается по ссылке
    ' IntC передается по ссылке
    IntA = IntA + 1
    IntB = IntB + IntA
    IntC = IntC + IntA
End Sub
Sub Test( )
    Dim IntA As Integer
    Dim IntB As Integer
    Dim IntC As Integer
    IntA = 1: IntB = 10: IntC = 100
    DemoByValByRef IntA, IntB, IntC
    MsgBox IntA
    ' Отобразится 1
    MsgBox IntB
    ' Отобразится 12
    MsgBox IntC
    ' Отобразится 102
End Sub
```

4.6.1.27. Рекурсивные процедуры и функции

В языке VBA возможно создание рекурсивных процедур и функций, т. е. процедур и функций, вызывающих сами себя. Классическим примером рекурсивной функции является функция, возвращающая очередной член последовательности чисел Фибоначчи. Два первых члена ряда Фибоначчи равны 1, а каждый его последующий член представляет собой сумму двух предыдущих. Таким образом, n-е число Фибоначчи $F_i(n)$ определяется следующим соотношением:

$F_i(n) = F_i(n-1) + F_i(n-2)$, где $F_i(1) = F_i(2) = 1$.

В следующем далее примере показано использование рекурсивной функции для вычисления очередного числа Фибоначчи:

```
Sub Test( )
    MsgBox LngFi( 4& )
End Sub
Function LngFi( LngN As Long ) As Long
    If LngN=1& Or LngN=2& Then
        LngFi = 1&
    Else
        LngFi = LngFi( LngN-1& ) + LngFi( LngN-2& )
    End If
End Function
```

4.6.1.28. Встроенные (стандартные) диалоговые окна

В проектах на языке VBA часто встречаются две разновидности стандартных окон диалога — окна сообщений и окна ввода. Они встроены в язык и, если их возможностей достаточно, то можно обойтись без проектирования пользовательских окон диалога. Окно сообщений (`MsgBox`) выводит простейшие сообщения для пользователя, а окно ввода (`InputBox`) обеспечивает ввод информации.

Функция InputBox выводит на экран диалоговое окно, содержащее сообщение, поле ввода и кнопки **OK** и **Cancel.** Она устанавливает режим ожидания ввода текста пользователем, а затем, при нажатии на кнопку **OK,** возвращает значение типа `String`, содержащее текст, введенный в поле ввода. При нажатии кнопки **Cancel** возвращается пустая строка (**Empty**). Функция имеет следующий формат:

```
InputBox( Prompt[, Title][, Default][, Xpos][, Ypos]
          [, Helpfile, Context] )
```

где используются следующие параметры.

- `Prompt` — обязательное строковое выражение, отображаемое как сообщение в диалоговом окне. Строковое выражение Prompt может содержать несколько строк. Для разделения строк допускается использование символа возврата каретки (`Chr(13)`), символа перевода строки (`Chr(10)`) или комбинации этих символов (`Chr(13)&Chr(10)`).
- `Title` — строковое выражение, отображаемое в строке заголовка диалогового окна. Если этот параметр опущен, то в строку заголовка помещается имя приложения.

- `Default` — строковое выражение, отображаемое в поле ввода как используемое по умолчанию, если пользователь не введет другую строку. Если этот параметр опущен, то поле ввода изображается пустым.
- `Xpos` — числовое выражение, задающее расстояние в пикселях по горизонтали между левой границей диалогового окна и левым краем экрана. Если этот параметр опушен, то диалоговое окно выравнивается по горизонтали по центру экрана.
- `Ypos` — числовое выражение, задающее расстояние по вертикали между верхней границей диалогового окна и верхним краем экрана. Если этот параметр опущен, то диалоговое окно помещается по вертикали примерно на одну треть высоты экрана.
- `Helpfile` — необязательное строковое выражение, определяющее имя файла справки, содержащего справочные сведения о данном диалоговом окне. Если этот параметр указан, то необходимо указать также параметр `Context`.
- `Context` — числовое выражение, определяющее номер соответствующего раздела справочной системы. Если этот параметр указан, то необходимо указать также параметр `Helpfile`.

В качестве примера приведем далее код, выполнение которого приведет к появлению на экране диалогового окна ввода, представленного на рис. 4.67:

```
Sub DemoInputBox( )
    Dim StrName As String
    StrName = InputBox( "Введите ваше имя", _
                        "Пример окна ввода" )
    MsgBox "Здравствуйте " & StrName & "!"
End Sub
```

При вводе данных при помощи функции `InputBox` разумно в программе предусмотреть как *проверку вводимых данных*, так и сам факт ввода таковых или отказа от ввода путем нажатия кнопки **Cancel.** Следующий далее пример демонстрирует, как это можно сделать при вводе дат. В примере предлагается ввести будущую дату по отношению к текущей. При помощи функции `IsDate` сначала проверяется, является ли введенное данное датой, и если таковым является, оно преобразуется функцией `CDate` к типу **Date** и сравнивается с текущей.

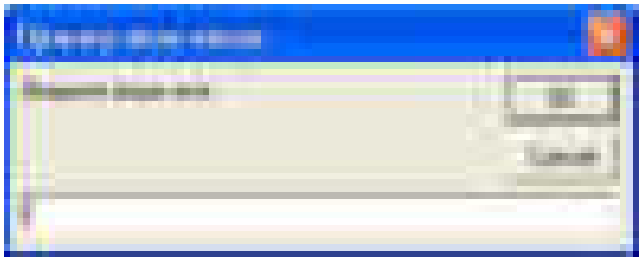


Рис. 4.67. Вид диалогового окна ввода

```
Sub DemoInputWithChecking( )
```

```
    Dim VntDate As Variant
    VntDate = InputBox( "Введите будущую дату:", _
                        "Пример", Date+1 )
    ' Третий параметр InputBox( ) используется для того,
    '   чтобы в окне ввода был текст по умолчанию,
    '   которым в данном случае будет являться следующий
    '   календарный день
    If Not IsDate( VntDate ) Then
        Select Case VntDate
            Case ""
                MsgBox _
                "Нажали кнопку Cancel или ничего не ввели"
            Case Else
                MsgBox "Некорректная дата"
        End Select
    Else
        Select Case CDate( VntDate )
            ' Is является значением CDate(VntDate)
            Case Is <= Date
                MsgBox "Должна быть будущая дата"
            Case Is > Date
                MsgBox VntDate & " - введенная дата"
        End Select
    End If
End Sub
```

Конечно, если вы уверены в корректности формата вводимых данных, то проверку на тип данных осуществлять не надо, но, тем не менее, позаботиться о проверке того, была ли нажата кнопка **Cancel** или ничего не введено, стоит, например, так, как это делается в следующем далее коде:

```
Sub DemoInputWithChecking1( )
    Dim VntX As Variant
    VntX = InputBox( "Введите значение:", "Пример" )
    If VntX <> "" Then
        MsgBox VntX & " – введенное значение"
    Else
        MsgBox "Нажали Cancel или ничего не ввели"
    End If
End Sub
```

Функция MsgBox выводит на экран окно диалога, содержащее сообщение, устанавливает режим ожидания нажатия кнопки пользователем, а затем возвращает значение типа **Integer**, указывающее, какая кнопка была нажата. Функция имеет указанный далее синтаксис

```
MsgBox( Prompt[, Buttons][, Title][, Helpfile, Context] )
```

и содержит следующие параметры.

- `Prompt` — обязательное строковое выражение, отображаемое как сообщение в окне диалога.
- `Buttons` — числовое выражение, представляющее сумму значений (именованных констант), которые указывают число и тип отображаемых кнопок,

тип используемого значка, основную кнопку и модальность окна сообщения. Значение этого параметра по умолчанию равно 0 (окно диалога содержит только одну кнопку **ОК**). Значения констант, определяющих число, тип кнопок и тип используемого значка приведены в табл. 4.12, 4.13; значения, определяющие основную кнопку окна диалога, приведены в табл. 4.14.

- `Title` — строковое выражение, отображаемое в строке заголовка диалогового окна. Если этот параметр опущен, то в строку заголовка помещается имя приложения.
- `Helpfile` — необязательное строковое выражение, определяющее имя файла справки, содержащего справочные сведения о данном диалоговом окне. Если этот параметр указан, то необходимо указать также параметр `Context`.
- `Context` — числовое выражение, определяющее номер соответствующего раздела справочной системы. Если этот параметр указан, то необходимо указать также параметр `Helpfile`.

Таблица 4.12. *Именованные константы, определяющие кнопки окна диалога (могут комбинироваться в параметре* Buttons*)*

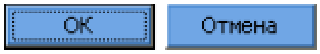
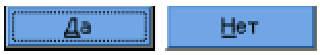
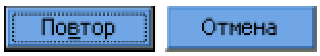
Именованная константа	Значение	Отображаемые кнопки
`vbOKOnly, ebOKOnly`	0	
`vbOKCancel, ebOKCancel`	1	
`vbAbortRetryIgnore, ebAbortRetryIgnore`	2	
`vbYesNoCancel, ebYesNoCancel`	3	
`vbYesNo, ebYesNo`	4	
`vbRetryCancel, ebRetryCancel`	5	

Таблица 4.13. *Именованные константы, определяющие информационные значки окна диалога (могут комбинироваться в параметре* Buttons*)*

Именованная константа	Значение	Отображаемые значки
`vbCritical, ebCritical`	16	
`vbQuestion, ebQuestion`	32	
`vbExclamation, ebExclamation`	48	

vbInformation, ebInformation	64	

Таблица 4.14. *Именованные константы, определяющие основную кнопку окна диалога (могут комбинироваться в параметре* Buttons*)*

Именованная константа	Значение	Номер основной кнопки
vbDefaultButton1, ebDefaultButton1	0	1
vbDefaultButton2, ebDefaultButton2	256	2
vbDefaultButton3, ebDefaultButton3	512	3
vbDefaultButton4, ebDefaultButton4	768	4

При написании программ с откликом в зависимости от того, какая кнопка окна диалога нажата, вместо возвращаемых значений удобнее использовать именованные константы, перечисленные в табл. 4.15. Их использование делает код программы более прозрачным для чтения и, к тому же, именованные константы легче запомнить.

Таблица 4.15. *Именованные константы, идентифицирующие нажатую кнопку*

Именованная константа	Значение	Нажатая кнопка
vbOK, ebOK	1	**OK**
vbCancel, ebCancel	2	**Отмена** (**Cancel**)
vbAbort, ebAbort	3	**Прервать** (**Abort**)
vbRetry, ebRetry	4	**Повторить** (**Retry**)
vbIgnore, ebIgnore	5	**Пропустить** (**Ignore**)
vbYes, ebYes	6	**Да** (**Yes**)
vbNo, ebNo	7	**Нет** (**No**)

Проиллюстрируем использование окон сообщений. В приводимом далее примере вычисляется квадрат введенного значения 2, и найденное значение затем последовательно отображается в пяти окнах сообщения. Первое окно является простым окном с сообщением (рис. 4.68), второе — с сообщением, выводимым в две строки (рис. 4.69), третье — с сообщением и информационным значком (рис. 4.70), четвертое — с сообщением, информационным значком и двумя кнопками **Да** и **Нет**, причем кнопка **Да** установлена как кнопка, выполняемая по умолчанию (рис. 4.71), а пятое — с сообщением, информационным значком и пользовательским заголовком (рис. 4.72):

```
Sub DemoMsgBox( )
    Dim VntX As Variant
    Dim DblY As String
    VntX = InputBox( "Введите x" )
    DblY = VntX^2
    MsgBox "VntX="+VntX
    MsgBox "VntX="+VntX+Chr(13)+Chr(10)+"DblY=VntX^2="+DblY
    MsgBox "DblY="&DblY, ebInformation
```

```
    MsgBox "DblY="&DblY, _
           ebInformation+ebDefaultButton1+ebYesNo
    MsgBox "DblY="&DblY, ebInformation, _
           "Нахождение квадрата"
End Sub
```

Рис. 4.68. Простое окно сообщения

Рис. 4.69. Окно с сообщением, выводимым в две строки

Рис. 4.70. Окно с сообщением и информационным значком

Рис. 4.71. Окно с сообщением, информационным значком и кнопками **Да** (по умолчанию) и **Нет**

Рис. 4.72. Окно с сообщением, информационным значком и пользовательским заголовком

Определение кнопки, выбранной в окне сообщения. Функция `MsgBox` удобна для вывода той или иной информации. Однако если надо узнать, какой выбор сделал пользователь при нажатии отображаемых в диалоговом окне кнопок, то процедуру `MsgBox` надо использовать не как процедуру, а как функцию. В этом случае значение, возвращаемое функцией `MsgBox`, надо присваивать какой-то переменной, а ее параметры заключать в скобки.

Рассмотрим далее пример использования функции `MsgBox` с анализом нажатой кнопки. В приводимом примере на экране отображается диалоговое окно с двумя кнопками **Да** (выбрана по умолчанию), **Нет** и вопросительным знаком. При нажатии кнопки **Да** (нажатии клавиши **Enter**) выдается сообщение с текущей датой, а при нажатии кнопки **Нет** — пустое окно:

```
Sub DemoYesNo( )
    Dim IntAnswer As Integer
    IntAnswer = MsgBox( "Показать текущую дату?", _
        ebYesNo + ebQuestion + ebDefaultButton1 )
    Select Case IntAnswer
        Case ebYes
            MsgBox Now      ' Текущая дата и время
        Case ebNo
            MsgBox "", ebExclamation
        End Select
End Sub
```

4.6.1.29. Стандартные функции и операторы для работы с файлами

В языке VBA для работы с файлами можно использовать ряд стандартных функций и операторов, которые можно разделить на *следующие группы*, выполняющие:

- получение информации о файле EOF, FileDateTime, FileLen, FreeFile, Loc, LOF;
- управление файлами Dir, Kill, Name, FileCopy;
- задание или получение атрибутов файла FileAttr, GetAttr, SetAttr;
- открытие файла Open;
- получение или установку в файле позиции чтения-записи Seek;
- чтение данных из текстового файла Input, Input #, Line Input #;
- запись данных в текстовый файл Print #, Write #;

- закрытие файла Close.

4.6.1.29.1. Получение информации о файле

Функция EOF возвращает значение **True** при достижении конца открытого файла, **False** — в противном случае и имеет следующий синтаксис:

```
EOF( filenumber )
```

Здесь `filenumber` — номер файла, который был использован в операторе `Open` при открытии файла.

Функция FileDateTime возвращает значение **Variant**(**Date**), представляющее дату и время создания или последней модификации файла, и имеет следующий синтаксис:

```
FileDateTime( pathname )
```

Здесь `pathname` — строка, специфицирующая имя файла (может содержать полный путь, включая диск и папки). Приведем далее пример использования этой функции:

```
Sub DemoFileDateTime( )
    Dim VntMyStamp
    ' Файл t.txt модифицирован 7 января 2007 в 14:13:31
    VntMyStamp = FileDateTime( "t.txt " )
    ' Возвращает 7.01.2007 14:13:31
End Sub
```

Функция FileLen возвращает размер с типом **Long** указанного файла в байтах (до открытия файла) и имеет следующий синтаксис:

```
FileLen( pathname )
```

Здесь `pathname` — строка, специфицирующая имя файла (может содержать полный путь, включая диск и папки).

Функция LOF возвращает размер с типом **Long** открытого файла в байтах и имеет следующий синтаксис:

```
LOF( filenumber )
```

Здесь `filenumber` — номер файла, который был использован в операторе Open при открытии файла.

Функция FreeFile возвращает значение **Integer**, представляющее свободный последний номер открытого файла, и имеет следующий синтаксис:

```
FreeFile[( Rangenumber )]
```

Здесь `Rangenumber` — необязательный аргумент, определяющий диапазон для возвращаемого номера файла (при аргументе 0 диапазон от 0 до 255, соответствует умолчанию; при аргументе 1 диапазон от 256 до 511).

Функция Loc возвращает значение **Long**, представляющее текущую позицию чтения-записи в открытом файле, и имеет следующий синтаксис:

```
Loc( filenumber )
```

Здесь `filenumber` — номер файла, который был использован в операторе Open при открытии файла.

4.6.1.29.2. Управление файлами

Функция Dir возвращает значение **String**, представляющее имя файла, каталога или диска, соответствующее указанной маске или атрибуту файла, и имеет следующий синтаксис:

```
Dir[(pathname[, attributes])]
```

Здесь `pathname` — последовательность символов, обозначающая путь или имя файла (она может содержать маски и обозначения дисков); `attributes` — задает атрибуты искомых файлов (скрытый, системный или метка тома). Если последний аргумент не указан, то функция возвращает файлы без атрибутов, соответствующие маске `pathname`. Если опущены все аргументы, то функция возвращает очередное для текущего каталога имя подкаталога, служебное имя "." или ".." или имя файла. В качестве аргумента `attributes` могут использоваться комбинации атрибутов, приведенных в табл. 4.16.

***Таблица 4.16.** Атрибуты файлов*

Именованная константа	Значение	Описание
`vbNormal`	0	Обычный
`vbHidden`	2	Скрытый
`vbSystem`	4	Системный
`vbVolume`	8	Метка тома
`vbDirectory`	16	Каталог

Приведем далее пример использования этой функции:

```
Sub DemoDir( )
    Dim MyFile, MyPath, MyName
    ' При наличии возвращает "WIN.INI"
    MyFile = Dir( "C:\WINDOWS\WIN.INI" )
    ' Возвращает первый из файлов с расширением .ini из
    '   указанного каталога
    MyFile = Dir( "C:\WINDOWS\*.INI" )
    ' Возвращает первый *.TXT файл из текущего каталога
    MyFile = Dir( "*.TXT" )
    ' Отображает каталоги диска C:\
    MyPath = "c:\"
    MyName = Dir( MyPath, vbDirectory )   ' Первый каталог
    Do While MyName <> ""       ' Найдено непустое имя
        If MyName <> "." And MyName <> ".." Then
            ' Найденное имя не является служебными именем
            '   "." или "..". О GetAttr( ) см. далее в
            '   подразд. 1.29.3
            If ( GetAttr( MyPath & MyName ) And _
                 vbDirectory ) = vbDirectory Then
                Debug.Print MyName
            End If
        End If
        MyName = Dir
```

```
    Loop
End Sub
```

Оператор Kill удаляет указанный аргументом файл и имеет следующий синтаксис:

```
Kill pathname
```

Здесь `pathname` — строка, специфицирующая имя удаляемого файла (может содержать полный путь, включая диск и папки, и содержать маски * и ?). Приведем далее пример использования этого оператора:

```
Sub DemoKill( )
    Kill "TestFile" ' Удаление файла в текущем каталоге
    ' Удаление всех *.TXT файлов в текущем каталоге
    Kill "*.TXT"
End Sub
```

Оператор Name переименовывает файл или каталог и имеет следующий синтаксис:

```
Name oldpathname As newpathname
```

Здесь `pathname` — строка, специфицирующая имя переименуемого файла (может содержать полный путь, включая диск и папки); `newpathname` — строка, специфицирующая имя нового файла (может содержать полный путь, включая диск и папки). Приведем далее пример использования этого оператора:

```
Sub DemoName( )
    Dim OldName, NewName
    OldName = "OLDFILE": NewName = "NEWFILE"
    Name OldName As NewName    ' Переименование файла
    OldName = "C:\TMP\OLDFILE"
    NewName = "C:\TMP1\NEWFILE"
    ' Перемещение и переименование файла
    Name OldName As NewName
End Sub
```

Оператор FileCopy копирует файл и имеет следующий синтаксис:

```
FileCopy source, destination
```

Здесь `source` — строка, специфицирующая имя копируемого файла (может содержать полный путь, включая диск и папки); `destination` — строка, специфицирующая новое имя файла (может содержать полный путь, включая диск и папки). Приведем далее пример использования этого оператора:

```
Sub DemoFileCopy( )
    Dim SourceFile, DestinationFile
    SourceFile = "NEWFILE"
    DestinationFile = "COPY"
    FileCopy SourceFile, DestinationFile
End Sub
```

4.6.1.29.3. Задание или получение атрибутов файла

Функция FileAttr возвращает значение **Long**, представляющее режим, в котором находится открытый файл (табл. 4.17), и имеет следующий синтаксис:

```
FileAttr( filenumber, returntype )
```

Здесь `filenumber` — номер файла, который был использован при открытии файла оператором Open; `returntype` — имеет значение 2 для 32-разрядных систем.

Таблица 4.17. *Значения, возвращаемые функцией FileAttr*

Возвращаемое значение	Режим файла
1	Input
2	Output
4	Random
8	Append
32	Binary

Приведем далее пример использования этой функции:

```
Sub DemoFileAttr( )
    Dim FileNum, Mode
    FileNum = 1
    Open "t.txt" For Append As FileNum
    Mode = FileAttr( FileNum, 1 )    ' Возвращает 8
    Close FileNum
End Sub
```

Функция GetAttr возвращает значение **Integer**, представляющее атрибуты файла, каталога или диска (табл. 4.18). Если заданный файл имеет несколько атрибутов, то возвращается сумма соответствующих отдельным атрибутам значений. Функция имеет следующий синтаксис:

```
GetAttr( pathname )
```

Здесь `pathname` — специфицирует файл, каталог или диск.

Таблица 4.18. *Атрибуты файлов*

Именованная константа	Значение	Описание
`vbNormal`	0	Обычный
`vbReadOnly`	1	Только для чтения
`vbHidden`	2	Скрытый
`vbSystem`	4	Системный
`vbVolume`	8	Метка тома
`vbDirectory`	16	Каталог
`vbArchive`	32	Архивный

Оператор SetAttr устанавливает атрибуты файла и имеет следующий синтаксис:

```
SetAttr pathname, attributes
```

Здесь `pathname` — строка, специфицирующая имя файла (может содержать полный путь, включая диск и папки); `attributes` — специфицирует атрибуты файла (табл. 4.18, если заданный файл имеет несколько атрибутов, то задается сумма соответствующих отдельным атрибутам значений).

4.6.1.29.4. Открытие файла

Оператор Open выполняет открытие файла и имеет следующий синтаксис:

```
Open pathname For mode [Access access] [lock] As
```

```
[#]filenumber [Len=reclength]
```

где:

- `pathname` – путь к файлу и его полное имя.
- `mode` — режим доступа к файлу (Append: запись в конец; Output: запись в начало; Binary: двоичный доступ; Input: чтение; Random: чтение-запись, по умолчанию).
- `access` — тип доступа к файлу, необязательный параметр (Read: чтение, Write: запись, Read Write: чтение-запись).
- `lock` — необязательный параметр, определяющий совместный доступ к файлу (Shared: совместный доступ, Lock Read: блокировка чтения, Lock Write: блокировка записи, Lock Read Write: блокировка чтения и записи).
- `filenumber` — номер файла от 1 до 511.
- `reclength` — необязательный параметр, определяет размер буфера (не более 32767).

Пример использования оператора **Open** приведен ранее в описании функции FileAttr.

4.6.1.29.5. Получение или установка в файле позиции чтения-записи

Функция Seek позволяет получить или установить в файле позицию чтения-записи и может использоваться в двух синтаксических формах.

- Получение из файла позиции чтения-записи:

```
Seek( filenumber )
```

Здесь `filenumber` — номер файла, открытого оператором **Open**. Функция возвращает значение **Long** в диапазоне от 1 до 2^{31}-1, специфицирующее текущую позицию чтения-записи.

- Установка в файле позиции чтения-записи:

```
Seek [#]filenumber, position
```

Здесь `filenumber` — номер файла, открытого оператором **Open**; `position` — значение **Long** в диапазоне от 1 до 2^{31}-1, специфицирующее следующую текущую позицию чтения-записи.

4.6.1.29.6. Чтение данных из текстового файла

Особенность *текстовых файлов* заключается в способе доступа к данным, которые в них содержатся. Текстовый файл является файлом последовательного доступа, в котором содержится последовательность ASCII-символов. Текстовый файл может быть форматированным, то есть содержать пробелы, табуляторы, символы перехода на новую строку и другие специальные знаки. Чтение данных из текстового файла осуществляется с помощью функции Input, а также операторов **Input #** и **Line Input #**.

Функция Input является низкоуровневой и позволяет последовательно прочитать заданное в ней количество символов. Функция имеет следующий синтаксис:

```
Input( number, [#]filenumber )
```

Здесь number — целочисленный аргумент, определяющий число читаемых символов, начиная с текущего (вначале текущим является первый символ файла); filenumber — номер файла, открытого с помощью оператора **Open**.

Оператор Input # позволяет читать форматированные текстовые файлы, где в качестве разделителя используются запятые. Оператор имеет следующий синтаксис:

```
Input #filenumber, varlist
```

Здесь filenumber — номер файла, открытого с помощью оператора **Open**; varlist — список переменных, разделенных запятыми, которым последовательно присваиваются читаемые данные.

Оператор Line Input # выполняет посимвольное чтение очередной строки текстового файла. Символы окончания строки (CHR(13) или CHR(13)+ CHR(10)) в прочитанную строку не включаются. Оператор имеет следующий синтаксис:

```
Line Input #filenumber, varname
```

Здесь filenumber — номер файла, открытого с помощью оператора **Open**; varname — имя переменной с типом **Variant** или **String**, в которую помещается прочитанная строка. При выполнении этого оператора проверка достижения конца файла не производится. Поэтому для проверки достижения конца файла следует использовать функцию EOF.

В приведенном далее иллюстрирующем примере выполняется построчное считывание данных текстового файла с их выводом в окно **Immediate**, а затем читаются и выводятся в это же окно еще пять символов этого же файла, начиная с третьего от начала:

```
Sub Demo( )
    Dim StrLine
    Open "text.txt" For Input As #1
    On Error GoTo ErLabel:    ' Обработка ошибки
    While EOF( 1 ) = False
        Line Input #1, StrLine
        Debug.Print StrLine
    Wend
    Seek #1, 3
    Debug.Print Input( 5, #1 )
    Close #1
    Exit Sub
ErLabel:
    MsgBox "Ошибка!"
End Sub
```

4.6.1.29.7. Запись данных в текстовый файл

Запись в текстовый файл выполняется с помощью операторов **Print #** и **Write #**. Запись всегда производится в файл, открытый для записи (режим Output) или для добавления (режим Append). В первом случае данные, содержащиеся в файле, уничтожаются, а во втором — запись происходит в конец файла.

При использовании *оператора Write #* вывод происходит в одну строку, выводимые данные разделяются запятыми, а в конце строки вставляются символы перевода каретки и новой строки. Оператор имеет следующий синтаксис:

```
Write #filenumber, [outputlist]
```

Здесь `filenumber` — номер файла, открытого с помощью оператора **Open**; `outputlist` — имя переменной или список переменных, разделенных запятыми (разделителями могут быть также пробелы и точки с запятой). Приведем далее пример использования этого оператора:

```
Sub Demo( )
    ' Открытие файла для записи
    Open "TESTFILE" For Output As #1
    Write #1, "Hello World", 234 ' Разделитель - запятая
    Write #1,                    ' Запись пустой строки
    Dim MyBool, MyDate, MyNull, MyError
    MyBool = False: MyDate = #2/12/1969#: MyNull = Null
    MyError = CVErr( 32767 )
    Write #1, MyBool; " is a Boolean value"
    Write #1, MyDate; " is a date"
    Write #1, MyNull; " is a null value"
    Write #1, MyError; " is an error value"
    Close #1                     ' Закрытие Файла
End Sub
```

В результате содержимое файла TESTFILE получает следующий вид:

```
"Hello World",234

#FALSE#," is a Boolean value"
#1969-02-12#," is a date"
#NULL#," is a null value"
#ERROR 32767#," is an error value"
```

Оператор Print # является более гибким оператором записи в файл и имеет следующий синтаксис:

```
Print #filenumber, [{Spc(n)|Tab[(n)]}] [expression]
    [charpos]
```

Здесь `filenumber` — номер файла, открытого с помощью оператора **Open**; `Spc(n)|Tab[(n)` — опция, позволяющая указать тип (пробел или табулятор) и число (n) разделителей между значениями переменных; `expression` — список выражений, разделяемых запятыми, значения которых выводятся в файл; `charpos` — тип разделителя между выводимыми значениями (по умолчанию — точка с запятой). Если аргумент charpos опущен, то происходит переход к следующей строке. Приведем далее пример использования этого оператора:

```
Sub Demo( )
    Open "TESTFILE" For Output As #1
    Print #1, "This is a test"
    Print #1,
    Print #1, "Zone 1"; Tab; "Zone 2"
    Print #1, "Hello"; " "; "World"
```

```
    Print #1, Spc( 5 ); "5 leading spaces "
    Print #1, Tab( 10 ); "Hello"
    Dim MyBool, MyDate, MyNull, MyError
    MyBool = False: MyDate = #2/12/1969#: MyNull = Null
    MyError = CVErr( 32767 )
    Print #1, MyBool; " is a Boolean value"
    Print #1, MyDate; " is a date"
    Print #1, MyNull; " is a null value"
    Print #1, MyError; " is an error value"
    Close #1
End Sub
```

В результате содержимое файла TESTFILE получает следующий вид:

```
This is a test

Zone 1       Zone 2
Hello World
    5 leading spaces
        Hello
False is a Boolean value
12.02.1969  is a date
Null is a null value
Error 32767 is an error value
```

4.6.1.29.8. Закрытие файла

После окончания работы с открытым файлом его необходимо корректно закрыть. Автоматическое закрытие всех открытых файлов происходит при завершении работы приложения. Однако, при этом возможно возникновение различных неконтролируемых сбоев, что может привести к искажению файлов. Кроме того, незакрытый файл увеличивает требования к ресурсам.

Оператор Close предназначен для закрытия ранее открытого файла и имеет следующий синтаксис:

```
Close [filenumberlist]
```

Здесь `filenumberlist` — номер или список разделенных запятыми номеров файлов, которые надо закрыть (каждому номеру необязательно может предшествовать символ #). Если этот аргумент опущен, то будут закрыты все открытые ранее файлы.

> ***Примечание***
>
> Наряду с перечисленными ранее стандартными функциями и операторами для работы с файлами можно использовать объекты и коллекции объектов языка VBA, такие, как File Object, Files Collection, FileSystemObjtct Object, Folder Object, Folders Collection и TextStreamObject. Для получения справочной информации о них достаточно в интегрированной среде разработки (ИСР) VBA-программ в окне редактирования кода поместить курсор на любое служебное слово и нажать клавишу **F1**. В появившемся окне **Visual Basic Reference** следует выбрать вкладку **Содержание**, открыть раздел **Objects** и посмотреть темы File Object, Files Collection, FileSystemObjtct Object, Folder Object, Folders Collection и TextStreamObject. Дополнительную информацию о перечисленных ранее объектах и их коллекциях можно найти в [15, глава 6] и [14].

4.6.2. Использование языка VBA в SCADA-системе GeniDAQ

VBA-подобный язык, используемый в SCADA-системе GeniDAQ, представляет собой мощное средство программирования, совместимое с языком Microsoft Visual Basic для приложений и лицензированное у компании Summit Software Inc. Он является важным компонентом SCADA-системы GeniDAQ, обеспечивающим возможность разработки специализированных фрагментов приложения на языке программирования высокого уровня. Поскольку языки Visual Basic и их диалекты являются одними из самых популярных, простых для изучения и использования языков программирования, то наличие диалекта языка VBA в SCADA-системе GeniDAQ позволяет значительно упростить и повысить эффективность программирования.

Синтаксис используемой в SCADA-системе GeniDAQ версии языка VBA практически совместим с синтаксисом языков Microsoft VBA (используется, например, в приложениях Excel, Word, Access и т. п.) и Microsoft Visual Basic. Хотя версия языка VBA SCADA-системы GeniDAQ и имеет ряд несовместимых функций, но более 95% функций и процедур абсолютно идентичны. Поэтому в SCADA-системе GeniDAQ можно использовать программы, написанные на языке Visual Basic практически без изменений. Номера ошибок и сообщения об ошибках в VBA-программах SCADA-системы GeniDAQ также совместимы с имеющимися в языке Visual Basic. Специализированные, несовместимые функции и процедуры, введенные в язык VBA для привязки к SCADA-системе, обеспечивает не только привязку, но и возможность манипуляции задачами, входящими в приложение, взаимодействия с операционными системами Windows и другими приложениями посредством технологий DDE, OLE, ODBC (SQL) и COM-DCOM (OPC-серверы). Сказанное позволяет заключить, что при разработке VBA-программ для SCADA-системы GeniDAQ можно воспользоваться многочисленной литературой по языку VBA и приведенным ранее описанием этого языка.

> ***Замечание***
> В SCADA-системе GeniDAQ используется более ранняя версия языка VBA, чем описанная ранее и в современной литературе. Поэтому для уточнения имеющихся немногочисленных отличий целесообразно использовать встроенную в ИСР VBA-программ справочную систему, которую можно активизировать командой **Help | Help Topics** или путем нажатия клавиши **F1**.

Далее применительно к SCADA-системе GeniDAQ последовательно рассматриваются ИСР VBA-программы, встроенная в ИСР справочная система языка VBA, структура программного проекта приложения и средства привязки VBA-программы к использующему ее SCADA-приложению.

4.6.2.1. Интегрированная среда разработки VBA-программы

Вид ИСР VBA-программы показан на рис. 4.73. *Интегрированная среда разработки VBA-программы* представляет собой текстовый редактор с рядом удобных возможностей для редактирования и отладки кода VBA-программы. Исходный текст

будет компилироваться в псевдокод сразу после редактирования, так что не будет необходимости компилировать его вновь при запуске программы. Таким образом, ИСР представляет собой мощное средство разработки VBA-процедур обработки данных, специфичных для задачи приложения. Окно ИСР является модальным, что требует его закрытия перед продолжением работы.

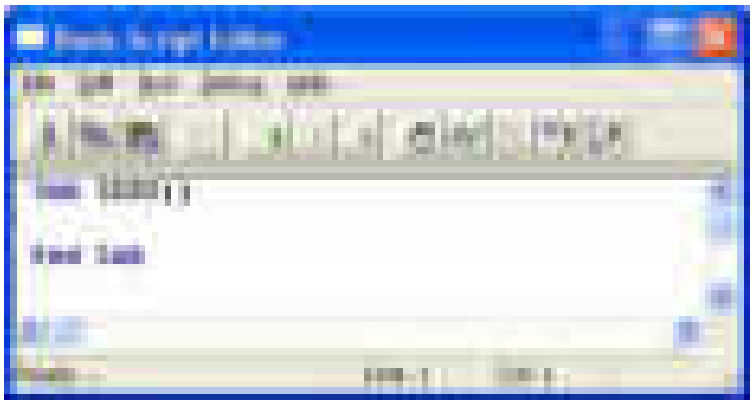


Рис. 4.73. Вид ИСР VBA-программ

В окне ИСР имеется *панель инструментов*, содержащая следующие кнопки:

(вырезать, cut) — удалить выделенный фрагмент текста и поместить его в универсальный буфер обмена Clipboard, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Edit | Cut** или активизации акселератора **Ctrl+X**;

(скопировать, copy) — поместить копию выделенного фрагмента текста в универсальный буфер обмена Clipboard, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Edit | Copy** или активизации акселератора **Ctrl+C**;

(вставить, paste) — поместить содержимое универсального буфера обмена Clipboard в текст, начиная от текущей позиции курсора, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Edit | Paste** или активизации акселератора **Ctrl+V**;

(отменить, undo) — отменить результат последней выполненной операции редактирования, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Edit | Undo** или активизации акселератора **Ctrl+Z**;

(исполнить, start) — начать исполнение программы, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Run | Start** или нажатию клавиши **F5**;

(прервать, break) — прервать исполнение программы и поместить указатель команд на следующую строку, подлежащую исполнению;

(остановить, end) — остановить исполнение программы, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Run | End**;

(точка останова, toggle breakpoint) — добавить или удалить точку останова в текст программы, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Debug | Toggle Breakpoint** или нажатию клавиши **F9**;

(контрольное значение, add watch) — вывести диалоговую панель **Add Watch** для просмотра значений переменных, действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Debug | Add Watch...** или активизации акселератора **Shift+F9**;

(вызовы, calls) — вывести на экран список процедур, вызванных текущей исполняющейся процедурой (кнопка доступна только после прерывания исполнения программы с помощью команды **прервать***);*

(следующая инструкция, single step) — выполнить инструкцию в следующей строке процедуры и прервать исполнение (если в строке имеется вызов другой процедуры, то исполнение будет продолжено со следующей инструкции вызванной процедуры), действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Debug | Single Step** или нажатию клавиши **F8**;

(следующая процедура, procedure step) — выполнить инструкцию в следующей строке процедуры и прервать исполнение (если в строке имеется вызов другой процедуры, то данная процедура будет выполнена целиком), действие этой кнопки эквивалентно выполнению команды **Debug | Procedure Step** или активизации акселератора **Shift+F8**.

При помещении курсора в область отображения кнопки панели инструментов и удержании его в неподвижном состоянии в течение около 1 секунды в область ниже курсора будет выведено краткое описание данной кнопки (всплывающая подсказка). В нижней строке окна — строке статуса — при этом будет выдана более подробная справка о действии кнопки.

Для поиска синтаксических ошибок в тексте процедуры можно использовать команду **Run | Syntax Check**. На экран монитора будет выведено сообщение, указывающее на наличие или отсутствие ошибок в тексте процедуры. Сообщение об ошибке относится к первой строке, в которой была обнаружена ошибка, и содержит краткое пояснение причины, по которой синтаксис в указанной строке признан неверным. При нажатии на кнопку **OK** в диалоговом окне сообщения об ошибке или нажатии клавиши **Enter** строка процедуры, в которой обнаружена синтаксическая ошибка, будет выделена в окне редактирования. При попытке запуска на исполнение или отладки процедуры, для которой не была проведена проверка синтаксиса, указанная проверка будет выполнена автоматически перед началом исполнения.

При завершении работы ИСР (команда **File | Close**, акселератор **Ctrl+W**) результат выполнения операции зависит от того, были ли внесены какие-либо изменения в исходный текст процедуры, а также от наличия синтаксических ошибок в исходном тексте. Если в процессе работы в исходный текст процедуры были внесены какие-либо изменения, на экран монитора будет выведена диалоговое окно с запросом сохранения выполненных изменений. При этом, если исходный текст сценария содержит синтаксические ошибки и выбрана (нажата) кнопка **Да** диалогового окна, на экран будет выведено окно, содержащее сообщение о наличии ошибок и запрос на подтверждение намерения пользователя продолжить сохранение программы.

Нажатие кнопки **Да** данного диалогового окна приведет к сохранению исходного текста сценария вместе со всеми имеющимися ошибками. Если в исходный текст сценария не было внесено никаких изменений, произойдет мгновенное завершение работы ИСР независимо от наличия ошибок в исходном тексте процедуры, допущенных во время предыдущего сеанса работы.

В окне ИСР с помощью команды **Help | Help Topics** можно получить справочную информацию о языке, используемом для создания VBA-программы.

4.6.2.2. Структура VBA-программы (программный проект приложения)

В общем случае, *VBA-программа (программный проект приложения)* содержит следующие компоненты.

- *Главная процедура* (главный сценарий, Main Script) программного проекта приложения, будучи включенной в программный проект, осуществляет управление исполнением всего приложения один раз при его запуске. Вид ИСР главной процедуры показан на рис. 4.74. Для включения в программный проект приложения главной процедуры достаточно выполнить в главном окне SCADA-системы команду **File | Add/Delete | Add Main Script** (рис. 4.75). Исключение из программного проекта приложения главной процедуры выполняется командой **File | Add/Delete | Delete Main Script** (см. рис. 4.75). Главная процедура может быть применена для выполнения таких операций, как запуск, останов задач приложения и т. п. Главная процедура является необязательным элементом программного проекта приложения.

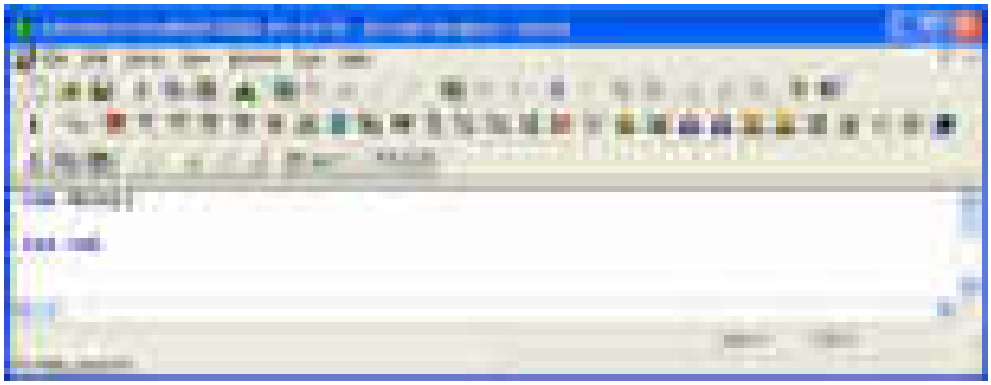


Рис. 4.74. Вид ИСР главной процедуры

- *Предварительная процедура (Pre-Task Script) и пост-процедура (Post-Task Script) задачи*. Каждая сканируемая задача приложения имеет предварительную процедуру и пост-процедуру. Предварительная процедура выполняется один раз перед первым запуском задачи, а пост-процедура — один раз после последнего завершения задачи. Для их редактирования достаточно выполнить команду **Setup | Pre task Script** или команду **Setup | Post task Script** (рис. 4.76 и 4.77). По

умолчанию эти процедуры не выполняют никаких действий (см. рис. 4.76 и 4.77). Указанные два типа процедур при определенных условиях используются для инициализации или сброса значений, связанных с объектами, которые входят в приложения.

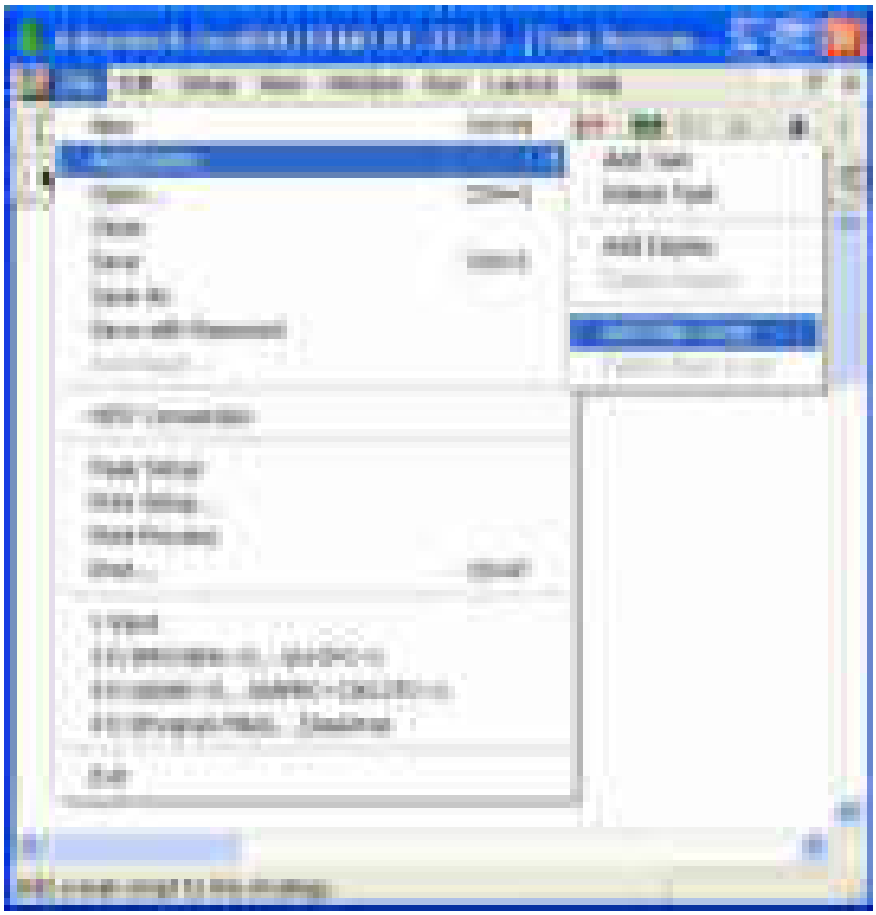


Рис. 4.75. Включение главной процедуры в программный проект приложения

- *Бейсик-процедура* (Бейсик-процедура, Basic Script) автоматически включается в программный проект при включении в задачу приложения функционального блока **BASIC Script**. Таким образом, число Бейсик-процедур программного проекта совпадает с общим числом функциональных блоков **BASIC Script** в приложении. Использование Бейсик-процедур обеспечивает максимальную гибкость при программировании специализированных вычислительных процедур и процедур сбора данных и управления. Вид ИСР Бейсик-процедуры показан ранее на рис. 4.73.

Рис. 4.76. ИСР предварительной процедуры задачи программного проекта приложения

Рис. 4.77. ИСР пост-процедуры задачи программного проекта приложения

4.6.2.3. Справочная система ИСР VBA-программ

Как было указано ранее, *справочную информацию* о языке, используемом для создания VBA-программы, можно получить в ИСР с помощью команды **Help | Help Topics** (рис. 4.78).

При активизации гиперссылки **Command Reference** получаем алфавитно-упорядоченный список гиперссылок на справки об элементах языка BasicScript Language (рис. 4.79).

Аналогичным образом, при активизации гиперссылок **Directives ... Objects** получаем соответствующие алфавитно-упорядоченные списки гиперссылок на справки об элементах языка BasicScript Language по функциональным группам. И, наконец, при активизации гиперссылки **BasicScript Help Contents** получаем окно справки, представленное на рис. 4.80. Если в этом окне активизировать гиперссылку **Dialog Editor**, можно получить алфавитно-упорядоченный список гиперссылок на справки о редакторе диалога (рис. 4.81).

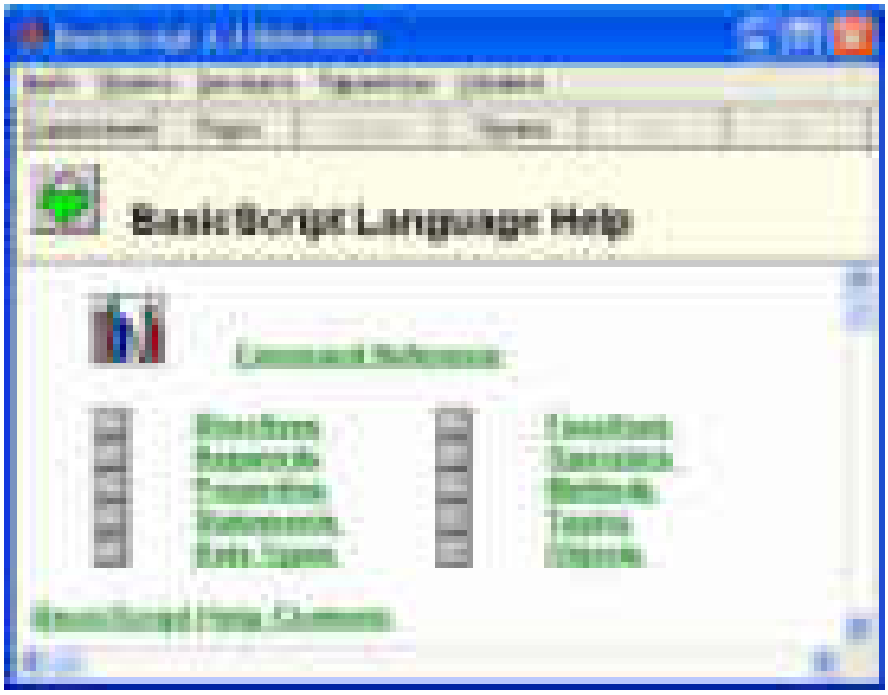


Рис. 4.78. Окно справки ИСР VBA-программ

4.6.2.4. Привязка VBA-программы к использующему ее приложению

Для реализации управления задачами и данными в процессе работы приложения в язык VBA включен ряд специализированных средств. К их числу относятся средства управления задачами, работы с тегами, управления окнами экранных форм и работы с Бейсик-процедурами.

4.6.2.4.1. Управление задачами

Средства управления задачами предназначены для управления сканируемыми задачами, входящими в приложение. Указанные средства могут применяться в главной процедуре, а также в предварительной процедуре и пост-процедуре задачи (задач). К средствам управления задачами относятся следующие.

Тип ScanTask — тип объекта *сканируемая задача*. Этот тип используется для определения переменной, которая позволяет получить доступ к объекту, возвращаемому функцией `GetScanTask( )`:

```
' Пример 4.1
' В основном сценарии стратегии выполняется запуск задачи
'   TASK1
Sub Main( )
    Dim MyTask As ScanTask
```

```
    Set MyTask = GetScanTask( "TASK1" )
    MyTask.Start
End Sub
```

См. также `GetScanTask` (функция), `Start` (метод).

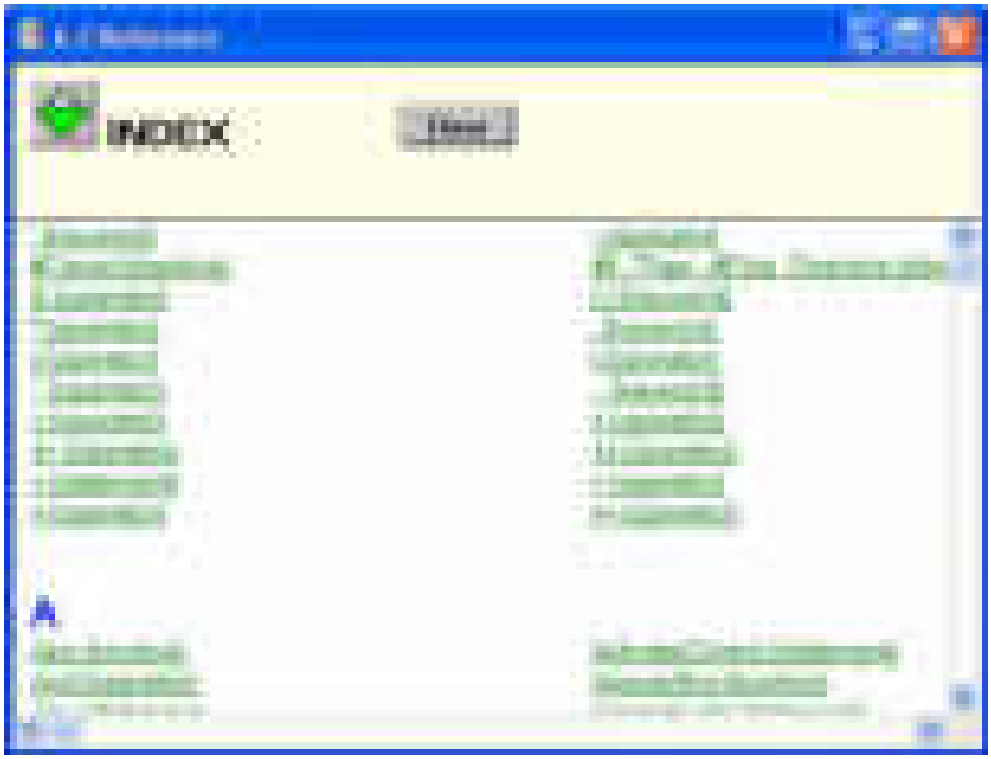


Рис. 4.79. Алфавитно-упорядоченный список гиперссылок на справки об элементах языка BasicScript Language

Функция GetScanTask(имя_задачи) — при успешном завершении возвращает объект типа **ScanTask**. Если задача с заданным именем отсутствует или имя указано неверно, возвращается значение **Null**. Объект типа **ScanTask** является именем переменной типа **ScanTask**. Имя_задачи является символьной строкой, идентифицирующей задачу, которая входит в приложение. Имя задачи должно быть представлено прописными буквами и заключено в кавычки, например `"TASK1"`.

Приведенный ранее пример 4.1 иллюстрирует также использование этой функции. См. также ScanTask (тип объекта), Start (метод).

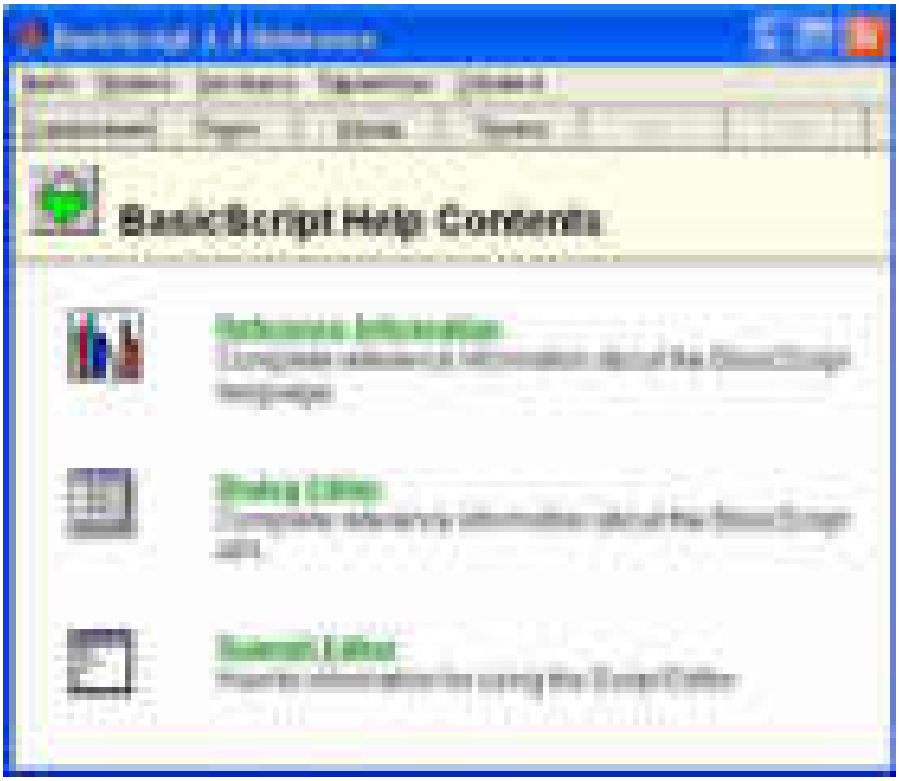


Рис. 4.80. Окно справки BasicScript Help Contents

Метод Start, выполняемый для объекта типа **ScanTask** (задача), предназначен для включения задачи, для которой вызывается указанный метод, в список задач, вызываемых исполнительной средой в процессе выполнения стратегии. Метод может быть применен к объекту типа **ScanTask**. Указанными объектами являются задачи, исполняющиеся в рамках приложения. При вызове указанного метода производится немедленный запуск заданной задачи независимо от режима запуска, установленного в диалоговом окне **Scan Task Setup** редактора задач, появляющемся при выполнении команды **Setup | Task Properties... (Ctrl+T)**. Возврат управления из данного метода происходит сразу после активизации задачи, для которой он вызывается.

Приведенный ранее пример 4.1 иллюстрирует использование и этого метода. См. также **ScanTask** (тип объекта), GetScanTask (функция).

Метод Stop предназначен для исключения задачи, для которой вызывается указанный метод, из списка задач, вызываемых исполнительной средой в процессе выполнения приложения. Метод может быть применен к объекту типа **ScanTask**. Указанными объектами являются задачи, исполняющиеся в рамках приложения.

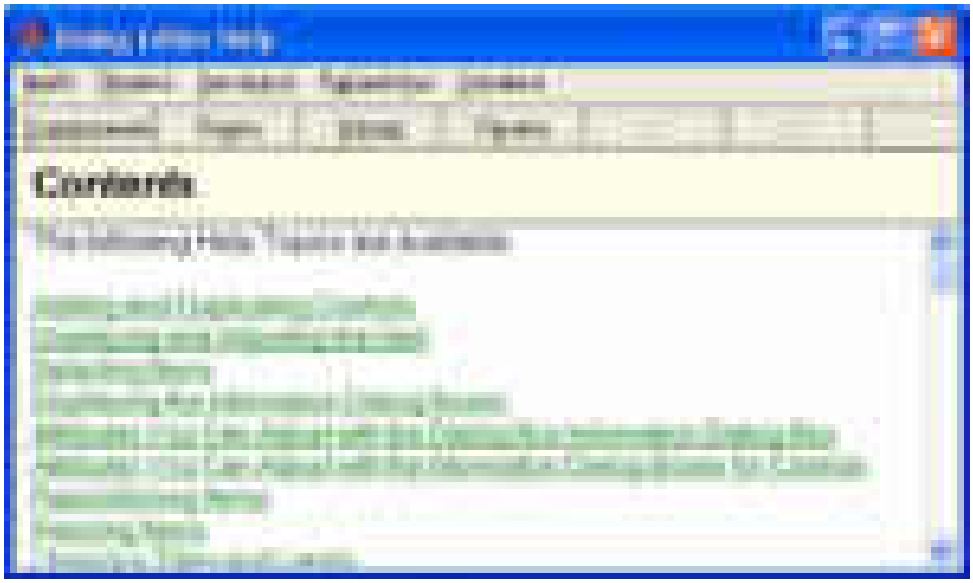


Рис. 4.81. Окно справки для создания диалогового окна

```
'Пример 4.2
'В данном примере останавливается задача TASK1.
'  Предполагается, что эта задача уже запущена
Sub Main( )
    Dim MyTask As ScanTask
    Dim IntFileLength As Integer
    Set MyTask = GetScanTask( "TASK1" )
    ' Открываем файл для ввода и присваиваем ему номер 1
    Open "test.dat" For Input As #1
    ' Определяем размер файла
    IntFileLength = Lof( 1 )
    ' Если файл слишком большой, то останавливаем задачу
    If IntFileLength > 32000 Then
        MyTask.Stop
    End If
End Sub
```

См. также **ScanTask** (тип объекта), GetScanTask (функция).

Метод SingleScan, выполняемый для объекта типа **ScanTask** (задача), предназначен для однократного исполнения задачи, для которой вызывается указанный метод. При вызове указанного метода производится немедленное однократное исполнение заданной задачи независимо от периода запуска, установленного в диалоговом окне **Scan Task Setup** редактора задач, появляющемся при выполнении команды **Setup — Task Properties...** (**Ctrl+T**). Возврат управления из данного метода происходит только по завершении однократного исполнения задачи, для которой он вызывается.

```
'Пример 4.3
'В данном примере 100 раз вызывается задача TASK1
```

```
Sub Main( )
    Dim IntI As Integer
    Dim MyTask As ScanTask
    Set MyTask = GetScanTask( "TASK1" )
    For IntI = 1 To 100
        MyTask.SingleScan
    Next IntI
End Sub
```

См. также **ScanTask** (тип), GetScanTask (функция).

Метод GetStatus, выполняемый для объекта типа **ScanTask** (задача), предназначен для получения текущего состояния задачи, для которой вызывается указанный метод. Результатом выполнения данного метода является возвращаемое целочисленное значение, отражающее текущее состояние проверяемой задачи. Значение 0 означает, что проверяемая задача не запущена и не остановлена. Значение 2 означает, что проверяемая задача находится в состоянии ожидания очередного вызова в соответствии с периодом сканирования, установленным в диалоговом окне **Scan Task Setup** редактора задач, появляющемся при выполнении команды **Setup | Task Properties...** (**Ctrl+T**), или выполнение задачи приостановлено на заданный интервал времени. Значение 3 означает, что проверяемая задача находится в состоянии исполнения во время очередного вызова в соответствии с периодом сканирования, установленным в диалоговом окне **Setup | Task Properties...** (**Ctrl+T**). Рекомендуется использовать данный метод до запуска или для остановки исполнения задачи.

```
' В примере 4.4 выполняется проверка состояния задачи TASK1
Sub Main( )
    Dim IntMyStatus As Integer
    Dim MyTask As ScanTask
    Set MyTask = GetScanTask( "TASK1" )
    MyStatus = MyTask.GetStatus
    If IntMyStatus = 0 Then
        MyTask.Start
        MyTask.Stop
    End If
End Sub
```

См. также **ScanTask** (тип), GetScanTask (функция), Start (метод), Stop (метод).

4.6.2.4.2. Работа с тегами

Средства работы с тегами предназначены для получения доступа к функциональным блокам и другим тегам, расположенным в центре обработки данных SCADA-системы. Они могут применяться в любой компоненте программного проекта (в основной процедуре, в предварительной и пост-процедурах задач, а также в Бейсик-процедурах). Понятие *тег* в определенном контексте может ассоциироваться как с идентификатором объекта (имя тега), так и с самим объектом определенного типа (класса). Примером *тега* является идентификатор функционального блока, входящего в задачу, однако имя тега записывается следующим образом. Для блока аналогового ввода, поле **Tag** диалогового окна

настройки параметров которого содержит идентификатор AI1, а поле **Description** — АЦП1, имя тега представляется как AI1:АЦП1.

Тип Tag используется для определения переменной, которая позволяет получить доступ к объекту, возвращаемому функцией GetTag( ).

```
' В примере 4.5 считывается значение на канале 0 блока
'   аналогового ввода
Sub Main( )
    Dim MyTag As Tag
    Dim SngVoltage As Single
    Set MyTag = GetTag( "TASK2", "AI1" )
    SngVoltage = MyTag.Value
End Sub
```

См. также GetTag (функция), Value (свойство).

Функция GetTag при успешном выполнении возвращает объект типа **Tag** и имеет два аргумента. Первый аргумент является строкой и задает имя задачи, формы отображения или виртуальной задачи ("VIRTASK"), а второй также является строкой, содержащей имя функционального блока, элемента управления или виртуального тега (должно быть представлено прописными буквами).

Приведенный ранее пример 4.5 иллюстрирует использование и этой функции. См. также **Tag** (тип объекта), Value (свойство).

Свойство Value предназначено для получения доступа к значению, связанному с объектом типа **Tag**. Объект типа **Tag** в этом случае должен указывать на функциональный блок, имеющий один или несколько входов.

Приведенный ранее пример 4.5 иллюстрирует использование и этого свойства. См. также GetTag (функция), **Tag** (тип объекта).

Свойство Array(номер_канала) предназначено для получения доступа к значению, связанному с заданным каналом объекта типа **Tag**. Объект типа **Tag** в этом случае должен указывать на функциональный блок, имеющий один или несколько входов. Номер канала может принимать значения от 0 до 15.

```
' В примере 4.6 считывается значение на 16-ом канале блока
'   аналогового ввода
Sub Main( )
    Dim MyTag As Tag
    Dim SngVoltage As Single
    Set MyTag = GetTag( "TASK2", "AI1" )
    SngVoltage = MyTag.Array( 15 )
End Sub
```

См. также GetTag (функция), **Tag** (тип объекта).

4.6.2.4.3. Управление окнами экранных форм

Функция Display(номер_окна) используется в основной, предварительной и пост-процедурах для переключения между несколькими окнами форм отображения, входящими в приложение. В качестве параметра оператору передается номер окна экранной формы. Например, для выдвижения на передний план окна экранной формы DISP1 следует использовать вызов функции `Display( 1 )`.

```
' Пример 4.7 основного сценария стратегии
Sub Main( )
    Dim IntMyStatus As Integer
    Dim MyTask As ScanTask
    Set MyTask = GetScanTask( "TASK1" )
    IntMyStatus = MyTask.GetStatus
    If IntMyStatus = 3 Then
        ' Отображение окна DISP1 на переднем плане
        Display( 1 )
    End If
End Sub
```

4.6.2.4.4. Работа с Бейсик-процедурами

Средства работы с Бейсик-процедурами предназначены для управления выходными каналами функциональных блоков Бейсик-сценарий. Указанные средства могут применяться *только в Бейсик-процедурах*. Далее приводится описание операторов, выполняющих управление выходными каналами функциональных блоков Бейсик-сценарий.

Оператор Outputf используется для передачи одного вещественного значения из блока Бейсик-сценария другому функциональному блоку приложения и имеет два формата:

```
Outputf значение
Outputf канал, значение
```

Здесь `канал` — целое число в диапазоне от 0 до 7, представляющее номер канала, по которому будет осуществляться передача вещественного значения, а `значение` — имя переменной типа **Single** или значение, передаваемое другому функциональному блоку приложения. Если явно не указан номер канала, по которому выводится значение с плавающей точкой, предполагается канал с номером 0.

```
' В примере 4.8 выполняется вывод вещественного значения по
'   каналу 0
    Dim MyTag As Tag
    Dim SngVoltage As Single
    Set MyTag = GetTag( "TASK2", "AI1" )
    SngVoltage = MyTag.Value
    If SngVoltage > 0.0 Then
        Outputf SngVoltage
    Else
        Outputf -SngVoltage
    End If
```

См. также Outputi (оператор), Outputl (оператор), Outputs (оператор)

Оператор Outputi используется для передачи одного целочисленного значения из блока Бейсик-сценария другому функциональному блоку приложения и имеет два формата:

```
Outputi значение
Outputi канал, значение
```

Здесь `канал` — целое число в диапазоне от 0 до 7, представляющее номер канала, по которому будет осуществляться передача целочисленного значения, а `значение` —

имя переменной типа **Integer** или целочисленное значение, передаваемое другому функциональному блоку приложения. Если явно не указан номер канала, по которому выводится значение с плавающей точкой, предполагается канал с номером 0.

```
' В примере 4.9 выполняется вывод целочисленного значения по
'   каналу 0
    Dim MyTag As Tag
    Dim IntRamp As Integer
    Set MyTag = GetTag( "TASK2", "RMP1" )
    IntRamp = MyTag.Value
    If IntRamp > 3 Then
        Outputi IntRamp
    Else
        Outputi -1
    End If
```

См. также Outputf (оператор), Outputl (оператор), Outputs (оператор)

Оператор Outputl используется для передачи одного целочисленного значения двойной точности из блока Бейсик-сценария другому функциональному блоку приложения и имеет два формата:

```
Outputl значение
Outputl канал, значение
```

Здесь `канал` — целое число в диапазоне от 0 до 7, представляющее номер канала, по которому будет осуществляться передача целочисленного значения двойной точности, а `значение` — имя переменной типа **Long** или целочисленное значение двойной точности, передаваемое другому функциональному блоку приложения. Если явно не указан номер канала, по которому выводится значение с плавающей точкой, предполагается канал с номером 0.

```
' В примере 4.10 выполняется вывод значения целого
'   типа двойной точности по двум каналам
    Dim LngCount As Long
    ' …
    If LngCount >= 0 Then
        Outputl 0, LngCount
    Else
        Outputl 1, LngCount
    End If
```

См. также Outputf (оператор), Outputi (оператор), Outputs (оператор).

Оператор Outputs используется для передачи одной строки из блока Бейсик-сценария другому функциональному блоку приложения и имеет два формата:

```
Outputl строка$
Outputl канал, строка$
```

Здесь `канал` — целое число в диапазоне от 0 до 7, представляющее номер канала, по которому будет осуществляться передача строки, а `значение` — имя переменной типа **String** или строковое значение, передаваемое другому функциональному блоку приложения. Если явно не указан номер канала, по которому выводится значение с плавающей точкой, предполагается канал с номером 0.

```
' В примере 10 выполняется вывод строки
    Dim StrS1 As String
    Dim StrS2 As String
    StrS1 = "Hello,"
    StrS2 = "World!"
    Outputs 3, StrS1 + StrS2
```

См. также Outputf (оператор), Outputi (оператор), Outputl (оператор).

4.6.2.5. Использование в VBA-программе диалоговых окон. Управляющие элементы

Проиллюстрируем создание и использование окна диалога на примере диалогового окна с кнопками **OK**, **Cancel**, управляющими элементами отмечаемая кнопка (**Check box**), элемент группирования (**Group box**), статический текст (**Text**), элемент редактирования (**Text box**)и раскрывающийся список (**Drop list box**).

Для создания демонстрационного примера выполните следующие действия.

1. *Первое действие*. Запустите построитель приложений двойным щелчком левой кнопкой мыши на ярлыке GeniDAQ Builder 4.25, расположенном на рабочем столе. В результате на экран будет выведено главное окно построителя приложений (см. рис. 4.6). Для запуска построителя задач в демонстрационном режиме нажмите кнопки **Exit** и **OK**. Демонстрационный режим отличается непрерывным двухчасовым интервалом работы и меньшим количеством входных и выходных каналов. В нашем случае это несущественно. Нажмите кнопку **New** на панели инструментов (ее легко найти, так как все кнопки снабжены всплывающими подсказками). После этого в главном окне построителя приложений появится диалоговое окно настройки, которое может быть настроено так, как это показано на рис. 4.82. После нажатия кнопки **OK** и подтверждения необходимости создания каталога DemoDialog, который до этого не существовал, в главном окне построителя задач появятся пустые окна редактора задач (**TASK1**) и редактора форм отображения (**DISP1**). Произведем щелчок мышью в области окна редактора задач и окно с заголовком **Task Designer: TASK1** будет выдвинуто на передний план. В окне построителя задач появится еще одна панель инструментов, содержащая пиктограммы встроенных функциональных блоков редактора задач.

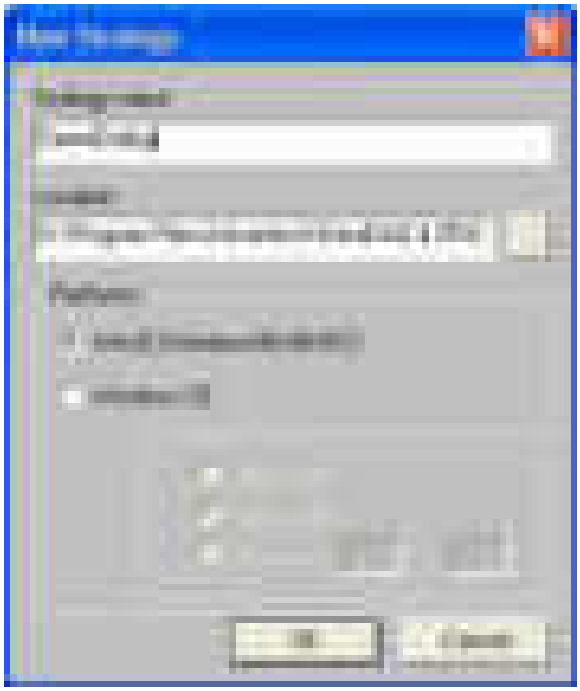


Рис. 4.82. Конфигурирование приложения **DemoDialog**

2. *Второе действие*. Задайте временные параметры запуска задачи. Для этого нажмите кнопку **Task Properties** на панели инструментов или выполните команду **Setup | Task Properties**, в появившемся окне задайте требуемое значение периода (см. рис. 4.8) и нажмите кнопку **OK**. В нашем примере задан период запуска приложения 100 миллисекунд.
3. *Третье действие*. На панели инструментов выберите кнопку с мнемоникой **BS** (BASIC Script), поместите на нее курсор мыши, щелкните левой кнопкой мыши, переместите мышь в окно редактора задач и еще раз щелкните левой кнопкой мыши. При этом в окне редактора задач появится функциональный блок Бейсик-сценария с позиционным обозначением **SCR1** (рис. 4.83).
4. *Четвертое действие*. Теперь сделайте активным окно **DISP1** редактора форм отображения, для чего щелкните по этому окну левой кнопкой мыши. При этом в верхней части главного окна появится панель инструментов редактора форм отображения. На панели инструментов выберите кнопку **Binary Button** (нажимаемая кнопка) и с помощью мыши перетащите ее и положите во внутреннюю область окна редактора форм отображения (рис. 4.84). Для настройки свойств кнопки щелкните дважды левой кнопкой мыши над пиктограммой кнопки. В результате появится диалоговое окно настройки. Выполните настройку кнопки в соответствии с рис. 4.85, а затем с помощью

кнопки **OK** закройте окно (в ответ на предупреждение еще раз нажмите кнопку **OK**). С помощью этой кнопки будем управлять окном диалога.

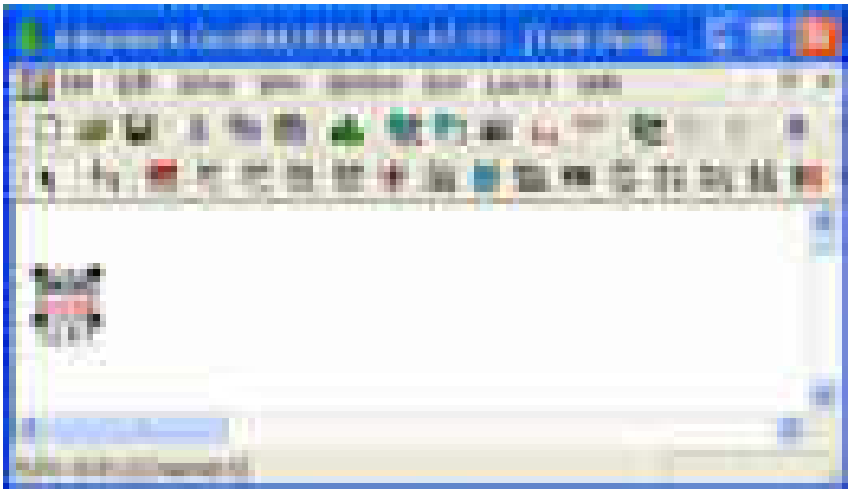


Рис. 4.83. Вид окна редактора задач приложения DemoDialog

5. *Пятое действие*. Теперь сделайте вновь активным окно **TASK1** редактора задач, для чего щелкните по этому окну левой кнопкой мыши. При этом в верхней части главного окна появится панель инструментов редактора задач. На панели инструментов выберите кнопку **Tag** (тег) и с помощью мыши перетащите ее и положите во внутреннюю область окна редактора форм отображения (рис. 4.86). Для настройки свойств тега щелкните дважды левой кнопкой мыши над пиктограммой тега. В результате появится диалоговое окно настройки. Выполните настройку тега в соответствии с рис. 4.87, а затем с помощью кнопки **OK** закройте окно. Созданный тег будет использован для передачи в Бейсик-процедуру информации о состоянии кнопки в окне отображения.
6. *Шестое действие*. Двойным щелчком левой кнопки мыши по функциональному блоку Бейсик-сценария активируйте ИСР Бейсик-процедуры и выполните команду **Edit | Insert New Dialog…**. В результате появится ИСР диалогового окна, представленная на рис. 4.88. Разместите в шаблоне окна диалога управляющие элементы группирования, статического текста, редактирования, отмечаемую кнопку и раскрывающийся список в соответствии с рис. 4.89. Настройте диалоговое окно и добавленные управляющие элементы в соответствии с рис. 4.90-4.95. Командой **File | Save As…** сохраните созданный диалог в файле не магнитном диске, а командой **File | Exit And Return** включите шаблон диалога в Бейсик-процедуру.
7. *Седьмое действие*. Выполните программную поддержку созданного диалога. С этой целью в Бейсик-процедуру введите следующий текст:

Рис. 4.84. Окно редактора форм отображения приложения **DemoDialog**

```
' Создание и обработка диалога
' Массив для раскрывающегося списка
Public DropListBox1$( 2 )
' Шаблон диалога (создается автоматически)
Begin Dialog UserDialog ,,264,113,"TestDialog"
    OKButton 220,8,40,14
    CancelButton 220,28,40,14
    GroupBox 4,4,208,104,"Блок группирования",.GroupBox1
    TextBox 8,16,44,12,.TextBox1
    Text 60,17,108,8,"Элемент редактирования",.Text1
    CheckBox 8,36,160,8,"Отмечаемая кнопка",.CheckBox1
    DropListBox 8,50,68,58,DropListBox1$,.DropListBox1
    Text 84,53,124,8,"Раскрывающийся список",.Text2
End Dialog
' Инициализация, создание и обработка диалога
Sub SCR1()
    ' Тег кнопки, управляющей диалогом
    Dim button As Tag
    ' Получение значения состояния кнопки
    Set button = GetTag( "DISP1", "BBTN1" )
    If button.value = 1 Then
        ' Кнопка нажата - инициализация, создание и обработка
        '   диалога
        ' Инициализация
        ' Данные для раскрывающегося списка
        DropListBox1$( 0 ) = "Один"
        DropListBox1$( 1 ) = "Два"
        DropListBox1$( 2 ) = "Три"
        Dim dlg As UserDialog           ' Объект диалога
        ' Индекс элемента раскрывающегося списка
        dlg.DropListBox1 = 2
```

Рис. 4.85. Конфигурирование кнопки

```
' Текст для элемента редактирования
dlg.TextBox1 = "Пример"
' Отмечаемая кнопка выбрана
dlg.CheckBox1 = 1
' Для возвращаемого элемента диалога (-1 при нажатии кнопки
'   OK)
Dim IntRC As Integer
' Создание диалога и работа с ним
IntRC = Dialog( dlg )
' Обработка диалога
If IntRC = -1 Then
    ' Нажата кнопка OK
    ' Состояние раскрывающегося списка
    MsgBox "Раскрывающийся список: " & _
        DropListBox1$( dlg.DropListBox1 )
    ' Состояние элемента редактирования
    MsgBox "Элемент редактирования: " & dlg.TextBox1
```

Рис. 4.86. Окно редактора задач приложения DemoDialog

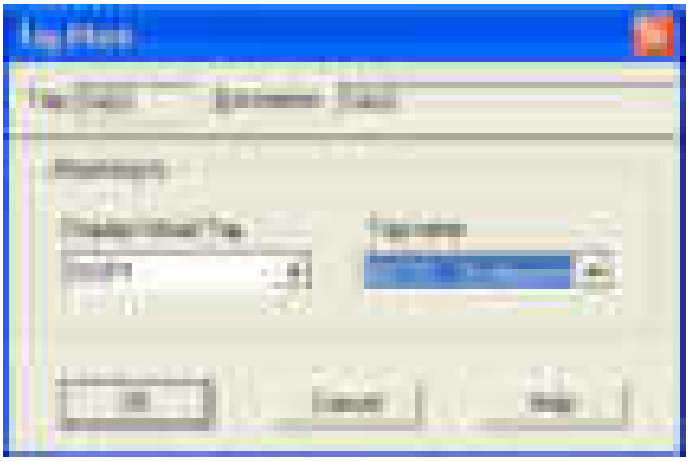


Рис. 4.87. Конфигурирование тега

```
            ' Состояние отмечаемой кнопки
            MsgBox "Отмечаемая кнопка: " & dlg.CheckBox1
        End If
    End If
End Sub
```

Командой **File | Close** закройте ИСР программы и сохраните Бейсик-процедуру.

8. *Восьмое действие*. Протестируйте созданное приложение. С этой целью кнопкой **Start** активизируйте приложение и в окне отображения нажмите кнопку **Отобразить диалог**. В результате появится диалоговое окно, представленное на

рис. 4.96. В этом окне изменим текст в элементе редактирования, состояние отмечаемой кнопки, выберем другой элемент в раскрывающемся списке и для считывания информации из окна диалога нажмем кнопку **OK**. В результате появится последовательность сообщений, отображающих полученную информацию (рис. 4.97 — 4.99).

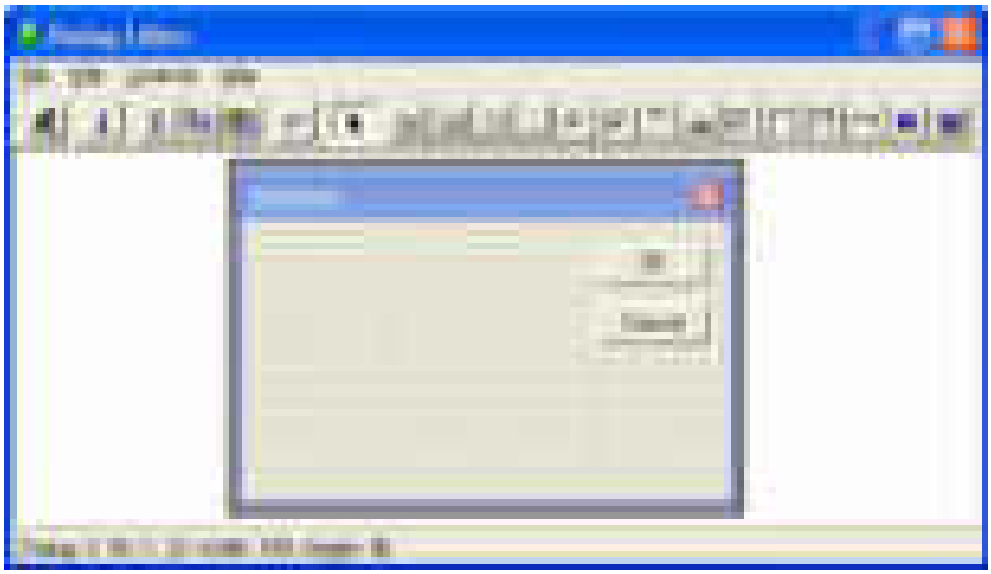


Рис. 4.88. ИСР диалогового окна

Рис. 4.89. Вид окна диалога

Рис. 4.90. Конфигурирование окна диалога

Рис. 4.91. Конфигурирование элемента группирования

9. *Девятое действие*. Завершите работу приложения. С этой целью кнопкой **Stop** остановите работу приложения и командой **File | Exit** завершите работу SCADA-системы.

4.6.3. Упражнения

Упражнение 4.17. Повтор создания и тестирования приложения DemoDialog

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **DemoDialog**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Рис. 4.92. Конфигурирование элемента редактирования

Рис. 4.93. Конфигурирование статического текста

Рис. 4.94. Конфигурирование отмечаемой кнопки

Рис. 4.95. Конфигурирование раскрывающегося списка

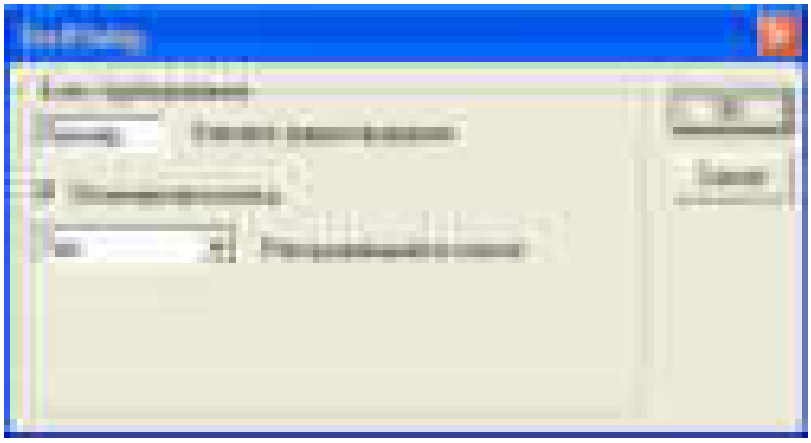


Рис. 4.96. Вид окна диалога

Рис. 4.97. Информация, полученная из раскрывающегося списка

Рис. 4.98. Информация, полученная из элемента редактирования

Рис. 4.99. Информация, полученная из отмечаемой кнопки

4.7. Занятие 6 "Использование функционального блока Бейсик-сценария"

Цель занятия состоит в формировании у пользователя представления о правилах использования функционального блока *Бейсик-сценария* (*BASIC Script*) редактора задач. Используются функциональные блок *тег* (**Tag**), блок *аналогового ввода* (**Analog Input**), блок *Бейсик-сценария* (**BASIC Script**) редактора задач и инструменты *инкрементный регулятор* (**Numeric Control**), индикатор (**Indicator**) и *цифровой индикатор* (**Numeric String**) редактора форм отображения. Блок *Бейсик-сценария* используется на занятии следующим образом. С его помощью получается значение аналогового сигнала канала 0 программного эмулятора сигналов **Advantech DEMO I/O**. Полученное значение сравнивается с величиной, вводимой пользователем с помощью *инкрементного регулятора*. Если значение сигнала на канале 0 превышает вводимое пользователем, то цвет *индикатора* меняется с зеленого на красный. В ином случае — цвет изменяется на зеленый.

4.7.1. Используемый инструментарий

Новым инструментом на данном занятии является *функциональный блок Бейсик-сценария (BASIC Script)* редактора задач. Блок разработан для обеспечения максимальной гибкости программирования в GeniDAQ, позволяющей реализовывать эффективные вычисления, логические операции, условные переходы, ветвления и циклы. Как указывалось ранее, в блоке используется язык программирования, синтаксис и функции которого совместимы с принятыми в Microsoft Visual Basic и Microsoft Visual Basic for Applications (VBA). Однако язык программирования Бейсик-сценариев является интерпретатором, что вызвано необходимостью достижения компромисса между простотой в применении и быстродействием. Блок Бейсик-сценария предназначен для реализации небольших алгоритмов обработки данных. Разработка и использование больших и сложных программ не рекомендуется. Выходы блока (их всего 8) блока могут соединяться с неограниченным количеством других функциональных блоков стратегии. Имеется возможность создания программ, выполняющих обработку значений на входах блока Бейсик-сценария и вывод вычисленных значений на его выходы, а также позволяющих пропускать циклы стратегии, при которых не происходит вывод значений переменных другим функциональным блокам. В последнем случае, все блоки стратегии, присоединенные к выходам блока с подобным алгоритмом работы, исключаются из обработки в пропускаемых циклах. После двойного щелчка левой

кнопкой мыши на пиктограмме блока Бейсик-сценария появляется окно редактора Бейсик-сценариев (рис. 4.77), подробно описанного в предыдущем разделе. С помощью данного редактора имеется возможность отладки, трассировки и редактирования программного кода сценариев. Таким образом, редактор сценариев представляет мощное средство разработки процедур обработки данных, специфичных для задачи пользователя. Окно редактора сценариев является модальным, что требует его закрытия перед продолжением работы с другими редакторами GeniDAQ. Блок Бейсик-сценария имеет доступ к данным, расположенным в центре обработки данных GeniDAQ. Таким образом, входные связи, присоединяемые к блоку, не несут никакой смысловой нагрузки и игнорируются.

4.7.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.101.
2. Выполните *второе действие* из занятия 1. В нашем примере также задан период запуска приложения 100 миллисекунд.
3. *Третье действие*. Добавьте в окно отображения **DISP1** цифровой индикатор, индикатор, инкрементный регулятор и две текстовых строки (рис. 4.102).
4. *Четвертое действие*. Выдвиньте на передний план окно редактора задач **TASK1** и разместите в нем блок аналогового входа **AI1**, блок тег и блок Бейсик-сценария. Выполните настройку блока аналогового ввода на прием измерительной информации от канала 0 программного эмулятора **Advantech DEMO I/O**. С помощью проводника установите связь между блоком аналогового ввода **AI1** и блоком Бэйсик-сценария **SCR1**. Окно редактора задач приобретет вид, показанный на рис. 4.103. Перед соединением функциональных блоков тег и **SCR1** настройте тег в соответствии с рис. 4.104 и соедините блоки с помощью проводника. При этом окно редактора задач приобретет окончательный вид, показанный на рис. 4.105. Сконфигурируйте блок Бейсик-сценария в соответствии с рис. 4.100.
5. *Пятое действие*. Перейдите в окно редактора форм отображения и настройте цифровой индикатор, индикатор и инкрементный регулятор в соответствии с рис. 4.106-4.108.

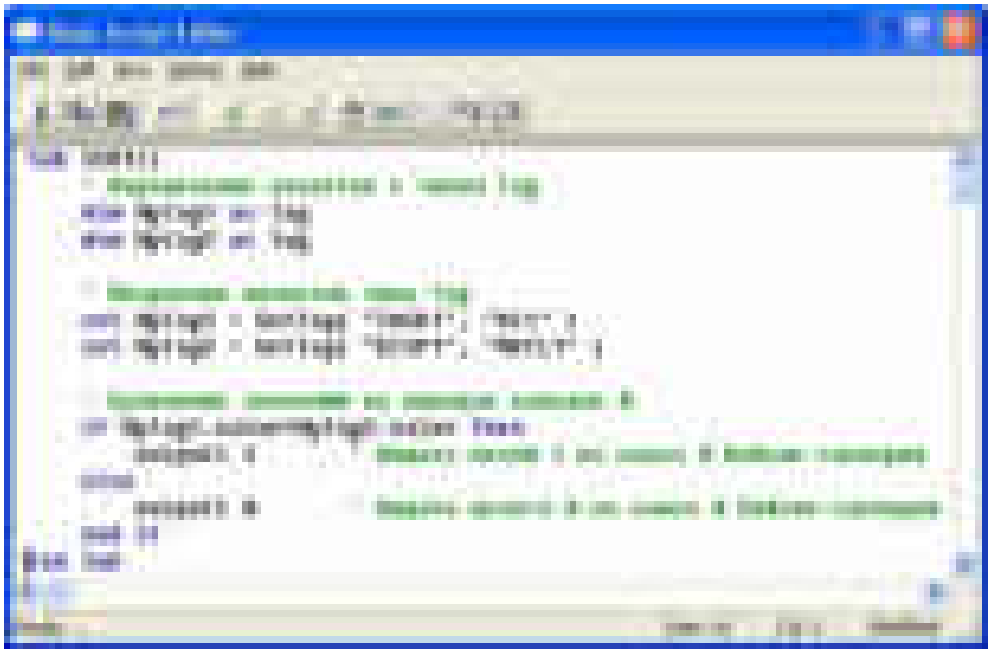


Рис. 4.100. Конфигурирование функционального блока **Бейсик-сценария**

6. *Шестое действие.* Сохраните созданный проект (стратегию). Для этого выполните команду **File | Save As**, в появившемся диалоговом окне укажите необходимую информацию и нажмите кнопку **Сохранить**. Это нужно выполнить для обоих файлов проекта с расширениями **.gni** и **.HLD**. После сохранения файлов созданного проекта запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.109). В процессе работы приложения обратите внимание на состояние индикатора и проанализируйте, почему индикатор ведет себя таким образом. Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
7. *Седбмое действие. Девятое действие.* Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

4.7.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.18. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 6"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 6**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

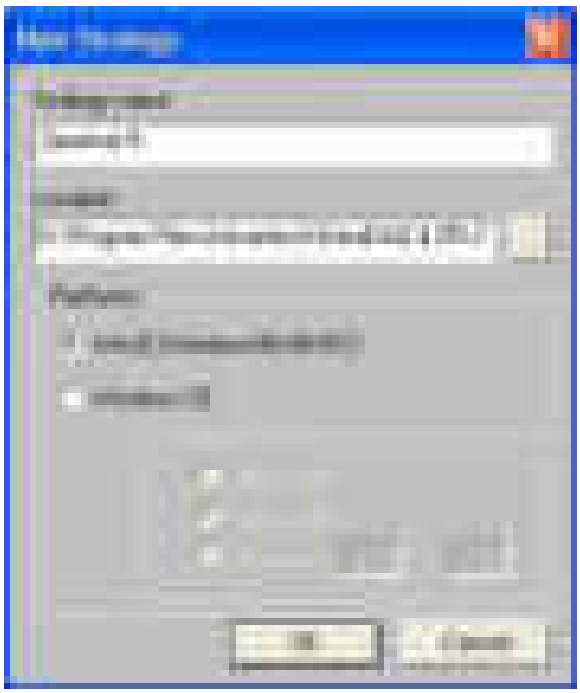


Рис. 4.101. Диалоговое окно конфигурирования приложения

Упражнение 4.19

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. В окно редактора задач поместите функциональный блок аналогового ввода, использующий эмулятор пилообразного сигнала, и функциональный блок Бейсик-сценария. В окно редактора форм отображения поместите два цифровых индикатора. Настройте первый из цифровых индикатора таким образом, чтобы он отображал сигнал на выходе блока аналогового ввода. Запрограммируйте блок Бейсик-сценария так, чтобы настройка обеспечила отображение на втором индикаторе максимального значения на выходе блока аналогового ввода.

Упражнение 4.20

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. В окно редактора задач поместите функциональный блок аналогового ввода, использующий эмулятор гармонического сигнала, и функциональный блок Бейсик-сценария.

Рис. 4.102. Вид окна редактора форм отображения после добавления управляющих элементов

Рис. 4.103. Вид окна редактора задач

В окно редактора форм отображения поместите два цифровых индикатора. Настройте первый из цифровых индикатора таким образом, чтобы он отображал сигнал на выходе блока аналогового ввода. Запрограммируйте блок Бейсик-сценария

так, чтобы настройка обеспечила отображение на втором индикаторе минимального значения на выходе блока аналогового ввода.

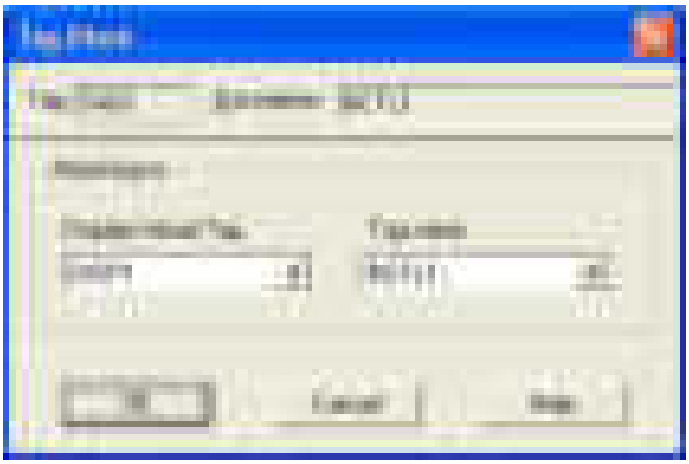


Рис. 4.104. Конфигурирование блока *тег*

Рис. 4.105. Окончательный вид окна редактора задач

Упражнение 4.21

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. В окно редактора задач поместите функциональный блок аналогового ввода, использующий эмулятор случайного сигнала, и функциональный блок Бейсик-сценария. В окно редактора форм отображения поместите два цифровых индикатора. Настройте

первый из цифровых индикатора таким образом, чтобы он отображал сигнал на выходе блока аналогового ввода. Запрограммируйте блок Бейсик-сценария так, чтобы настройка обеспечила отображение на втором индикаторе максимального значения на выходе блока аналогового ввода.

Рис. 4.106. Конфигурирование индикатора

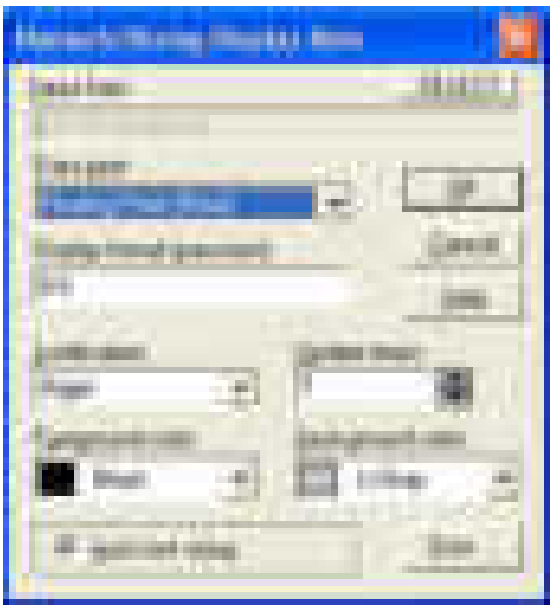


Рис. 4.107. Конфигурирование цифрового индикатора

Рис. 4.108. Конфигурирование инкрементного регулятора

Рис. 4.109. Демонстрация работы проекта в окне отображения

4.8. Занятие 7 "Совместное использование функциональных блоков Бейсик-сценария и виртуального тега"

Цель занятия состоит в изучении правил совместного применения функциональных блоков Бейсик-сценария (**BASIC Script**) и *виртуального тега* (**Virtual Tag**). Используются функциональный блок тег (**Tag**), который связывается с виртуальным тегом, блок аналогового ввода (**Analog Input**), блок **Бейсик-сценария** редактора задач и инструменты индикатор (**Indicator**), два цифровых индикатора (**Numeric String**) и две текстовых строки (**Text String**) редактора форм отображения. Блок Бейсик-сценария используется на занятии следующим образом. С его помощью получается значение аналогового сигнала канала 0 программного эмулятора сигналов **Advantech DEMO I/O**. Полученное значение сравнивается с величиной, хранимой в виртуальном теге. Если значение сигнала на канале 0 превышает хранимое в виртуальном теге, то это значение запоминается в виртуальном теге и на выходе блока Бейсик-сценарий формируется единичный сигнал. Иначе — значение, хранимое в виртуальном теге, не изменяется, а на выходе блока Бейсик-сценарий формируется нулевой сигнал. Цвет индикатора — красный, пока значение сигнала на канале 0 превышает хранимое в виртуальном теге. В противоположном случае — цвет изменяется на зеленый.

4.8.1. Используемый инструментарий

Новым инструментом на данном занятии является *функциональный блок виртуальный тег* (*Virtual Tag*). Виртуальный тег, созданный в редакторе задач, сохраняется в центре обработки данных так же, как и остальные встроенные функциональные блоки. Виртуальные теги доступны всем задачам, что обеспечивает возможность их использования для обмена данными между несколькими задачами.

Для создания виртуального тега выполните команду **Setup | Add/Delete Virtual Tags** и на экран будет выведено диалоговое окно, содержащее таблицу виртуальных тегов (рис. 4.110). Для создания виртуального тега и добавления его в таблицу следует нажать кнопку **Add Tag**, в появившемся окне диалога (рис. 4.111) ввести его имя, тип, начальное значение и нажать кнопку **OK**. При этом виртуальный тег с введенным именем будет создан и добавлен в таблицу виртуальных тегов (см. приведенный ранее рис. 4.110). Для изменения параметров виртуального тега надо выбрать его в списке тегов (см. приведенный ранее рис. 4.110), нажать кнопку **Update**, в появившемся окне диалоговом окне (см. приведенный ранее рис. 4.111) задать требуемые параметры и нажать кнопку **OK**. Для удаления виртуального тега следует выбрать его имя в таблице виртуальных тегов и нажать кнопку **Delete**. После модификации таблицы виртуальных тегов нажатием кнопки **Close** можно закрыть диалоговое окно, показанное на рис. 4.110.

Рис. 4.110. Диалоговое окно для модификации таблицы виртуальных тегов

Рис. 4.111. Задание параметров добавляемого виртуального тега

После создания, виртуальные теги не помещаются в набор инструментов редактора задач. Доступ к виртуальным тегам в редакторе задач может быть получен через блок тег. Для этого следует в окне конфигурирования тега (рис. 4.112) в списке **Display/virtual Tag** выбрать значение **VIRTASK**, а в списке **Tag name** выбрать имя виртуального тега (например, **VR1**), к которому требуется получить доступ. После нажатия кнопки **OK**, блок тег может быть соединен с другими функциональными блоками стратегии, имеющими входы и выходы. Таким образом, виртуальный тег может быть как источником, так и приемником данных. Например, ему могут передаваться значения от блока аналогового ввода или он может передавать данные блоку дискретного вывода.

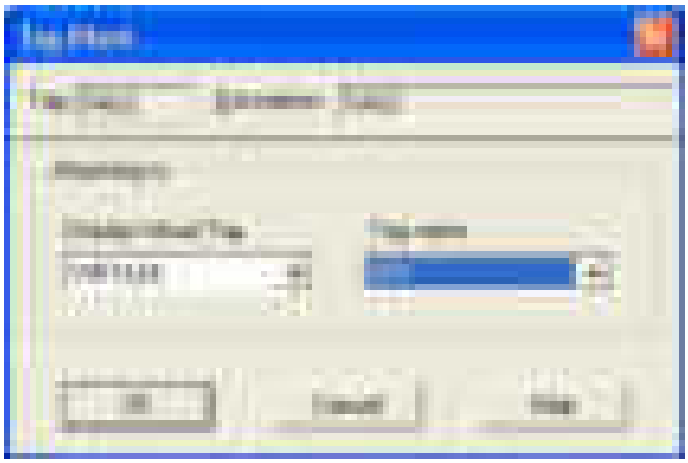


Рис. 4.112. Диалоговое окно для настройки доступа к виртуальному тегу

Значение, связанное с виртуальным тегом, может быть отображено на экране монитора путем установления связи с соответствующим элементом отображения (рис. 4.113).

Рис. 4.113. Связь виртуального тега с элементом отображения редактора форм отображения

В Бейсик-сценарии виртуальный тег является тем же объектом, что и другие функциональные блоки стратегии. Имеется возможность получить и установить значение, связанное с виртуальным тегом, путем использования функций `GetTag( )`

и `SetTag( )`. Сказанное иллюстрирует рис. 4.114. Отличие между виртуальным тегом и другими функциональными блоками редактора задач состоит в том, что после установки новых значений предыдущие значения, связанные с блоками редактора задач, не могут быть вновь считаны задачами стратегии из центра обработки данных. Таким образом, использование виртуальных тегов дает возможность передачи данных из Бейсик-сценариев и других приложений задачам и экранным формам текущей стратегии.

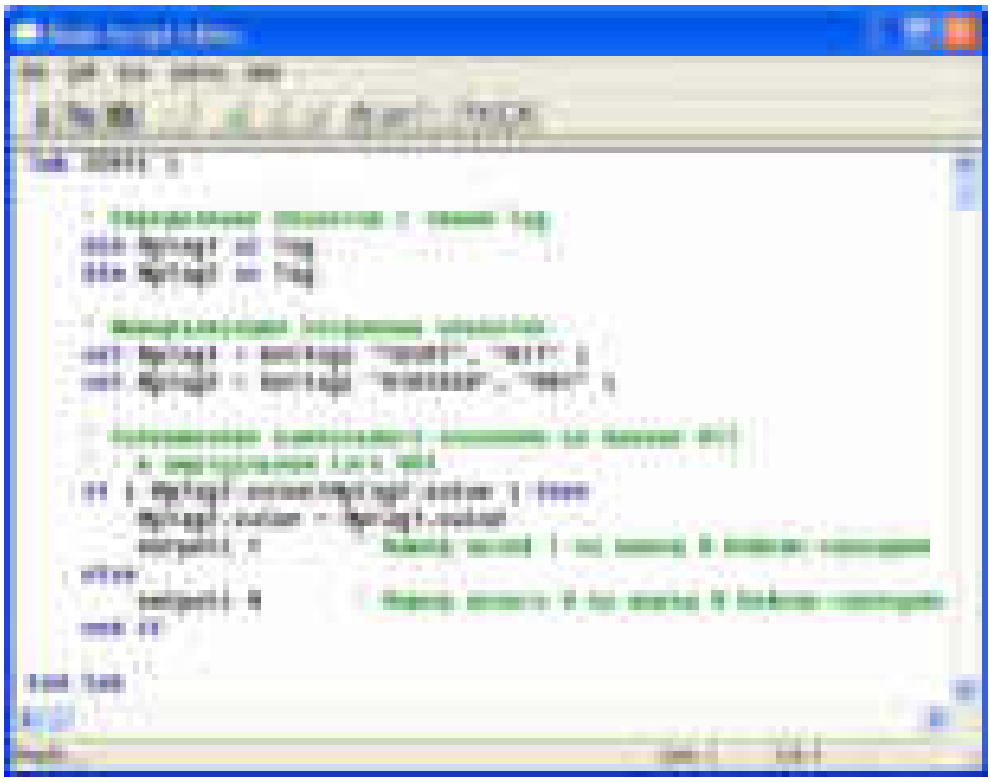


Рис. 4.114. Использование виртуального тега в редакторе сценариев

4.8.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.115.
2. Выполните *второе действие* из занятия 1. В нашем примере задан период запуска приложения 1 секунда.

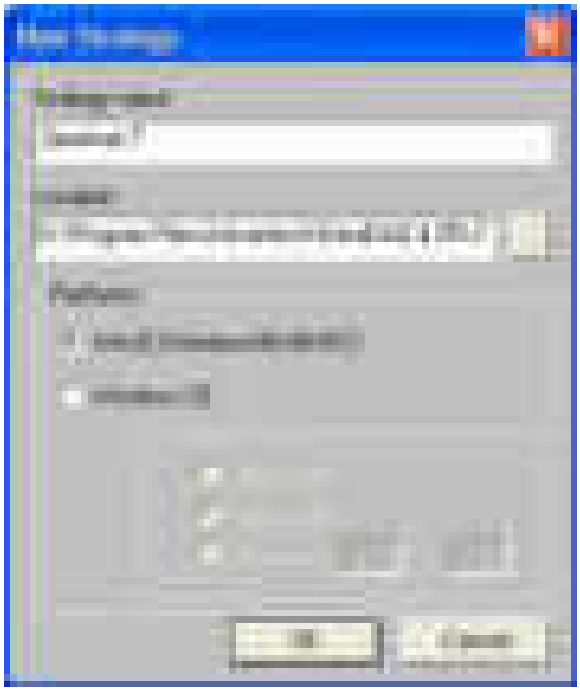


Рис. 4.115. Диалоговое окно конфигурирования приложения

3. *Третье действие*. Сделайте активным окно редактора задач и создайте объект виртуальный тег. Для этого выполните команду **Setup | Add/Delete Virtual Tags** и в появившемся диалоговом окне (см. рис. 4.110) нажмите кнопку **Add Tag**. Появится следующее диалоговое окно и с его помощью сконфигурируйте виртуальный тег в соответствии с рис. 4.111.
4. *Четвертое действие*. В окно редактора задач поместите функциональные блоки аналогового ввода, Бейсик-сценария и тег. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши, поместив курсор на изображение блока аналогового ввода, и выполните его настройку на ввод информации от канала 0 программного эмулятора **Advantech DEMO I/O** в соответствии с рис. 4.116. Установите связь между функциональным блоком тег и созданным объектом виртуальный тег в соответствии с описанной ранее схемой и рис. 4.112. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши, поместив курсор на пиктограмму блока Бейсик-сценарий и введите исходный текст программы в соответствии с рис. 4.114. Хотя это и не является обязательным, но, для наглядности, соедините блоки аналогового ввода и тег с функциональным блоком Бейсик-сценария. После этого окно редактора задач приобретет вид, показанный на рис. 4.117.
5. *Пятое действие*. Активизируйте окно редактора форм отображения. Добавьте в это окно элементы отображения индикатор, два цифровых индикатора и две текстовых строки (рис. 4.118). Сконфигурируйте индикатор в соответствии с

рис. 4.119. Сконфигурируйте *цифровые индикаторы* в соответствии с рис. 4.113, рис. 4.120 и текстовые строки в соответствии с рис. 4.118.

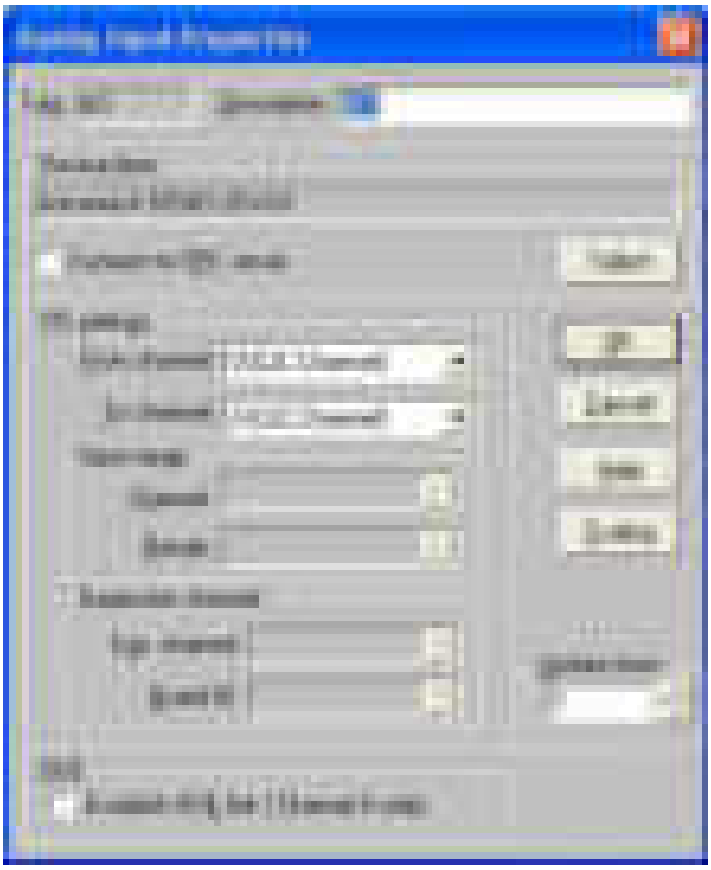


Рис. 4.116. Конфигурирование блока аналогового ввода

6. *Шестое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию). Для этого выполните команду **File | Save As**, в появившемся окне диалога укажите необходимую информацию и нажмите кнопку **Сохранить**. Это нужно выполнить для обоих файлов проекта с расширениями `.gni` и `.HLD`.
7. *Седьмое действие*. После сохранения файлов созданного проекта запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.121). В процессе работы приложения обратите внимание на состояние индикатора. Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
8. *Восьмое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

Рис. 4.117. Окно редактора задач

Рис. 4.118. Окно редактора форм отображения

4.8.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Рис. 4.119. Конфигурирование индикатора

Рис. 4.120. Конфигурирование цифрового индикатора

Упражнение 4.22. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 7"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 7**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Упражнение 4.23

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями (в качестве аналога используйте стратегию из занятия 7).

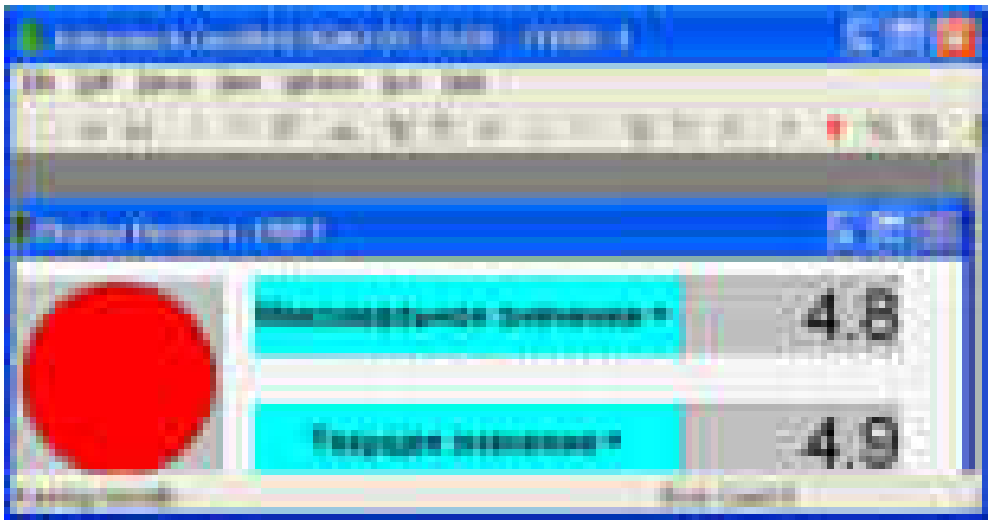


Рис. 4.121. Демонстрация работы проекта в окне отображения

В окно редактора задач поместите функциональный блок аналогового ввода, использующий эмулятор пилообразного сигнала, функциональный блок Бейсик-сценария и два функциональных блока тег, каждый из которых связывается с соответствующим виртуальным тегом. В окно редактора форм отображения поместите три цифровых индикатора. Настройте первый из цифровых индикаторов таким образом, чтобы он отображал сигнал на выходе блока аналогового ввода. Запрограммируйте блок Бейсик-сценария и настройте оставшиеся цифровые индикаторы так, чтобы они работали по следующему алгоритму. Второй цифровой индикатор должен отображать максимальное значение сигнала на выходе блока аналогового ввода, а третий — минимальное значение сигнала на выходе блока аналогового ввода. Все три индикатора в окне отображения снабдить поясняющим текстом.

Упражнение 4.24

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями (в качестве аналога используйте стратегию из занятия 7). Используйте два окна редактора задач. Придумайте стратегию, в которой происходит передача информации между задачами с использованием виртуальных тегов. Сконфигурируйте окно отображения для подтверждения указанной передачи.

4.9. Занятие 8 "Программирование основного сценария"

Цель занятия состоит в изучении базовых правил разработки *основного сценария* и способов его применения для управления задачами. С этой целью в рамках стратегии

создается задача и основной сценарий для управления этой задачей. Используются блок аналогового ввода (**Analog Input**) редактора задач, инструменты график времени (**Realtime Trend Graph**), цифровой индикатор (**Numeric String**) и текстовые строки (**Text String**) редактора форм отображения, а также *основной сценарий* стратегии.

4.9.1. Используемый инструментарий

Новым инструментом на данном занятии является *основной сценарий*. Особенности его использования описаны в разд. 4.6 "Использование языка VBA в SCADA-системах".

4.9.2. Проектирование приложения

Проектирование приложения. Для реализации поставленного задания выполните следующие действия.

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.122.
2. *Второе действие*. Сделайте активным окно редактора задач и поместите в него функциональный блок аналогового ввода. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши, поместив курсор на изображение блока *аналогового ввода* в окне редактора задач, и выполните его настройку на ввод информации от канала 0 программного эмулятора **Advantech DEMO I/O** в соответствии с приведенным ранее рис. 4.116.
3. *Третье действие*. Активизируйте окно редактора форм отображения. Добавьте в это окно элементы отображения график времени, цифровой индикатор и текстовую строку (рис. 4.123). Сконфигурируйте *график времени* и *цифровой индикатор* в соответствии с рис. 4.124 и 4.125.
4. *Четвертое действие*. Задайте временные параметры запуска задачи **TASK1** таким образом, чтобы ее запуск осуществлялся под управлением основного сценария. Для этого выполните команду **Setup | Task Properties...** и настройте параметры запуска задачи в соответствии с рис. 4.126. При этом будет задан пассивный запуск задачи по команде из основного сценария.
5. *Пятое действие*. Добавьте в стратегию основной сценарий. Для этого выполните команду **File | Add/Delete | Add Main Script** и в появившемся окне редактора сценариев введите текст, показанный на рис. 4.127.

Рис. 4.122. Диалоговое окно конфигурирования приложения

6. *Пятое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию). Для этого выполните команду **File | Save As**, в появившемся окне диалога укажите необходимую информацию и нажмите кнопку **Сохранить**. Это нужно выполнить для обоих файлов проекта с расширениями *.gni* и .HLD.
7. *Седбмое действие*. После сохранения файлов созданного проекта запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.128). Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
8. *Восьмое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

4.9.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

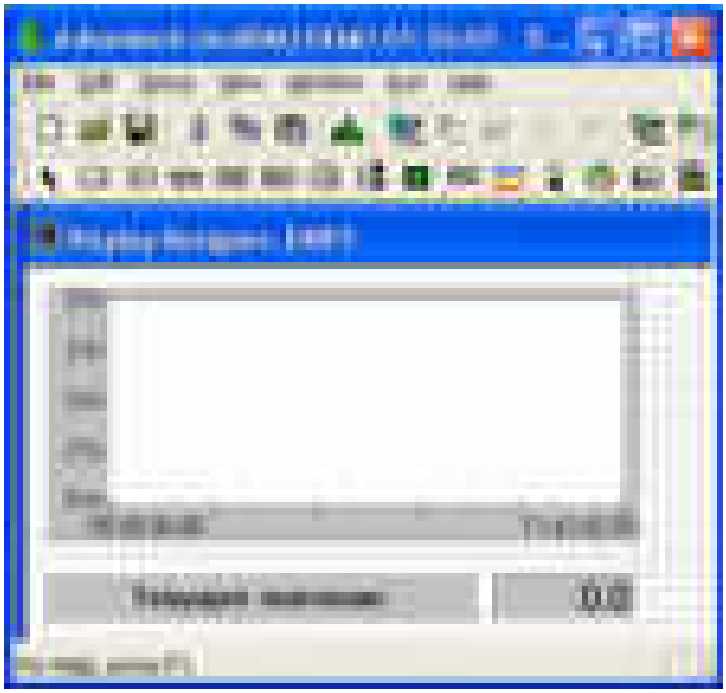


Рис. 4.123. Окно отображения

Упражнение 4.25. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 8"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 8**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

4.10. Занятие 9 "Управление несколькими задачами"

Цель занятия состоит в изучении способа *управления несколькими задачами* в рамках одной стратегии с помощью настройки параметров выполнения каждой задачи. С этой целью создаются две отдельные задачи, каждая из которых содержит блок аналогового ввода. Создается окно отображения, содержащее два элемента отображения временной график, на которые выводятся сигналы с выходов блоков аналогового ввода. Параметры каждой задачи настраиваются таким образом, чтобы они имели разные режимы выполнения.

Рис. 4.124. Конфигурирование графика времени

4.10.1. Используемый инструментарий

Новым инструментом на данном занятии является использование диалогового окна **Scan Task Setup**, с помощью которого задаются параметры запуска задачи (рис. 4.129) — интервал запуска, способ запуска и продолжительность выполнения.

4.10.2. Проектирование приложения

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение настройте в соответствии с рис. 4.130.
2. *Второе действие*. Сделайте активным окно **TASK1** редактора задач и поместите в него функциональный блок аналогового ввода. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши, поместив курсор на изображение блока аналогового ввода в окне редактора задач, и выполните его настройку на ввод информации от канала 0 программного эмулятора **Advantech DEMO I/O** в соответствии с приведенным ранее рис. 4.116. Добавьте в стратегию вторую задачу **TASK2**, для чего выполните команду **File | Add/Delete | Add Task**. Аналогичным образом поместите в него функциональный блок аналогового ввода. Произведите двойной

щелчок левой кнопкой мыши, поместив курсор на изображение блока аналогового ввода в окне редактора задач, и выполните его настройку на ввод информации от канала 1 программного эмулятора **Advantech DEMO I/O** в соответствии с рис. 4.131.

Рис. 4.125. Конфигурирование цифрового индикатора

3. *Третье действие*. Активизируйте окно редактора форм отображения. Добавьте в это окно два элемента отображения график времени и две текстовые строки (рис. 4.132). Сконфигурируйте графики времени в соответствии с рис. 4.133 и 4.134. При этом на одном из них будет отображаться информация с выхода блока аналогового ввода задачи **TASK1**, а на втором — задачи **TASK2**.
4. *Четвертое действие*. Задайте временные параметры запуска задачи **TASK1**. Сделайте активным окно задачи **TASK1**, для чего поместите курсор во внутреннюю область ее окна и произведите щелчок левой кнопкой мыши. Выполните команду **Setup | Task Properties... (Ctrl+T)** задайте параметры задачи в соответствии с рис. 4.135. Такая настройка обеспечивает запуск задачи в 16 часов 28 минут и ее выполнение в течение 15 секунд. Аналогичным образом задайте временные параметры запуска задачи **TASK2**. Сделайте активным окно задачи **TASK2**, для чего поместите курсор во внутреннюю область ее окна и произведите щелчок левой кнопкой мыши. Выполните команду **Setup | Task Properties... (Ctrl+T)**, задайте параметры задачи в соответствии с рис. 4.136. Такая настройка обеспечивает запуск задачи **TASK2** по истечении 15 секунд от момента запуска всей стратегии с ее остановкой после 10 циклов выполнения.

5. *Пятое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично тому, как это делалось на занятии 1. Для этого выполните команду **File | Save As**, в появившемся окне диалога укажите необходимую информацию и нажмите кнопку **Сохранить**. Это нужно выполнить для обоих файлов проекта с расширениями `.gni` и `.HLD`.

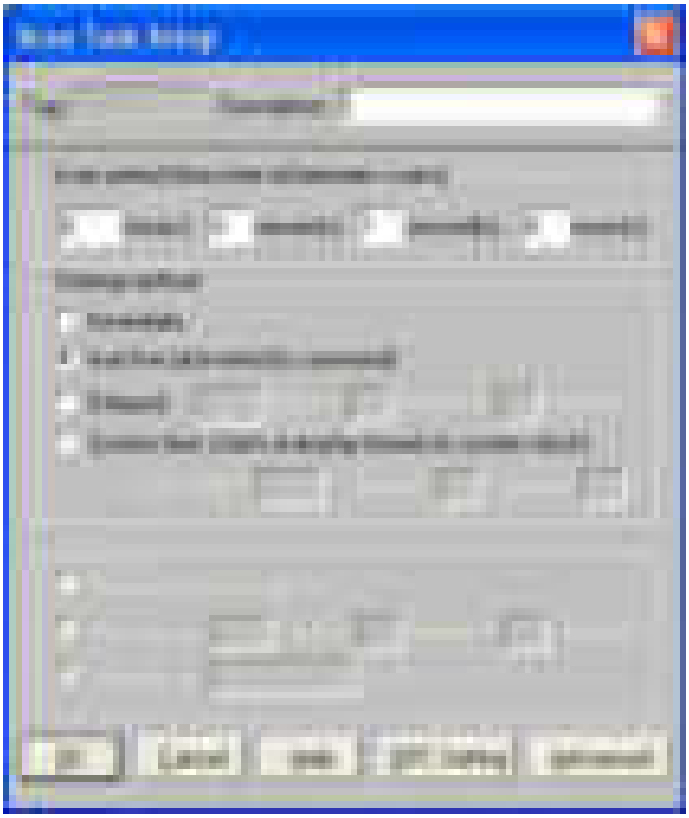


Рис. 4.126. Задание временных параметров запуска задачи

6. *Шестое действие*. После сохранения файлов созданного проекта запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.137). Обратите внимание на особенности запуска и останова задач. Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов.
7. *Седьмое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

4.10.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

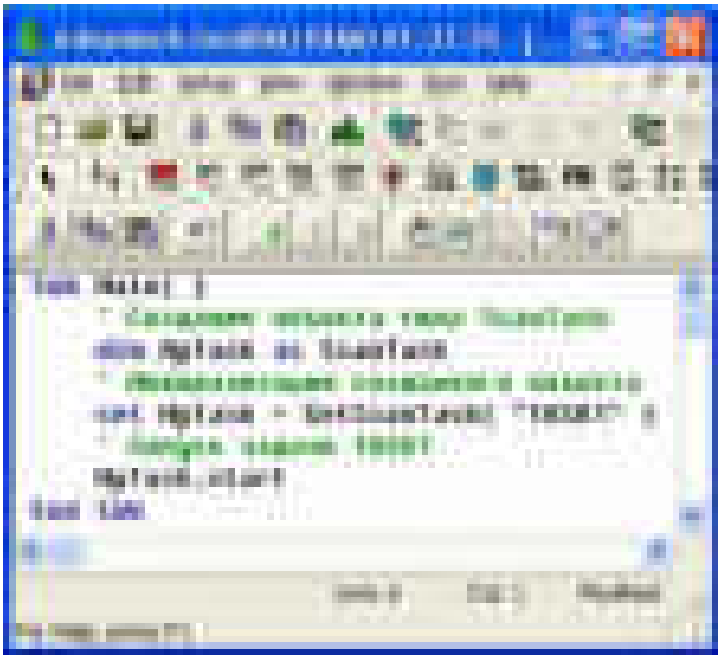


Рис. 4.127. Основной сценарий стратегии

Упражнение 4.26. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 9"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 9**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Упражнение 4.27

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Создайте две задачи. В окно редактора задач каждой из задач поместите функциональный блок аналогового ввода, использующий эмулятор гармонического сигнала и прямоугольного сигнала. Настройте параметры запуска задач таким образом, чтобы период их выполнения составлял 1 секунду, обеспечьте запуск третьей задачи с задержкой 10 секунд и ее выполнение 15 раз и пассивный запуск второй задачи с помощью главного сценария. В окно редактора форм отображения поместите два

графика и настройте их таким образом, чтобы они отображали сигналы на выходах соответствующих блоков аналогового ввода.

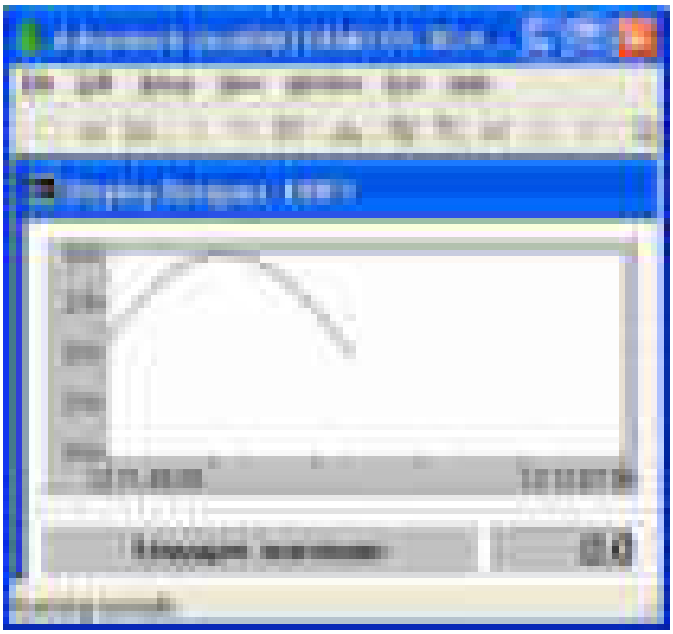


Рис. 4.128. Демонстрация работы проекта в окне отображения

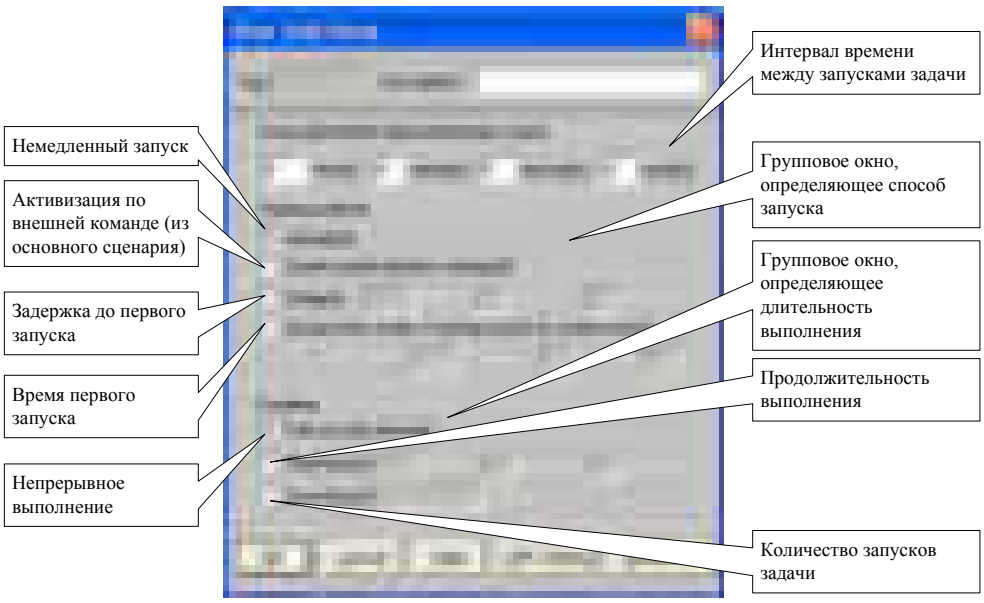


Рис. 4.129. Диалоговое окно задания параметров запуска задачи

Рис. 4.130. Диалоговое окно конфигурирования приложения

Рис. 4.131. Конфигурирование блока аналогового ввода задачи **TASK2**

Упражнение 4.28

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Создайте две задачи. В окно редактора задач каждой из задач поместите функциональный блок аналогового ввода, использующий эмулятор гармонического сигнала и прямоугольного сигнала. Настройте параметры запуска задач таким образом, чтобы период их выполнения составлял 1 секунду, обеспечьте запуск третьей задачи с задержкой 10 секунд и ее выполнение 15 раз и запуск второй задачи в заданное время и ее выполнение в течение 30 секунд. В окно редактора форм отображения поместите два графика и настройте их таким образом, чтобы они отображали сигналы на выходах соответствующих блоков аналогового ввода.

4.11. Занятие 10 "DDE-обмен с использованием блока Бейсик-сценария редактора задач"

Цель занятия состоит в изучении способа *динамического обмена данными* между созданной стратегией (источник) и внешним приложением (электронная таблица, приемник). Динамический обмен данными (DDE-обмен) реализуется с помощью функционального блока Бейсик-сценария редактора задач, предварительного и пост сценариев задачи. С этой целью в рамках стратегии создается задача, содержащая блок аналогового ввода, виртуальный тег и блок Бейсик-сценария. В папку сценария помещается файл электронной таблицы, в который созданное приложение в процессе работы выводит результаты измерений, выполненных блоком аналогового ввода. Описания функционального блока Бейсик-сценария редактора задач, предварительного и пост сценария задачи приведены в занятии 6 и разд. 4.6. Виртуальный тег описан в занятии 7.

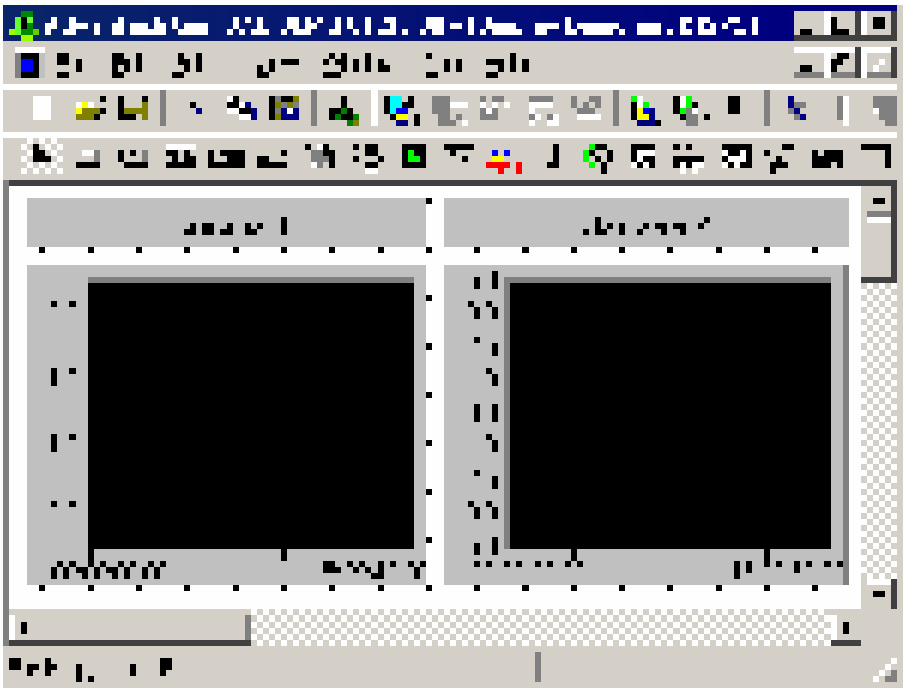


Рис. 4.132. Конфигурация окна отображения

Рис. 4.133. Конфигурация графика для блока аналогового ввода задачи **TASK1**

4.11.1. Проектирование приложения

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение назовите **Занятие 10**.
2. *Второе действие.* Сделайте активным окно **TASK1** редактора задач и поместите в него функциональные блоки аналогового ввода, тега и Бейсик-сценария. Выполните настройку блока аналогового ввода в соответствии с приведенныи ранее рис. 4.116, добавьте виртуальный тег (команда **Setup | Add/Delete Virtual Tags | Add Tag**) и настройте его в соответствии с рис. 4.138, настройте тег и блок Бейсик-сценария в соответствии с рис. 4.139 и 4.140. Полный текст функционального блока Бейсик-сценария, снабженный подробными комментариями, вполне ясен:

```
' Вывод из стратегии (приложения) в электронную таблицу с
'   использованием DDE-технологии
Sub SCR1( )
    ' Определение объектов
    Dim index As Tag
    Dim mytag As Tag
    Dim i As Integer
```

Рис. 4.134. Конфигурация графика для блока аналогового ввода задачи **TASK2**

```
' Инициализация DDE связи с электронной таблицей (Excel)
NumCan% = DDEInitiate( "Excel", "[Book1.xls]Лист1" )
' Выше:
'   использование NumCan% (уникальный номер канала)
'     эквивалентно Dim NumCan as Integer;
'   "Excel" задает приложение, с которым устанавливается
'     связь;
'   "[Book1.xls]Лист1" задает файл (Book1.xls), с
'     которым будет работать электронная таблица и его
'     текущую вкладку (Лист1)
' Получение значения объекта для виртуального тега VT1
Set index = GetTag( "VIRTASK", "VT1" )
' Получение значения объекта для функционального блока
'   аналогового ввода AI1
Set mytag = GetTag( "TASK1", "AI1" )
' Сохранение данных из AI1 в электронной таблице
DDEPoke NumCan%, "R1"+"C"+Format$( index.value ), _
    Format$( mytag.value )
' Выше:
'   Format$( index.value ), Format$( mytag.value )
'     преобразуют значение своего аргумента в строку;
```

Рис. 4.135. Конфигурирование параметров выполнения задачи **TASK1**

```
    '   "R1" задает вывод в строку 1 файла электронной
    '     таблицы (Row 1);
    '   "C"+Format$( index.value ) задает номер столбца (Col)
    '     электронной таблицы, + операция конкатенации строк;
    '   Format$( mytag.value ) задает значение, выводимое в
    '     ячейку электронной таблицы
    ' Разрыв DDE связи
    DDETerminate NumCan%
    ' Изменение значения index, определяющего номер столбца в
    '   файле электронной таблицы
    i = index.value
    If index.value >= 10 Then
        index.value = 1
    Else
        index.value = i + 1
    End If
End Sub
```

Рис. 4.136. Конфигурирование параметров выполнения задачи **TASK2**

3. *Третье действие*. Задайте временные параметры запуска задачи **TASK1**. Выполните команду **Setup |Task Properties... (Ctrl+T)** задайте параметры задачи, соответствующие умолчанию (период повторения 1 секунда).

4. *Четвертое действие*. Задайте предварительный и пост сценарии задачи в соответствии с рис. 4.122 и 4.123. Полный текст предварительного сценария задачи, снабженный подробными комментариями, также вполне ясен и приведен далее.

```
' Пост-сценарий задачи
Sub POST_TASK1( )
    ' Определение объекта
    Dim excel As Object
    ' Получение значения объекта - электронной таблицы
    Set excel = GetObject( , "Excel.Application" )
    ' Закрытие файла book1.xls с его сохранением и
    '   завершение работы электронной таблицы
    excel.Workbooks( "book1.xls" ).Close SaveChanges := True
    excel.Quit
End Sub
```

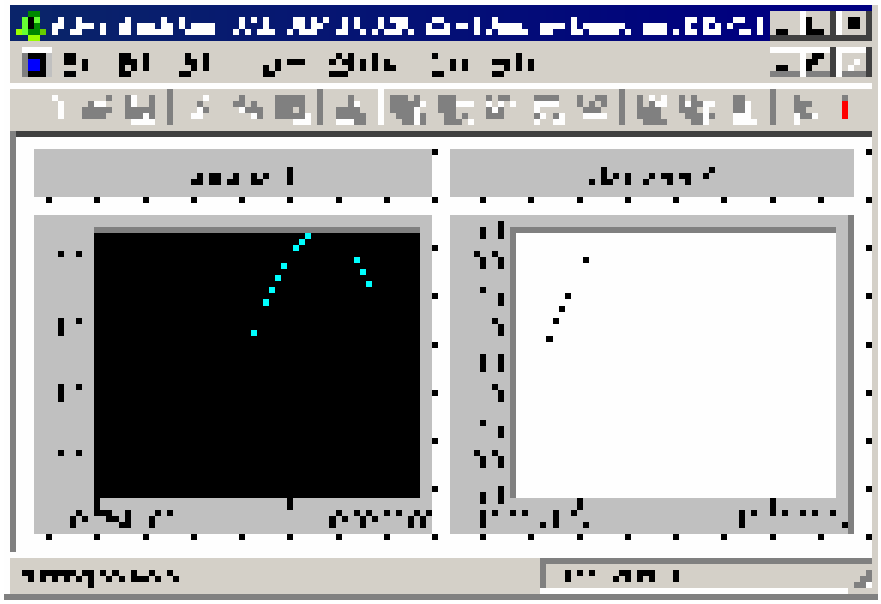


Рис. 4.137. Демонстрация работы проекта в окне отображения

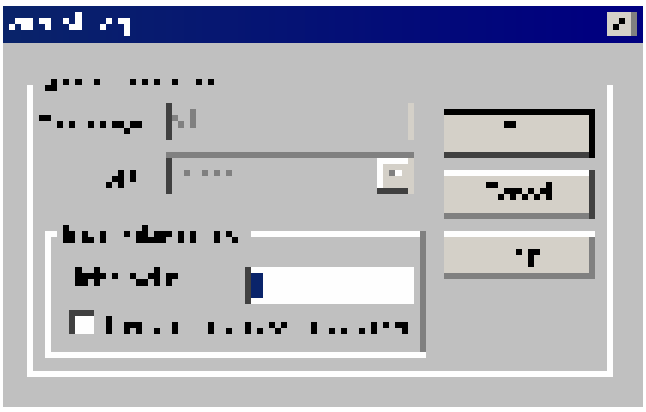


Рис. 4.138. Конфигурирование виртуального тега

5. *Пятое действие*. С помощью приложения **Microsoft Excel** создайте файл Book1.xls в папке проекта.
6. *Шестое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично тому, как это делалось на занятии 1.
7. *Седьмое действие*. После сохранения файлов созданного проекта запустите созданный проект с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 4.143). Обратите внимание на то, что первом плане отображается электронная таблица в

процессе ее заполнения. Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов, предварительно перейдя в окно SCADA системы.

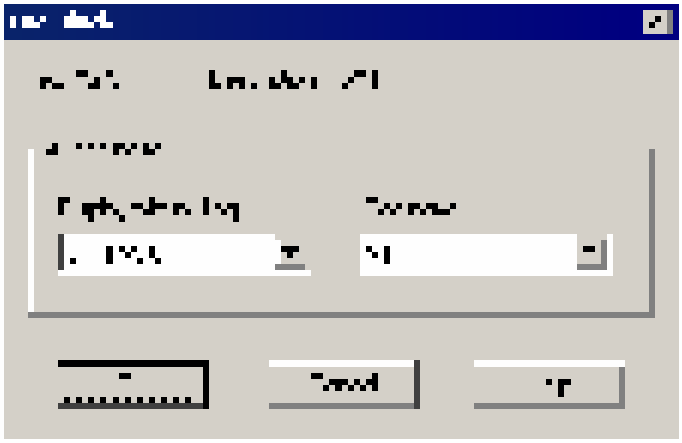


Рис. 4.139. Конфигурирование тега

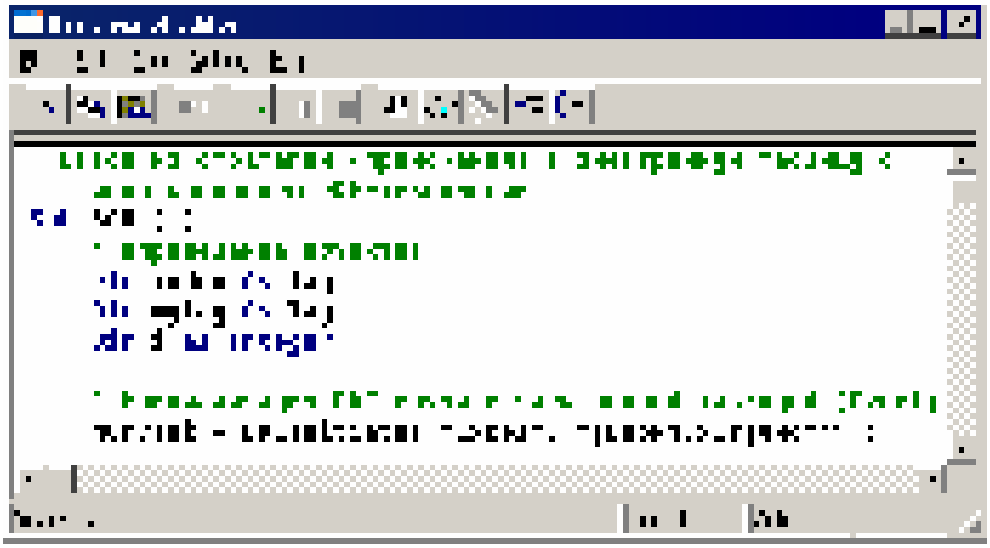


Рис. 4.140. Функциональный блок Бейсик-сценария

8. *Восьмое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

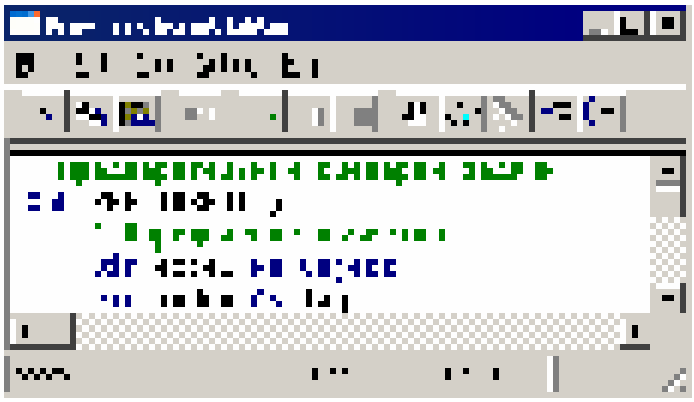


Рис. 4.141. Предварительный сценарий задачи **TASK1**

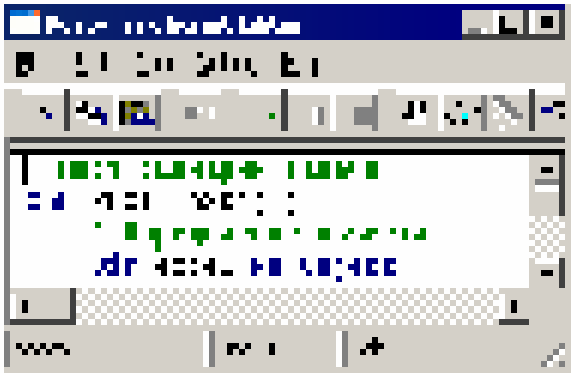


Рис. 4.142. Пост сценарий задачи **TASK1**

Рис. 4.143. Горизонтальное заполнение электронной таблицы

4.11.2. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.29. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 10"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 10**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Упражнение 4.30

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия (приложение) должна выводить в электронную таблицу (файл "Пример.xls") выходной сигнал блока аналогового ввода, использующий эмулятор пилообразного сигнала. Вывод в электронную таблицу выполнить циклически по главной диагонали (15 значений по кольцу).

Упражнение 4.31

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия (приложение) должна выводить в электронную таблицу (файл "Прямоугольник.xls") выходной сигнал блока аналогового ввода, использующий эмулятор прямоугольного сигнала. Вывод в электронную таблицу выполнить циклически по вспомогательной диагонали (12 значений по кольцу).

Упражнение 4.32

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия (приложение) должна выводить в электронную таблицу (файл "Пила.xls") выходной сигнал блока аналогового ввода, использующий эмулятор пилообразного сигнала. Вывод в электронную таблицу выполнить циклически по сторонам квадрата размером 8 по часовой стрелке.

Упражнение 4.33

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия (приложение) должна выводить в электронную таблицу (файл "Пила.xls") выходной сигнал блока аналогового ввода, использующий эмулятор гармонического сигнала. Вывод в электронную таблицу выполнить циклически по сторонам квадрата размером 10 против часовой стрелки.

4.12. Занятие 11 "Работа с таймером"

Цель занятия состоит в изучении правил работы с *таймером*. С этой целью создается стратегия, использующая *функциональные блоки таймера (***Timer***)* и *метки времени (***Time Stamp***)* редактора задач.

4.12.1. Используемый инструментарий

Новыми инструментами на данном занятии являются функциональные блоки таймера и метки времени.

Функциональный блок таймера редактора задач предназначен для реализации таймеров различных типов и имеет вход сброса. Таймер может выполнять функции формирования абсолютных или относительных временных интервалов с разрешением 0.1 секунды или 1 секунда. Цикл таймера до сброса с последующим возобновлением работы может составлять от 1 минуты до 1 года. Содержимое таймера (относительное или абсолютное время) может быть передано другому функциональному блоку стратегии. Выходное значение блока таймера представляется в виде длинного целого значения в диапазоне от 0 до 4294967295. Данный блок является весьма удобным средством для реализации различных алгоритмов управления, выполнение которых основывается на интервалах времени. Диалоговое окно настройки параметров блока показано на рис. 4.144. Единицы, в которых выражается значение на выходе блока таймера, могут быть выбраны с помощью переключателя *разрешающая способность* (**Resolution**). Таким образом, разрешающая способность таймера может составлять 1 тик (0.1 секунды) или 1 секунда. Получение более высокого разрешения в рамках операционной системы Windows представляется весьма трудной задачей. Цикличность (периодичность) работы таймера может быть выбрана с помощью переключателя *цикл* (**Cycle**) диалогового окна настройки параметров блока. По истечении периода времени, выбранного с помощью указанного переключателя, содержимое таймера сбрасывается в ноль и работа таймера возобновляется. Например, если выбран цикл, равный 1 минуте (**By minute**), а разрешение (**Resolution**) — 1 секунда, то содержимое таймера в каждом цикле будет увеличиваться от 0 до 59 с последующим возобновлением. Данная функция блока таймера в текущей версии пакета работает только при использовании разрешающей способности, равной 1 секунде. Содержимое блока таймера может быть сброшено в 0 в процессе его работы путем подачи на вход блока дискретного сигнала с уровнем логической единицы. Для возобновления работы таймера следует подать на вход блока дискретный сигнал с уровнем логического нуля.

При использовании таймера, отсчитывающего абсолютное время (переключатель *тип таймера* — **Timer type** — установлен в положение *прошедшее время* — **Elapsed time**), после запуска стратегии на исполнение алгоритм работы таймера объясняется следующим примером. Если разрешающая способность таймера составляет 1 секунду, а в качестве цикла таймера выбрана 1 минута, то при запуске стратегии на исполнение в 11:23:17 (по часам реального времени компьютера) работа таймера начнется со значения, равного 17, и будет продолжаться 59 секунд последующим сбросом и дальнейшим возобновлением работы. Нулевые начальные значения содержимого таймера при использовании указанного режима работы приведены в табл. 4.19.

Рис. 4.144. Диалоговое окно для конфигурирования функционального блока таймера

Таблица 4.19. *Нулевые начальные значения функционального блока таймера*

Цикл таймера	**Значение системного времени для нулевого начального содержимого таймера**
Год (yearly)	00:00:00, 1 января каждого года
Месяц (monthly)	00:00:00, в первый день каждого месяца
Неделя (weekly)	00:00:00, в воскресенье каждой недели
Сутки (daily)	00:00:00, в начале каждых суток
Час (hourly)	Каждый час
Минута (by minute)	Каждую минуту

Таким образом, имеется возможность вычисления текущего времени. Например, таймер с циклом *неделя* и разрешением 1 секунда при запуске стратегии в 0:00 в понедельник будет иметь начальное содержимое, равное 86400, а в полдень (12:00) пятницы его содержимое увеличится до 518400. В результате появляется возможность автоматического отключения какой-либо единицы контролируемого оборудования в течение выходных. Блок таймера имеет один дискретный вход, предназначенный для сброса содержимого таймера с последующим возобновлением

его работы, и один выход, по которому выводится абсолютное или относительное значение времени (длинного целого типа) в заданных единицах разрешения таймера.

Функциональный блок метка времени имеет единственный выход, присоединение которого к элементу отображения или блоку архивации данных позволяет получать значение системного времени в виде строки символов. Имеется возможность использования различных форматов представления системного времени (рис. 4.145).

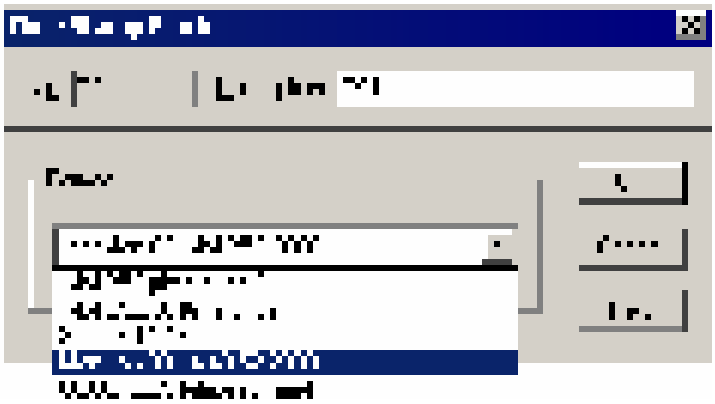


Рис. 4.145. Диалоговое окно для конфигурирования *метки времени*

Входная связь блока отсутствует — при попытке присоединения к блоку метки времени проводника от другого функционального блока на экран монитора будет выведено сообщение **Вход недоступен** (**Cannot accept input**). Выходная связь блока позволяет передавать другим функциональным блокам стратегии значение системного времени в виде строки символов или в ином формате (рис. 4.146).

4.12.2. Проектирование приложения

1. Выполните *первое действие* из занятия 1. Создаваемое приложение назовите **Занятие 11**.
2. *Второе действие.* Сделайте активным окно редактора задач и поместите в него функциональные блоки таймера, реализации простой операции деления, Бейсик-сценария и метки времени, соединив их в соответствии с рис. 4.129. Настройте функциональные блоки в соответствии с рис. 4.144, 4.148 — 4.153 и 4.145. Такая настройка блоков обеспечивает на выходе блока деления **SOC1** значение текущего часа, на выходе **SOC2** — текущей минуты, на выходе **ET3** — текущей секунды, а на выходе **ET4** — текущего тика текущей секунды.
3. *Третье действие.* Активизируйте окно редактора форм отображения. Добавьте в это окно элементы отображения в соответствии с рис. 4.154. Сконфигурируйте их в соответствии с рис. 4.155 — 4.159.

Рис. 4.146. Форматы выдачи информации из блока метки времени в другие блоки

4. *Четвертое действие*. Задайте временные параметры запуска задачи — непрерывный режим работы с периодом перезапуска 100 миллисекунд.
5. *Пятое действие*. Сохраните созданный проект (стратегию) аналогично тому, как это делалось на занятии 1.
6. *Шестое действие*. После сохранения файлов созданного проекта запустите созданный проект с помощью кнопки <*Start*> на панели инструментов (рис. 4.160). Остановить работу проекта можно с помощью кнопки <*Stop*> на панели инструментов.
7. *Седьмое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.

4.11.2. Упражнения

> ***Совет***
> Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.34. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 11"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 11**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

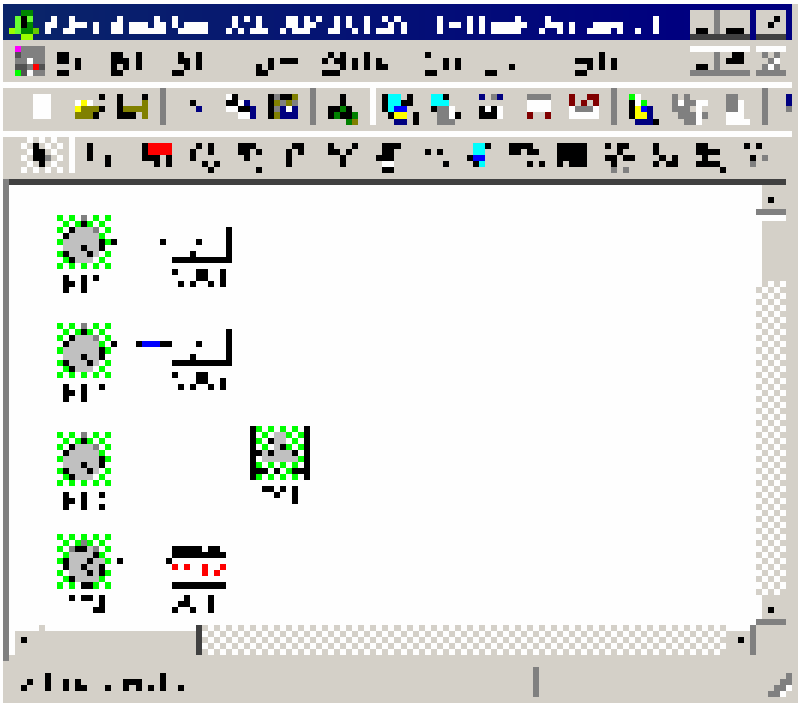


Рис. 4.147. Окно редактора задач с функциональными блоками

Рис. 4.148. Конфигурирование блока деления **SOS1**

Рис. 4.149. Конфигурирование блока таймера **ET2**

Рис. 4.150. Конфигурирование блока таймера **ET3**

Упражнение 4.35

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия должна реализовать секундомер (секунды-десятые доли секунды). При нажатии

кнопки секундомер запускается, а при нажатии другой — фиксируется. Повторное нажатие кнопки сбрасывает показание, вновь запускает секундомер и т. д.

Рис. 4.151. Конфигурирование блока таймера **ET4**

Упражнение 4.36

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия должна реализовать секундомер (секунды-десятые доли секунды). При нажатии кнопки секундомер запускается, а при ее отжатии — фиксируется. Сброс показания секундомера — от отдельной кнопки.

Упражнение 4.37

Разработайте стратегию, обладающую следующими возможностями. Стратегия должна реализовать секундомер (секунды-десятые доли секунды). При нажатии кнопки секундомер запускается, а при ее отжатии — фиксируется. Использовать один цифровой индикатор.

Замечание

В следующей далее главе приводится методика информационной интеграции SCADA-системы GeniDAQ и промышленного контроллера, базирующаяся на использовании OPC-стандарта. В качестве промышленного контроллера используется контроллер типа **7188E2 фирмы ICP DAS (Тайвань)**, содержащий устройства связи с объектом (УСО), а в качестве OPC-сервера рассматривается OPC-сервер **OpenLabOPCSvr.AiVT.2**, разработанный на кафедре автоматики и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета с участием автора. Изложенная методика интересна тем, что может быть использована для информационной связи SCADA-системы GeniDAQ и имеющегося в распоряжении любого другого промышленного контроллера, снабженного OPC-сервером. Другой

пример информационной интеграции SCADA-системы **Vijeo Citect** (компаний Citect, Австралия и Schneider Electric, Франция) и промышленного контроллера **Twido** (Schneider Electric), снабженного групповым OPC-сервером **OPC Factory Server** (Schneider Electric), рассматривается далее во второй части учебного пособия.

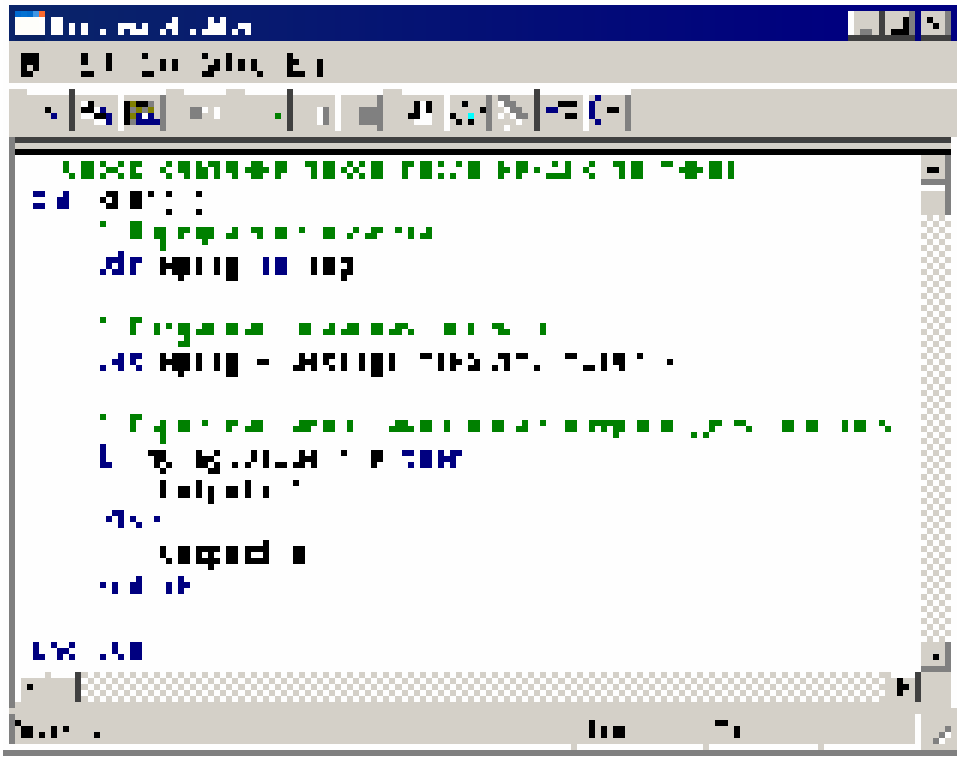


Рис. 4.152. Конфигурирование блока Бейсик-сценария

Глава 5. OPC-технология информационной интеграции SCADA-системы и промышленного контроллера

В главе последовательно приводится краткое описание промышленного контроллера **7188E2 фирмы ICP DAS (Тайвань)**, рассматриваются интерфейс OPC-сервера **OpenLabOPCSvr.AiVT.2** и его конфигурирование, настройка компьютеров локальной вычислительной сети и методика информационного обмена между функциональными блоками SCADA-системы и промышленного контроллера.

Рис. 4.153. Конфигурирование блока деления **SOS2**

5.1. Промышленный контроллер 7188E2 фирмы ICP DAS (Тайвань)

Промышленный контроллер типа 7188E2 фирмы ICP DAS (Тайвань) используется для взаимодействия с объектами управления и содержит устройства ввода-вывода аналоговой и дискретной информации. В настоящее время большинство новых моделей производимых контроллеров снабжено интерфейсным выходом на Ethernet. К подобным контроллерам обычно присоединяются пассивные модули ввода/вывода. Обращение из host-компьютера к модулям ввода/вывода происходит косвенно через контроллер. Именно такая конфигурация используется в рассматриваемом случае в качестве одного из возможных решений (рис. 5.1).

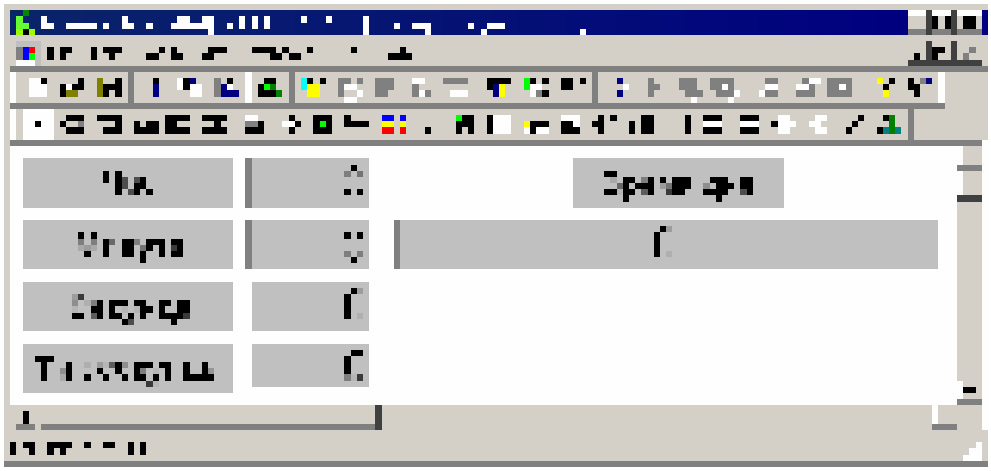


Рис. 4.154. Конфигурация окна отображения

Рис. 4.155. Конфигурация цифрового индикатора для блока **SOS1**

Промышленный контроллер подсоединяется к host-компьютеру через выход Ethernet компьютера. В сети содержатся два восьмиканальных *модуля аналогового ввода I-7017* (±10 В), два четырехканальных *модуля аналогового вывода I-7024* (±10 В) и один *модуль дискретного ввода/вывода I-7050* с семью входами, восемью выходами и семью счетчиками для дискретных входов.

Рис. 4.156. Конфигурация цифрового индикатора для блока **SOS2**

Рис. 4.157. Конфигурация цифрового индикатора для блока **ET3**

Рис. 4.158. Конфигурация цифрового индикатора для блока **ET4**

Рис. 4.159. Конфигурация цифрового индикатора для блока **TS1**

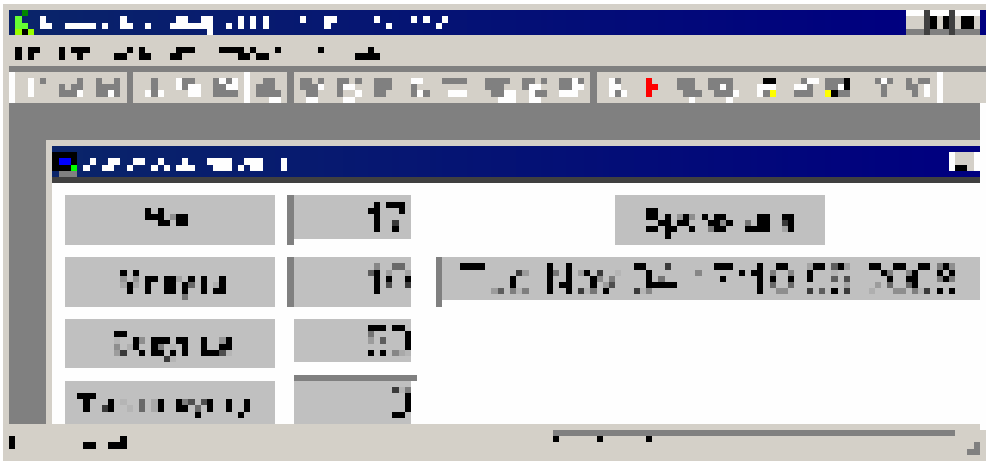


Рис. 4.160. Вид окна отображения при работе приложения

Каждый модуль имеет уникальный адрес (см. рис. 5.1). Для обеспечения доступа к контроллеру используется сервер VxComm, который создает в host-компьютере множество виртуальных COM-портов. Запросы ввода/вывода от OPC-сервера по интерфейсу RS-232 поступают в сервер VxComm и сервер, в свою очередь, преобразует сообщения RS-232 в пакеты TCP/IP и передает контроллеру 7188E2. При этом программисту нет необходимости программировать обмен по сети, например, знать протокол TCP/IP. Ему надо владеть лишь традиционным протоколом RS-232 и обладать навыками традиционного программирования в области промышленной автоматизации. Время доступа к данным контроллера и каналам ввода/вывода определяется скоростью передачи данных используемого виртуального COM-порта. Промышленный контроллер обладает следующими техническими характеристиками.

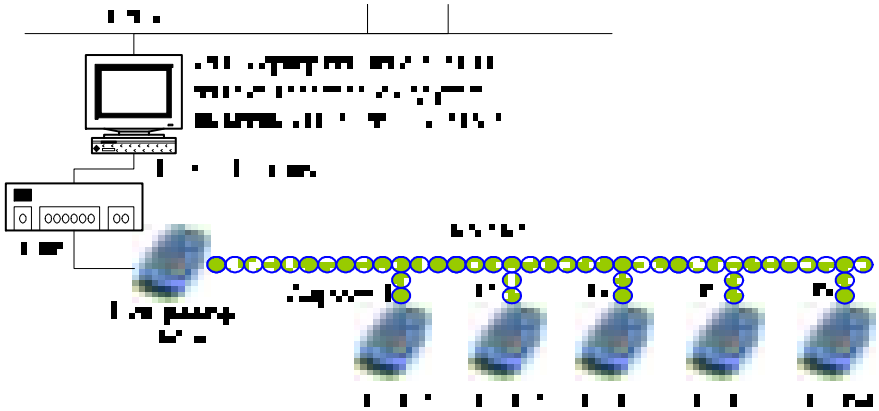


Рис. 5.1. Физическая структура системы мониторинга и управления модулями ввода-вывода промышленного контроллера типа 7188E2 фирмы ICP DAS

Процессор AMD80188ES с тактовой частотой 40 МГц. Операционная система реального времени MiniOS7, разработанная специально для контроллеров. Из нее исключены неиспользуемые для контроллеров функции, упрощена файловая система, добавлена поддержка модулей ввода-вывода и слотов расширения, устройств дополнительной памяти, функций самодиагностики, управления Flash-ROM, ускорена процедура загрузки и др. Flash-память и RAM-память по 256 Ком. Имеются встроенные часы реального времени и двойной сторожевой таймер.

Модуль ввода аналоговых сигналов I-7017 имеет восемь входных канала ±10 Вольт, 16 разрядов, скорость опроса 10 сигналов в секунду. В составе контроллера используются два модуля.

Модуль вывода аналоговых сигналов I-7024 имеет четыре выходных канала ±10 Вольт, 12 разрядов, скорость опроса 10 сигналов в секунду. В составе контроллера используются два модуля.

Модуль дискретного ввода-вывода I-7050 имеет семь входных канала для сигналов *TTL*-уровня (логический 0 соответствует диапазону 0-1 Вольт, логическая 1 – диапазону 3.5-30 Вольт), семь счетчиков для входных сигналов (входная частота до 100 Гц) и восемь выходных каналов с открытым коллектором (30 Вольт, 30 мА). Скорость опроса 10 сигналов в секунду. В составе контроллера используется один модуль.

5.2. Интерфейс OPC-сервера OpenLabOPCSvr.AiVT.2 и его конфигурирование

После включения компьютера, на котором реализован OPC-сервер, и промышленного контроллера на экране компьютера появляется запрос на ввод атрибутов пользователя (имя, пароль, права администратора), которые следует получить от преподавателя. Для запуска OPC-сервера с подключенным эмулятором тестовых сигналов достаточно запустить файл Системный диск\Program Files\ OpenLabOPCSvr_7188E&Emulator\OpenLabOPCSvr.exe. Для этой цели удобнее всего воспользоваться ярлыком **7188E2&Emulator**, который следует предварительно разместить на рабочем столе. В результате этого на экране появляется окно, представленное на рис. 5.2.

В этом окне на переднем плане появляется диалоговое окно, информирующее о способе задания параметров эмулируемых сигналов. Нажмите в диалоговом окне кнопку **OK**.

Для управления работой и конфигурирования OPC-сервера и эмулятора тестовых сигналов в окне, представленном на рис. 5.2, имеется строка меню и панель инструментов. По умолчанию, в левом поле окна выбран эмулятор тестовых сигналов **Emulator**, а в правом поле отображается информация о составе и параметрах тестовых сигналов. Если в левом поле выбрать контроллер **7188E2** и нажать кнопку **Monitoring** на панели инструментов, то в правом поле будет отображена информация об уже сконфигурированных тегах контроллера (рис. 5.3).

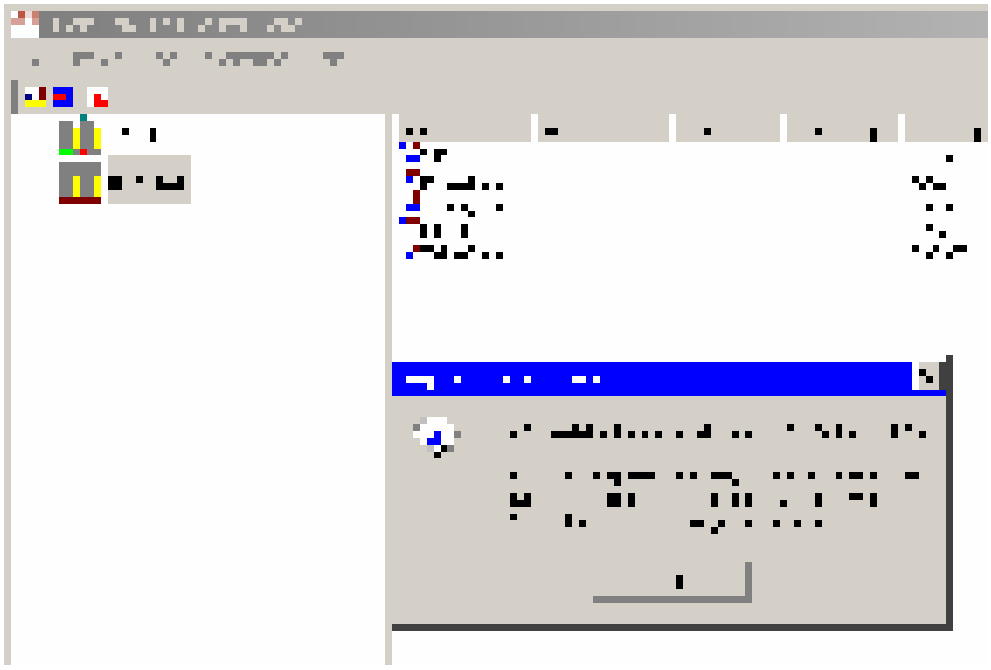


Рис. 5.2. Вид окна после запуска OPC-сервера **OpenLabOPCSvr.AiVT.2** с эмулятором тестовых сигналов

Интерфейс OPC-сервера с эмулятором представлен строкой меню с пятью меню, панелью инструментов с тремя кнопками, двумя названными ранее окнами и строкой состояния (статуса). Меню **File** содержит команды **Open Config** (акселератор **Ctrl+O**) — выбор и загрузка из файла ранее созданной конфигурации, **Save Config** (акселератор **Ctrl+S**) — сохранение в файле текущей конфигурации, **Exit** — завершение работы сервера. Меню **Device** содержит команды **Load New Device** (акселератор **Ctrl+L**, кнопка **New Device** на панели инструментов) — создание нового устройства, **Modify Device** (акселератор **Ctrl+M**) — модификация выбранного устройства, **Unload Device** (акселератор **Ctrl+U**) — удаление из конфигурации выбранного устройства. На приведенном ранее рис. 5.3 текущая конфигурация содержит устройства **7188E2** (контроллер) и **Emulator**. Меню **Tag** содержит команды **Add New Tag** (акселератор **Ctrl+A**, кнопка **New Tag** на панели инструментов) — добавление в устройство нового тега, **Modify Tag** (акселератор **Ctrl+F**) — модификация выбранного тега, **Delete Tag** (акселератор **Del**) — удаление из конфигурации выбранного тега. С помощью команды **Tag | Modify Tag** можно модифицировать тестовый сигнал эмулятора. Например, если выбрать тестовый сигнал **Sin**, и выполнить для него команду **Tag | Modify Tag** и нажать кнопку **OK**, то появится диалоговое окно, представленное на рис. 5.4.

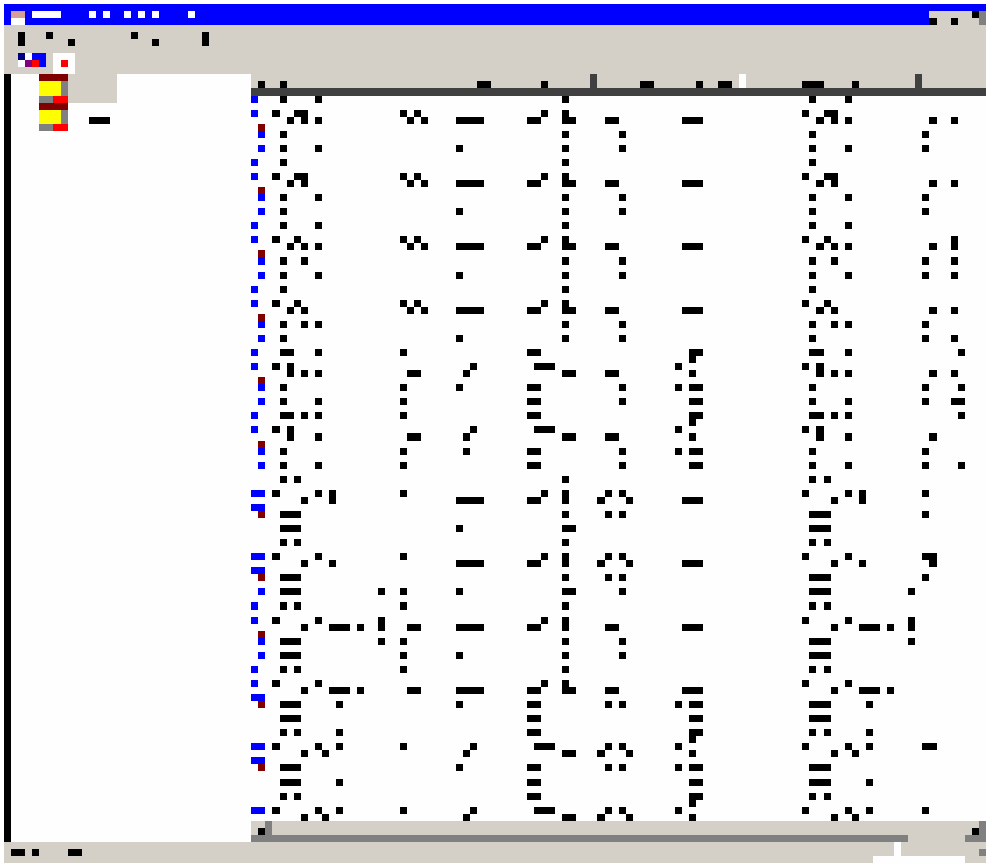


Рис. 5.3. Мониторинг сконфигурированных тегов контроллера

В этом окне можно посмотреть текущие значения параметров тестового сигнала или изменить их. Для выхода из диалогового окна следует нажать кнопку **OK**. Меню **Monitoring** содержит команды **Toolbar** — отображение или скрытие панели инструментов, **Status Bar** — отображение или скрытие строки состояния (статуса), **Tag Monitoring** (кнопка **Monitoring**) — мониторинг тегов выбранного устройства. И, наконец, команда **Help | About OPC Server…** с помощью диалогового окна отображает информацию об OPC-сервере.

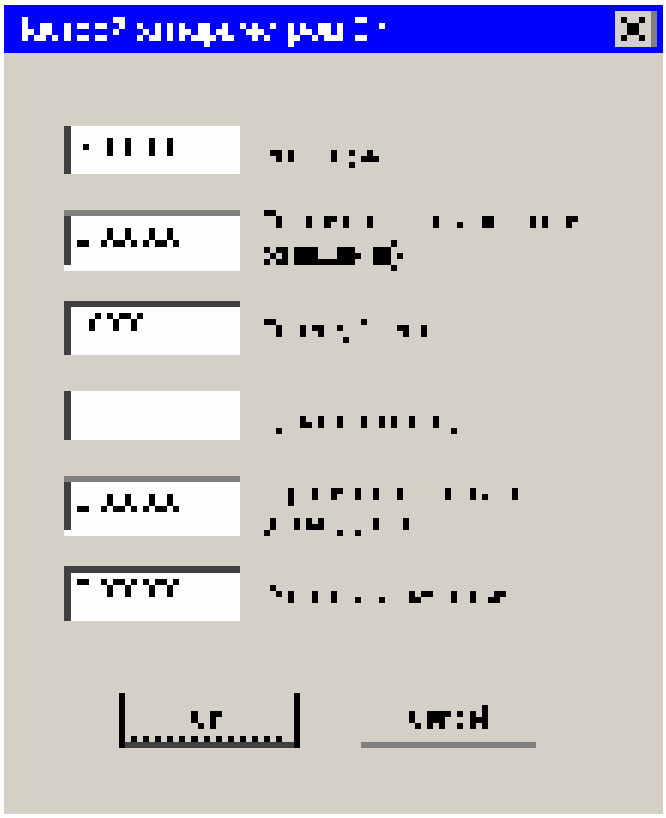


Рис. 5.4. Модификация тестового сигнала **Sin** эмулятора

5.3. Настройка компьютеров локальной вычислительной сети

Для обеспечения доступа к OPC-серверу из любого компьютера локальной вычислительной сети следует выполнить дополнительную настройку компьютеров, которая несколько отличается для различных операционных систем.

5.3.1. Настройка ОС Windows2000 для работы с OPC-серверами (на примере OPC-сервера OpenLabOPCSvr.AiVT.2)

1. При регистрации входа на компьютере *обязательно* используйте имя пользователя и пароль как у компьютера, на котором работает OPC-сервер, и с правами администратора.

2. В папке **..\Program Files** создайте папку **OpenLabOPCSvr** (можно использовать и другое имя папки, но лучше, чтобы имя папки совпадало с именем OPC-сервера). Из ЭВМ, где работает OPC-сервер (пусть, например, такой компьютер имеет имя **Comp1_2003**) из аналогичной папки в созданную папку копируем файлы **OPCProxy.dll** и **Setup.reg**.
3. Запустите на выполнение скопированный файл **Setup.reg**. В появляющихся дважды диалоговых окнах нажмите кнопку **OK**.
4. Зарегистрируйте **OPCProxy**, для чего в командной строке выполните команду

```
regsvr32  OPCProxy.dll
```

В появившемся диалоговом окне нажмите кнопку **OK**.

5. Сконфигурируйте DCOM. С этой целью выполните команду **Пуск | Выполнить...**, в появившемся диалоговом окне (рис. 5.5) введите **dcomcnfg** и нажмите кнопку **OK**. В ответ на появившийся запрос нажмите кнопку **Да**.

Рис. 5.5. Конфигурирование **DCOM**

6. В появившемся диалоговом окне (рис. 5.6) выберите OPC-сервер (в нашем примере это **Opened Lab OPC Server**) и нажмите кнопку **Свойства...**
7. В появившемся диалоговом окне выберите вкладку **Свойства** и настройте ее в соответствии с рис. 5.7. Здесь, в качестве примера, **Comp1_2003** является именем компьютера, на котором работает OPC-сервер. После настройки дважды нажмите кнопку **ОК**.

5.3.2. Настройка ОС Windows XP для работы с OPC-серверами (на примере OPC-сервера OpenLabOPCSvr.AiVT.2)

1. При регистации входа на компьютере *обязательно* используйте имя пользователя и пароль как у компьютера, на котором работает OPC-сервер, и с правами администратора.

Рис. 5.6. Выбор OPC-сервера

2. В папке **..\Program Files** создайте папку **OpenLabOPCSvr** (можно использовать и другое имя папки, но лучше, чтобы имя папки совпадало с именем OPC-сервера). Из ЭВМ, где работает OPC-сервер (пусть, например, такой компьютер имеет имя **Comp1_2003**) из аналогичной папки в созданную папку копируем файлы **OPCProxy.dll** и **Setup.reg**.
3. Запустите на выполнение скопированный файл **Setup.reg**. В появляющихся дважды диалоговых окнах нажмите кнопку **OK**.
4. Зарегистрируйте **OPCProxy**, для чего в командной строке выполните команду

```
regsvr32  OPCProxy.dll
```

В появившемся диалоговом окне нажмите кнопку **OK**.

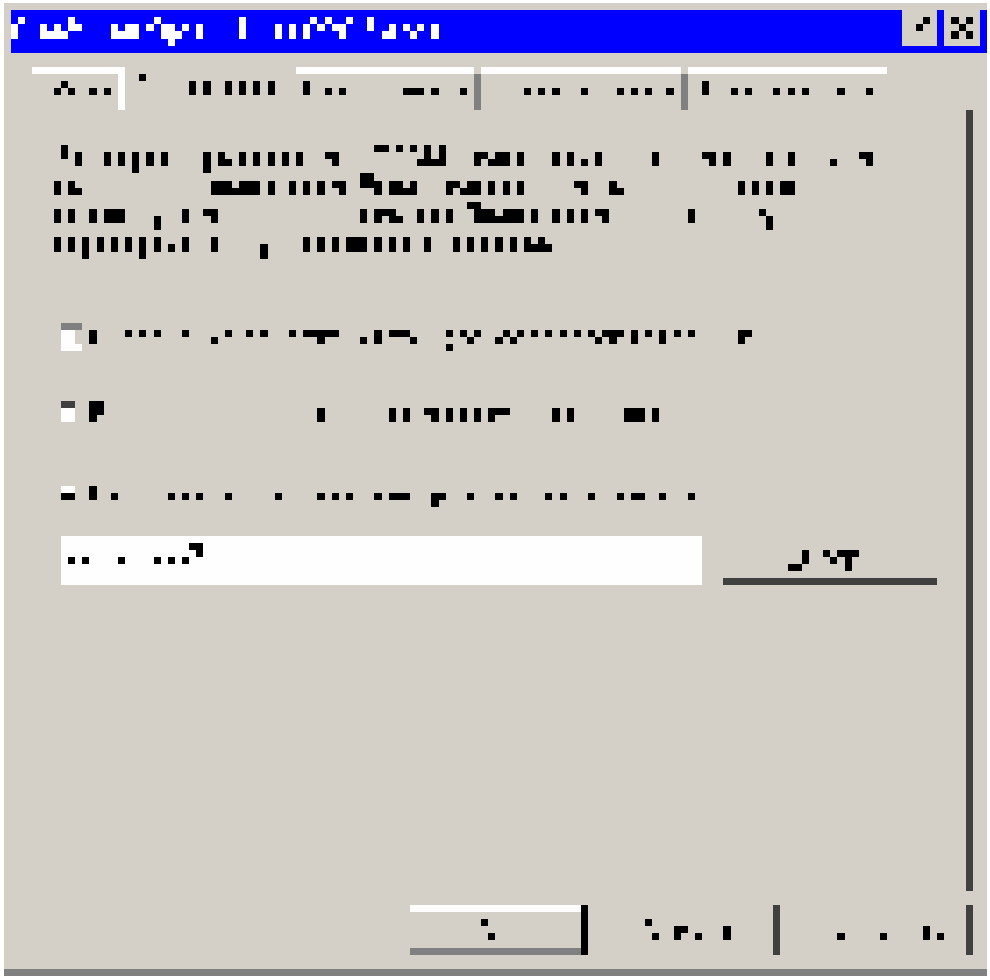


Рис. 5.7. Указание размещения OPC-сервера

5. Для выбранного сервера правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню, выполните команду **Свойства**, в появившемся окне **Свойства** выберите вкладку **Расположение** и настройте ее в соответствии с рис. 5.9. Здесь, в качестве примера, **Comp1_2003** является именем компьютера, на котором работает OPC-сервер. После настройки дважды нажмите кнопку **ОК**.
6. Сконфигурируйте DCOM. С этой целью выполните команду **Пуск | Выполнить...**, в появившемся диалоговом окне (см. приведенный ранее рис. 5.5) введите **dcomcnfg** и нажмите кнопку **OK**.

7. В появившемся диалоговом окне **Службы компонентов** откройте последовательно кнопки **Службы компонентов**, **Компьютеры**, **Мой компьютер**, **Настройка DCOM** и выберите OPC-сервер (рис. 5.8, в нашем примере это **Opened Lab OPC Server**).

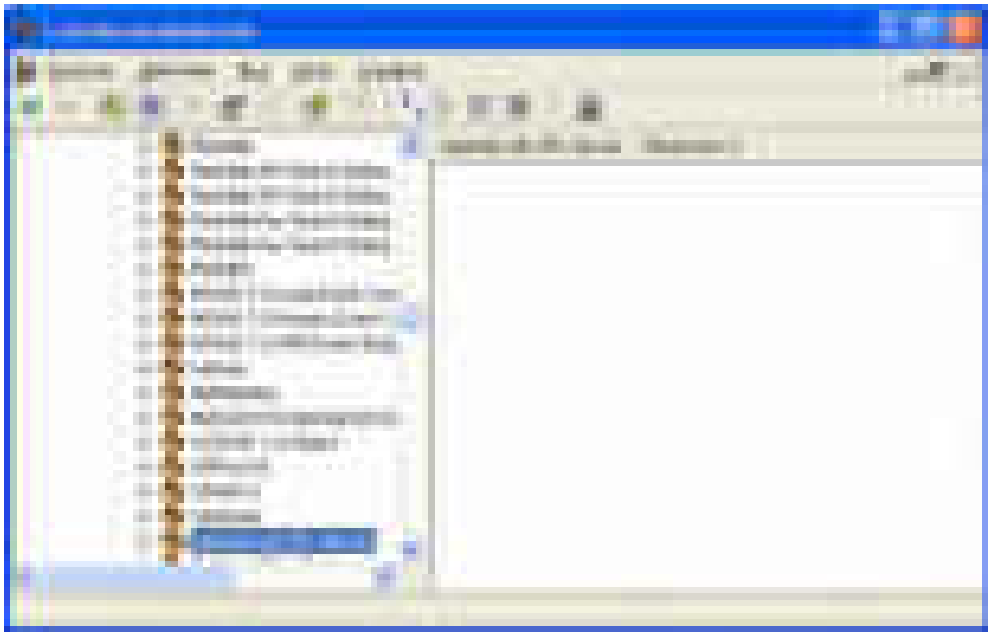


Рис. 5.8. Выбор OPC-сервера

8. Установите низкий уровень безопасности, для чего выполните команду **Пуск | Настройка | Панель управления | Брандмауэр Windows | Вкладка Общие** и выберите радиокнопку **Выключить**.

5.4. Занятие 12 "Информационный обмен между SCADA-системой и промышленным контроллером"

Цель занятия состоит в демонстрации средств, предоставляемых GeniDAQ, для ввода-вывода аналоговой и дискретной информации в реальном масштабе времени и ее отображения. В отличие от занятия 1 вместо программного эмулятора сигналов **Advantech I/O** используется OPC-сервер (**OpenLabOPCSvr.AiVT.2**), блоки аналогового и дискретного ввода-вывода и различные индикаторы.

Рис. 5.9. Указание размещения OPC-сервера

5.4.1. Используемый инструментарий

Новыми инструментами, используемыми на данном занятии, являются блок аналогового вывода (редактор задач); блок дискретного ввода (редактор задач); блок дискретного вывода (редактор задач); OPC-сервер (рассмотрен ранее в начале главы); промышленный контроллер типа 7188E2 фирмы ICP DAS, содержащий УСО (рассмотрен ранее в начале главы); аналоговые вычислительные комплексы АВК-31, используемые для имитации аналоговых сигналов и моделирования объектов управления; имитатор для получения входных дискретных сигналов и приема выходных дискретных сигналов.

Блок аналогового вывода предназначен для передачи информации, получаемой от других функциональных блоков, элементов отображения или других приложений

Windows с использованием технологии COM/DCOM, устройствам, имеющим подсистему вывода аналоговых сигналов. Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме **AO** блока аналогового вывода приводит к появлению диалогового окна для настройки параметров блока (рис. 5.10). Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров блока аналогового вывода будут рассмотрены далее.

Блок дискретного ввода предназначен для приема информации, в том числе с использованием технологии COM/DCOM, от устройств, имеющих подсистему ввода дискретных сигналов, и передачи указанных сигналов другим функциональным блокам и элементам отображения. Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме **DI** блока дискретного ввода приводит к появлению окна диалогового окна для настройки параметров блока (рис. 5.11). Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров блока дискретного ввода будут рассмотрены далее.

Блок дискретного вывода предназначен для передачи информации, получаемой от других функциональных блоков, элементов отображения или других приложений Windows с использованием технологии COM/DCOM, устройствам, имеющим подсистему вывода дискретных сигналов. Двойной щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме **DO** блока дискретного вывода приводит к появлению диалогового окна для настройки параметров блока (рис. 5.12). Информацию о параметрах настройки этого окна можно получить с помощью кнопки **Help**. Конкретные настройки параметров блока дискретного вывода будут рассмотрены далее.

Соединитель блоков (проводник). В учебных примерах, рассмотренных ранее, вы уже неоднократно пользовались проводником. Соберем воедино все, что мы знаем об этом блоке. Пиктограмма этого инструмента, предназначенного для установления видимых связей между пиктограммами функциональных блоков задачи, расположена второй слева на панели инструментов редактора задач (см. приведенный ранее рис. 4.1). При выборе данного инструмента активизируется режим установления связей между функциональными блоками редактора задач и курсор мыши принимает вид катушки с нитками. Соединение функциональных блоков в рамках задачи является основным типом организации взаимодействия между блоками. Для соединения двух блоков следует поместить курсор в виде катушки с нитками на пиктограмму блока, данные которого предполагается передать в другой блок, и щелкнуть левой клавишей мыши.

Если блок, являющийся источником данных для второго блока, имеет несколько выходов, то в появившейся диалоговой панели со списком всех выходов блока потребуется выбрать номер соединяемого выхода. Далее необходимо поместить курсор на пиктограмму функционального блока, являющегося приемником данных и произвести щелчок левой клавишей мыши.

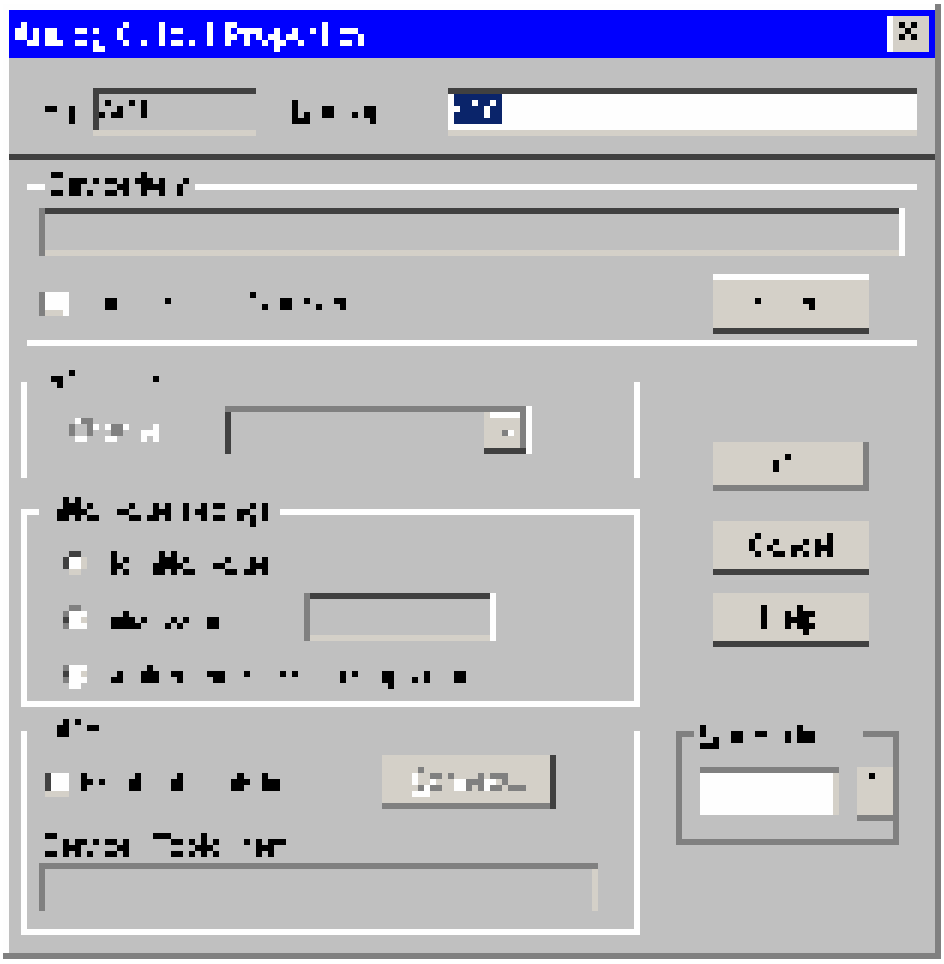


Рис. 5.10. Диалоговое окно настройки блока аналогового вывода

Если блок, являющийся приемником данных, имеет несколько входов, то в появившейся диалоговой панели со списком всех входов блока потребуется выбрать номер соединяемого входа. Если графическое изображение устанавливаемого соединения необходимо выполнить в виде ломаной линии, то для фиксации каждого отрезка ломаной следует производить щелчок левой клавишей мыши в точке, которая должна служить началом очередного отрезка ломаной. В зависимости от того, на каком блоке был произведен первый щелчок левой клавишей мыши при установлении связи, информационный поток через установленную логическую связь будет различным. Например, если требуется установить связь между блоком аналогового ввода и блоком усреднения, следует сначала произвести щелчок левой клавишей мыши на пиктограмме блока аналогового ввода, а затем на пиктограмме блока усреднения.

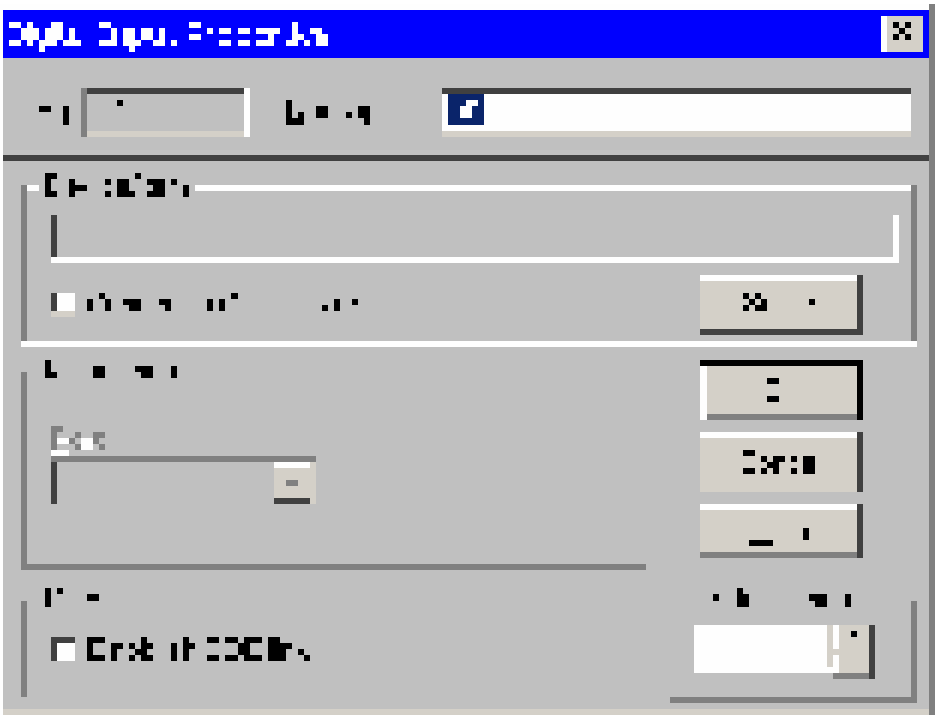


Рис. 5.11. Диалоговое окно настройки блока дискретного ввода

При этом место присоединения проводника к пиктограмме блока усреднения будет отмечено стрелкой, направленной в сторону блока усреднения. Направление стрелки указывает, что значение с выхода функционального блока аналогового ввода поступает на вход блока усреднения. Некоторые блоки допускают передачу данных только в одном направлении. Обратите внимание, что при попытке установления связи между блоком аналогового ввода и блоком ввода данных из файла на экран монитора будет выведено сообщение "Вход недоступен". Блок ввода данных из файла имеет только выходные каналы и не позволяет принимать данные.

Аналоговые вычислительные комплексы АВК-31 используются для имитации аналоговых входов, приема аналоговой информации и моделирования объектов управления. В каждом из АВК по три гнезда на коммутационном поле с маркировкой **Внешние цепи** (1, 2, 3) связаны с входами модулей ввода аналоговых сигналов промышленного контроллера. Аналогичным образом, выходы модулей аналогового выхода промышленного контроллера соединены с гнездами 4 и 6 на коммутационном поле АВК.

Имитатор для получения входных дискретных сигналов и приема выходных дискретных сигналов содержит по восемь тумблеров (X0-X7) и кнопок (X8-X15) для имитации входных дискретных сигналов и восемь светодиодов для индикации выдаваемых дискретных сигналов.

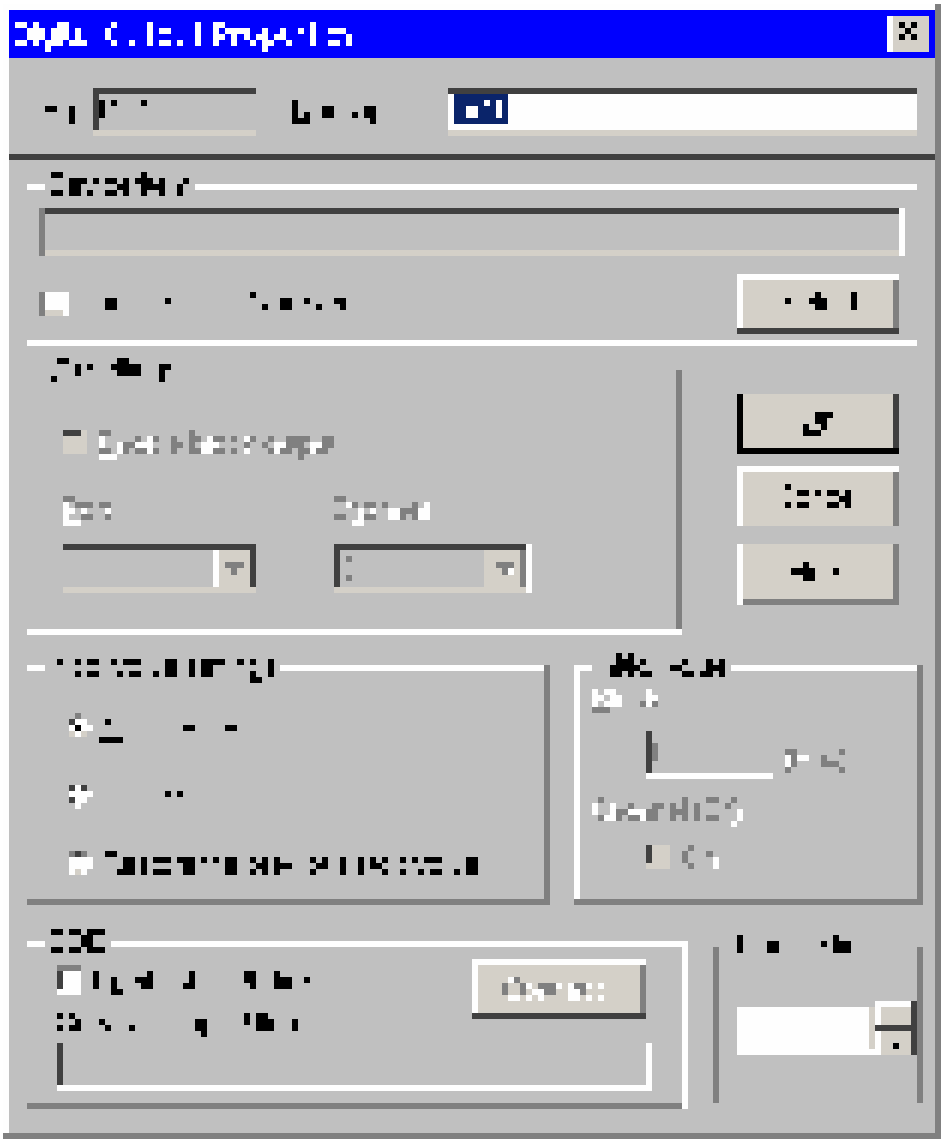


Рис. 5.12. Диалоговое окно настройки блока дискретного вывода

Имитатор для получения входных дискретных сигналов и приема выходных дискретных сигналов содержит по восемь тумблеров (X0-X7) и кнопок (X8-X15) для имитации входных дискретных сигналов и восемь светодиодов для индикации выдаваемых дискретных сигналов.

5.4.2. Проектирование приложения

1. *Первое действие* — включение OPC-сервера и промышленного контроллера – выполняет преподаватель (см. приведенный ранее подразд. 5.2).
2. *Второе действие*. Включите рабочую станцию или перегрузите ее, при регистрации обязательно используйте *те же самые имя и пароль*, которые использовались при регистации на компьютере С запущенным OPC-сервером. Запустите построитель приложений и настройте приложение аналогично рассмотренному ранее. Назовите приложение **Занятие** 12.
3. *Третье действие*. Задайте временные параметры запуска приложения аналогично тому, как это делалось на занятии 1. В нашем примере задан период повторения задачи 100 миллисекунд.
4. *Четвертое действие*. В окне редактора задач на панели инструментов выберите кнопку (пиктограмму) с мнемоникой **AI** и перетащите ее в окно редактора задач. При этом в окне редактора задач появится блок аналогового ввода с позиционным обозначением **AI1** (см. занятие 1, рис. 4.9). Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над блоком аналогового ввода и появится диалоговое окно его настройки. Введите в этом окне в поле **Description:** значение **AI61** (последние две цифры означают следующее: 6 — номер рабочей станции, возможный диапазон номеров 1…6, а 1 — номер аналогового входа на рабочей станции, возможный диапазон номеров 1…3). Для выбора источника аналогового сигнала — OPC-сервера — следует включить флажок **Connect to OPC Server**. Далее нажмите кнопку **Select**, в появившемся окне диалога **OPC Item Select** выберите сервер **OpenLabOPCSrv.AiVT.2**, нажмите кнопку **Connect…**, откройте **OpenLabOPCSrv.AiVT.2** и **7188E2**, выберите **7017.2.7** и нажмите кнопку **OK** (рис. 5.13). Тем самым, для подключения аналогового сигнала было выбрано гнездо 1 **Внешние цепи** аналогового вычислительного комплекса (АВК) рабочей станции №6 (см. приведенный ранее рис. 5.3). Диалоговое окно конфигурирования блока аналогового ввода приобретает вид, представленный нп рис. 5.14. Для сохранения значений параметров блока аналогового ввода нажмите кнопку **OK**.
5. *Пятое действие*. Аналогичным образом поместите в окно редактора задач блок аналогового вывода. Для этого на панели инструментов выберите кнопку с мнемоникой **AO** и перетащите ее в окно редактора задач. При этом в окне редактора задач появится блок аналогового вывода с позиционным обозначением **AO1**. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над блоком вывода аналоговой информации и появится диалоговое окно его настройки. Введите в этом окне **Description:** значение **A066** (последние две цифры означают следующее: 6 — номер рабочей станции, возможный диапазон номеров 1…6, а 6 — номер аналогового выхода на рабочей станции, возможный диапазон номеров 4 и 6). Для выбора источника аналогового сигнала — OPC-сервера — следует включить флажок **Connect to OPC Server**. Далее нажмите кнопку **Select**, в появившемся окне диалога **OPC Item Select** выберите сервер **OpenLabOPCSrv.AiVT.2**, нажмите кнопку **Connect…**, откройте

OpenLabOPCSrv.AiVT.2 и **7188E2**, выберите **7024.4.1** и нажмите кнопку **OK** (рис. 5.15). Тем самым, для подключения аналогового сигнала было выбрано гнездо 6 **Внешние цепи** аналогового вычислительного комплекса (АВК) рабочей станции №6 (см. приведенный ранее рис. 5.3). Диалоговое окно конфигурирования блока аналогового ввода приобретает вид, представленный нп рис. 5.16. Для сохранения значений параметров блока аналогового ввода нажмите кнопку **OK**.

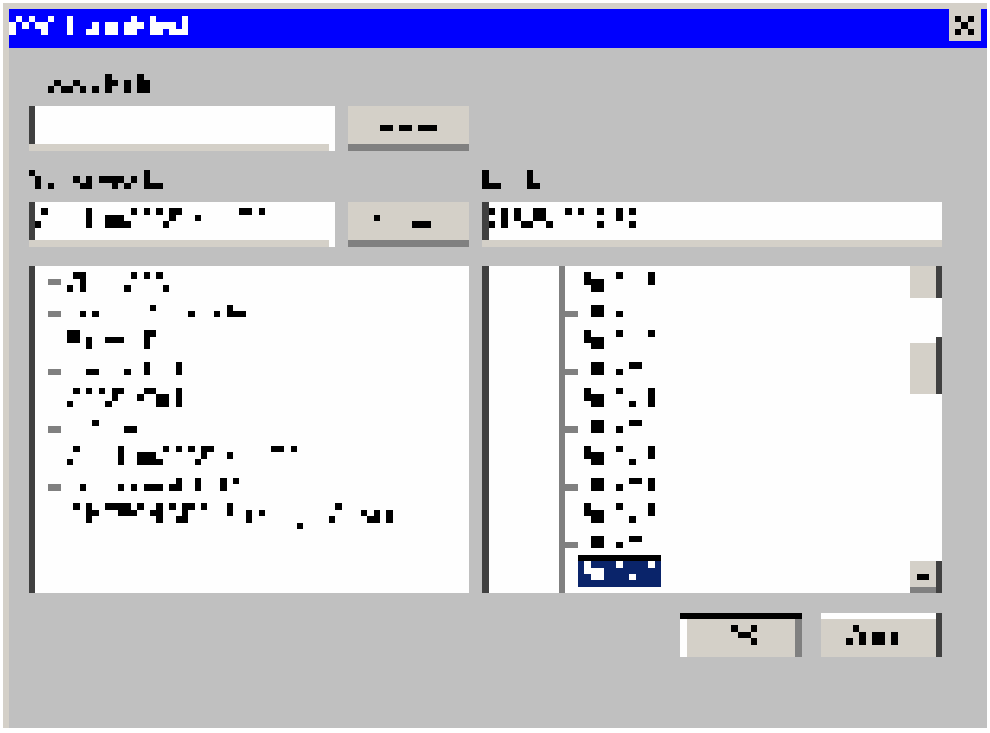


Рис. 5.13. Диалоговое окно выбора параметров OPC-сервера

6. *Шестое действие*. Теперь выполните соединение выхода блока аналогового ввода с входом блока аналогового вывода. Для этого выберите кнопку **Connection wire** на панели инструментов и поместите "нить" на блок **AI61** в окне редактора задач. В появившемся диалоговом окне выберите выходной канал **Output 0** (при работе с OPC-сервером правильным всегда будет только такой выбор), нажмите кнопку **OK** и положите "нить" на блок **AO66** в окне редактора задач. В результате выполненных действий информация будет передаваться с выхода блока аналогового ввода на вход блока аналогового вывода (рис. 5.17).

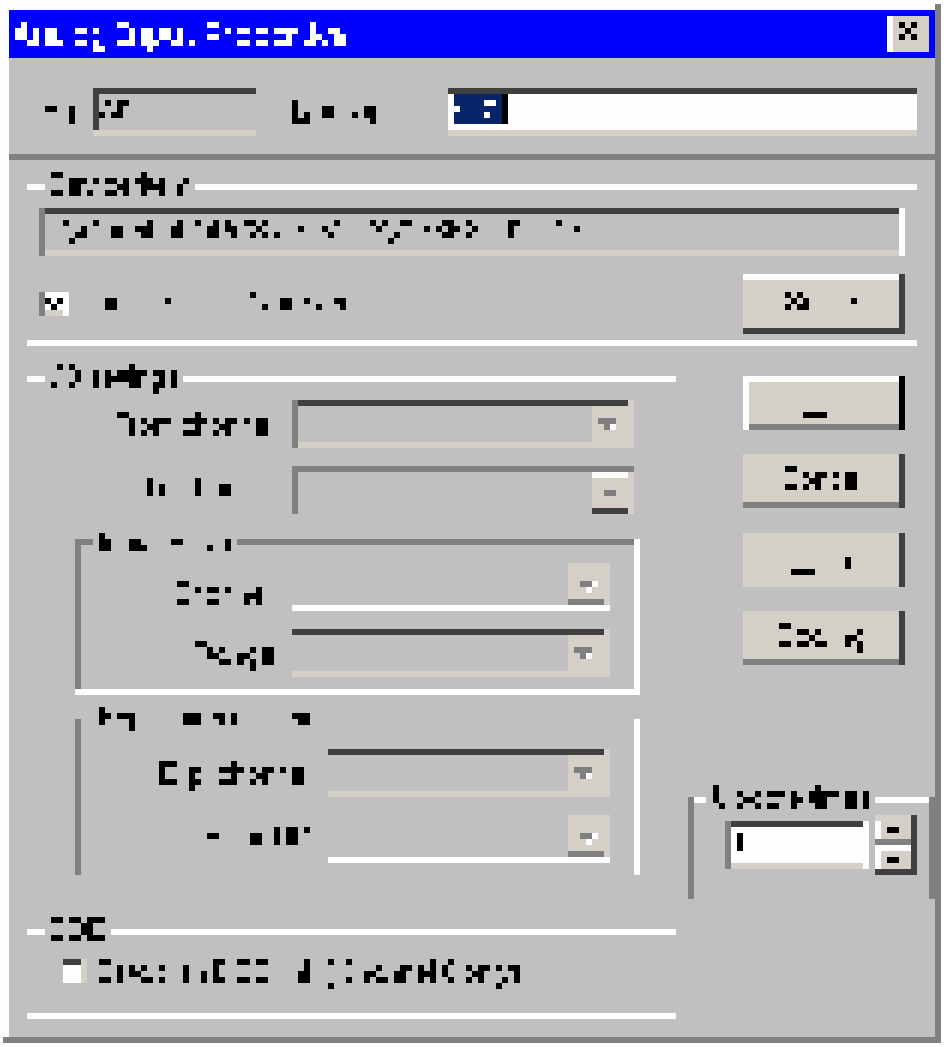


Рис. 5.14. Диалоговое окно конфигурирования блока аналогового ввода

7. *Седьмое действие*. Поместите в окно редактора задач блок дискретного ввода. Для этого на панели инструментов выберите кнопку с мнемоникой **DI** и перетащите ее в окно редактора задач. При этом в окне редактора задач появится блок аналогового вывода с позиционным обозначением **DI1**. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над этим блоком и аналогичным образом настройте его в соответствии с рис. 5.18. В позиционном обозначении **DI_X0** два последних символа являются обозначением тумблера — источника дискретного сигнала. На приведенном ранее рис. 5.3 приведены обозначения тегов в OPC-сервере, соответствующих имитаторам входных дискретных сигналов.

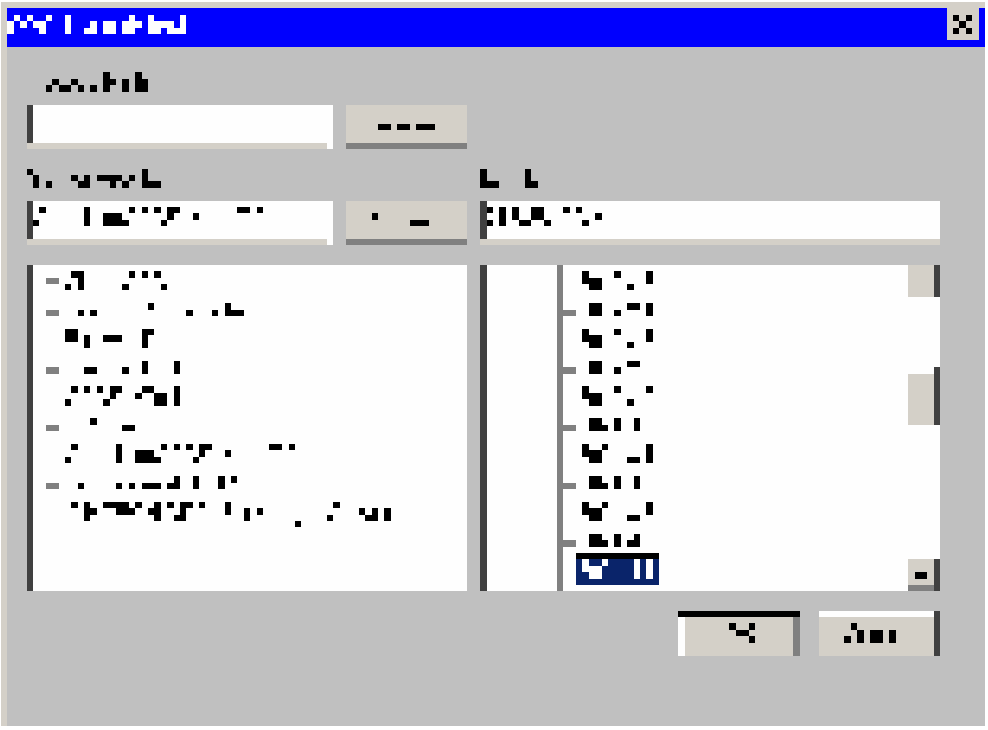


Рис. 5.15. Диалоговое окно выбора параметров OPC-сервера

8. *Восьмое действие*. Поместите в окно редактора задач блок дискретного вывода. Для этого на панели инструментов выберите кнопку с мнемоникой **DO** и перетащите ее в окно редактора задач. При этом в окне редактора задач появится блок аналогового вывода с позиционным обозначением **DO1**. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над этим блоком и аналогичным образом настройте его в соответствии с рис. 5.19. В позиционном обозначении **DO_Y0** два последних символа являются обозначением светодиода — приемника дискретного сигнала. На приведенном ранее рис. 5.3 приведены обозначения тегов в OPC-сервере, соответствующих имитаторам выходных дискретных сигналов.
9. *Девятое действие*. Аналогично указанному ранее выполните соединение выхода блока дискретного ввода с входом блока дискретного вывода таким образом, чтобы информация передавалась с блока дискретного ввода на блок дискретного вывода. Таким образом, с помощью указанных блоков дискретного ввода и дискретного вывода будет обеспечена передача информации от тумблера на светодиод.
10. *Десятое действие.* Поместите в окно редактора задач блок дискретного ввода. Для этого на панели инструментов выберите кнопку с мнемоникой **DI** и перетащите ее в окно редактора задач. При этом в окне редактора задач появится

блок аналогового вывода с позиционным обозначением **DI2**. Произведите двойной щелчок левой кнопкой мыши над этим блоком и аналогичным образом настройте его в соответствии с рис. 5.20. В позиционном обозначении **СчетчикDI_X8** два последних символа являются обозначением кнопки — источника дискретного сигнала, для которой ведется подсчет количества нажатий. На приведенном ранее рис. 5.3 приведены обозначения тегов в OPC-сервере, соответствующих имитаторам входных дискретных сигналов.

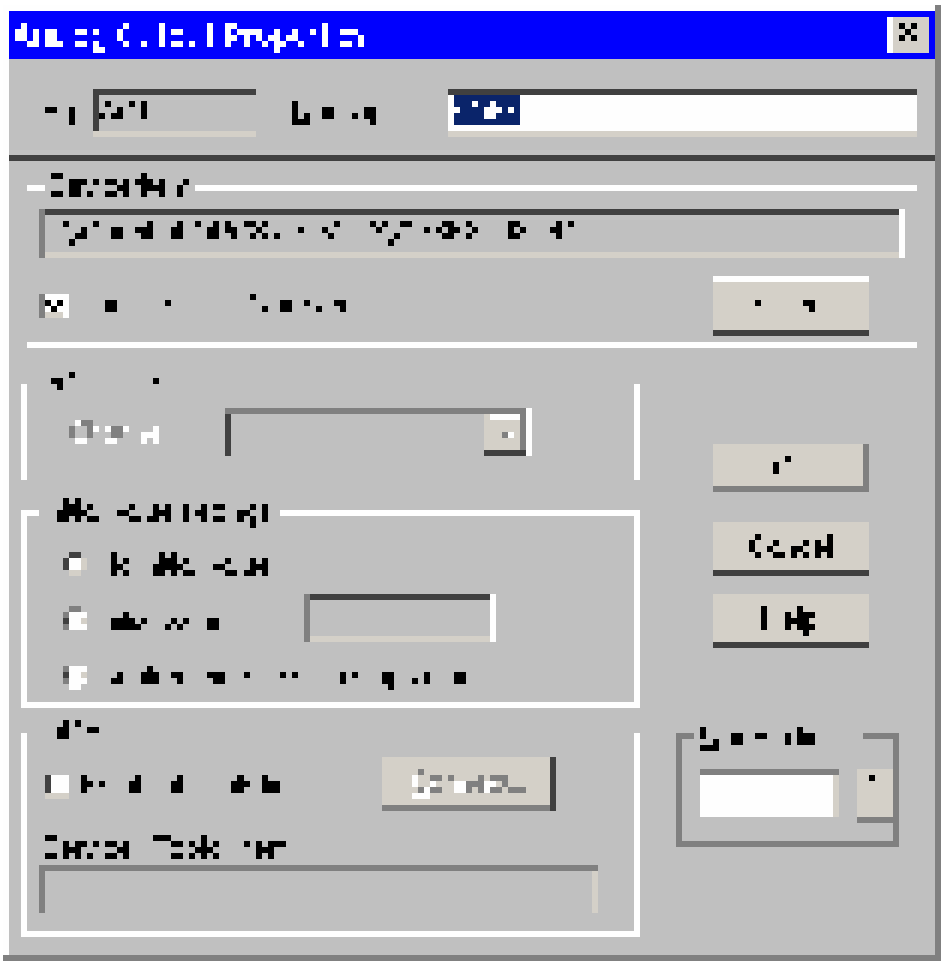


Рис. 5.16. Диалоговое окно конфигурирования блока аналогового вывода

11. *Одиннадцатое действие.* В результате выполненных действий окно редактора задач примет вид, указанный на рис. 5.21.
12. *Двенадцатое действие.* Сделайте активным окно **DISP1** редактора форм отображения. На панели инструментов выберите кнопку **RealTime Trend Graph**

(временной график) и с помощью мыши перетащите ее и положите во внутреннюю область окна редактора форм отображения и, не отпуская левой кнопки мыши, установите нужный размер графика. Для настройки свойств временного графика щелкните дважды левой кнопкой мыши над пиктограммой временного графика. В результате появится диалоговое окно настройки. Для привязки графика к источнику информации в этом окне нажмите кнопку **ADD** и в появившемся окне выполните необходимую настройку для индикации выходного сигнала блока аналогового вывода (рис. 5.22). Затем с помощью кнопки **OK** закройте окно.

Рис. 5.17. Окно редактора задач

Для отображения содержимого счетчика нажатий кнопки **X8** поместите в окно редактора форм отображения блок цифровой индикации (**Numeric String**) и настройте его в соответствии с рис. 5.23. Снабдите элементы отображения соответствующими надписями (рис. 5.24).

13. *Тринадцатое действие*. Сохраните созданный проект аналогично тому, как это было сделано на занятии 1. После сохранения проекта имеется возможность немедленного запуска созданного проекта с помощью кнопки **Start** на панели инструментов (рис. 5.25). Остановить работу проекта можно с помощью кнопки **Stop** на панели инструментов. В процессе выполнения стратегии рекомендуем выполнить следующие эксперименты. На АВК № 6 подавать на гнездо 1 **Внешние цепи** различные напряжения с выхода источника эталонных напряжений (входной аналоговый сигнал) и измерять напряжение на гнезде 6 (выходной аналоговый сигнал) — эти напряжения должны совпадать. Выполнять переключение тумблера **X0** на имитаторе дискретных сигналов и наблюдать за состоянием светодиода **Y0**. Выполнять нажатие кнопки **X8** на имитаторе дискретных сигналов и наблюдать за состоянием цифрового индикатора.
14. *Пятнадцатое действие*. Завершите работу приложения. Для этого выполните команду **File | Exit**.
15. *Шестнадцатое действие — выполняет преподаватель*. На компьютере, где работает OPC-сервер, командой **File | Exit** завершите его работу и выключите

компьютер. Выключите питание промышленного контроллера. Выключите включенные АВК.

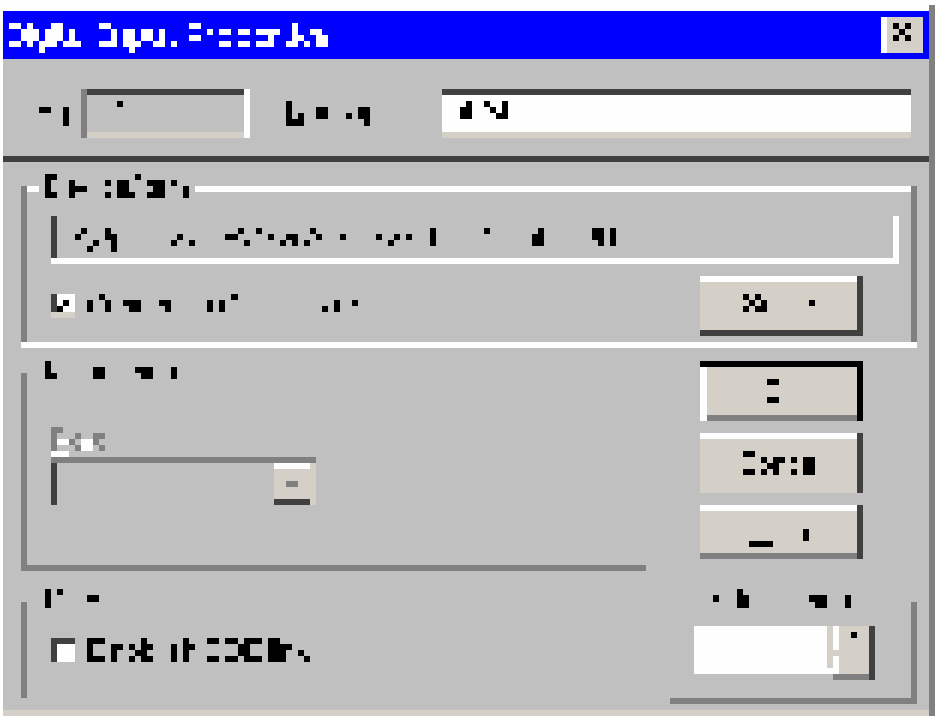


Рис. 5.18. Диалоговое окно конфигурирования блока дискретного ввода

5.4.3. Упражнения

Совет

Обязательно выполните приводимые далее упражнения — это очень важно для практического освоения рассмотренного материала.

Упражнение 4.38. Повтор создания и тестирования приложения "Занятие 12"

Повторите создание и тестирование рассмотренного ранее приложения **Занятие 12**. Для сокращения затрат учебного времени упражнение выполняйте параллельно с преподавателем.

Упражнение 4.39

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование дискретных входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS. В окне

редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

Рис. 5.19. Диалоговое окно конфигурирования блока дискретного вывода

Упражнение 4.40

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование аналоговых

входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS для АВК-1. В окне редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

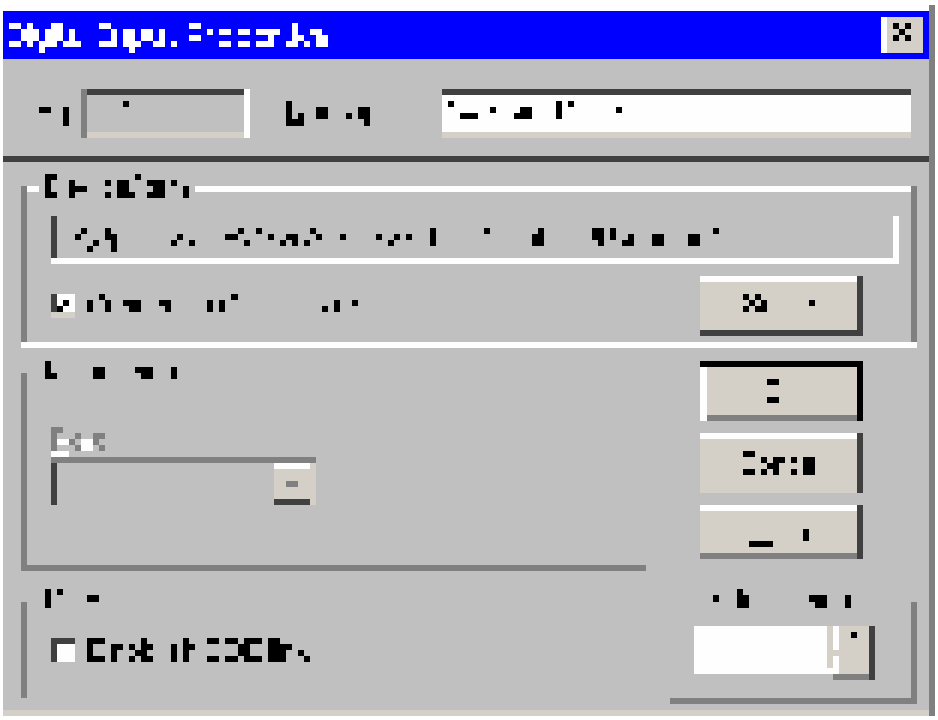


Рис. 5.20. Диалоговое окно конфигурирования блока дискретного ввода

Рис. 5.21. Окно редактора задач

Рис. 5.22. Настройка графика времени

Упражнение 4.41

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование аналоговых входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS для АВК-2. В окне редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

Упражнение 4.42

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование аналоговых входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS для АВК-3. В

окне редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

Рис. 5.23. Настройка блока цифровой индикации

Упражнение 4.43

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование аналоговых входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS для АВК-4. В окне редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

Упражнение 4.44

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование аналоговых входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS для АВК-5. В окне редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

Упражнение 4.45

Разработать стратегию, обладающую следующими возможностями. Задать период запуска задачи 2 секунды. Стратегия должна обеспечивать тестирование аналоговых входов-выходов промышленного контроллера **7188E2** фирмы ICP DAS для АВК-6. В окне редактора форм отображения снабдить элементы отображения поясняющими надписями.

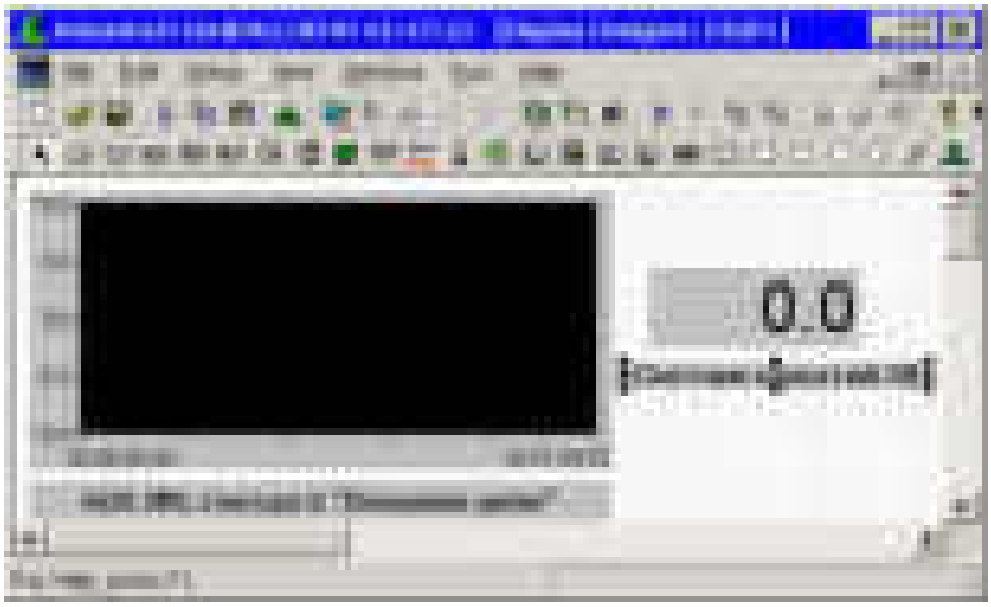


Рис. 5.24. Вид окна редактора форм отображения

Совет

Для лучшего освоения изучаемого материала советуем вам дополнить указанные ранее материалы курсовым проектированием. Варианты заданий для курсового проектирования приводятся в приложении 1.

Рис. 5.25. Вид окна редактора форм отображения

Литература

1. Чыонг Д.Т. Взаимодействие открытых систем промышленной автоматизации — состояние и проблемы // Информационно-управляющие системы, 2003. №2-3.
2. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) // Мир компьютерной автоматизации, 1999. №1.
3. Куцевич Н.А. SCADA-системы. Взгляд со стороны // Промышленные контроллеры и АСУ, 1999. №1.
4. Куцевич Н.А. SCADA-системы, или муки выбора // Мир компьютерной автоматизации, 1999. №1.
5. Genie 3.0. Руководство пользователя, Prosoft Ltd., 1998.
6. Куцевич Н.А. Citect - новая SCADA-система на российском рынке и новые возможности // Промышленные контроллеры и АСУ, 2000. №1.
7. Калядин А.Ю. Scada-система Citect — что внутри? // PCWeek, 1999. №48.
8. SCADA-продукты на российском рынке // Мир компьютерной автоматизации, 1999. №1.
9. Давыдов В.Г., Чыонг Д.Т. OPC-серверы с открытой архитектурой — средства взаимодействия компонентов в промышленной автоматизации // Автоматизация в промышленности, 2003. №7.
10. Теркель Д. OLE for Process Control — свобода выбора // Современные технологии автоматизации, 1999. №3.
11. Кузнецов А. SCADA-системы: программистом можешь ты не быть // Современные технологии автоматизации, 1996. №1.
12. Advantech GeniDAQ User’s Manual. Advantech Co., 2000.
13. Давыдов В.Г., Чыонг Д.Т. Проектирование компьютерных систем управления на основе SCADA-систем: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 152 с. (современные компьютеризованные образовательные технологии). ISBN 5-7422-0573-2.
14. Гарнаев А.Ю. Самоучитель VBA. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — Ил.
15. Карпов Б. VBA: специальный справочник. — СПб: Питер, 2002. — 416 с.: ил.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Б1.В.09.13 ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Специальность –
21.05.04 Горное дело
Специализация –
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е. Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Лабораторная работа №1

Изучение режимов работы робота–штабелера

Цель работы:

Ознакомиться с типами управления и изучить режимы работы робота–штабелера используя «сокращенный» и «расширенный» функционал управления роботом.

Теоретическая часть:

Интерфейс управления роботом–штабелером может отображаться в двух различных видах: «сокращенный» и «расширенный». Вне зависимости от режима отображения робот–штабелер может управляться в тремя способами:

1. Ручное управление, которое осуществляется путем перемещения оператором «ползунков», задающих значения координат, и нажатия кнопки перемещений (рисунок 1.1).

Рисунок 1.1 – Интерфейс ручного управления роботом–штабелером

2. Управление при помощи командной строки, в которой оператор прописывает текст команды, выполняемой роботом после нажатия клавиши «Enter» (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Интерфейс управления при помощи командной строки

3. Управление роботом–штабелером при помощи управляющей программы, созданной в текстовом файле и загруженной оператором.

Рисунок 1.3 – Интерфейс управления роботом–штабелером при помощи управляющей программы

На рисунках 1.1 – 1.3 представлен «сокращенный» вид управления роботом–штабелером. В «расширенном» виде в интерфейсе управления роботом–штабелером отсутствует графическое представление положения робота в пространстве. Интерфейс управления роботом в «расширенном» виде представлен на рисунке 1.4.

Рисунок 1.4 – Интерфейс управления роботом в «расширенном» виде

Для ручного управления роботом оператор должен переместить «ползунок» выбранной координаты (или нескольких координат для одновременного перемещения) в положение, соответствующее заданному положению робота. Значение координаты можно увидеть в белом поле рядом с выбранным «ползунком».

Для того, чтобы робот переместился в заданные координаты, необходимо после их назначения нажать кнопку . Для выхода звеньев робота в нулевое положение необходимо нажать на кнопку . Далее выбрать из списка, по какой координате следует произвести выход в нулевое положение. Для управления схватом необходимо поставить либо убрать галочку в поле рядом со словом СХВАТ.

Для управления роботом–манипулятором при помощи командной строки необходимо написать текст команды в поле командной строки (см. рисунок 1.2).

Основной командой для управления звеньями робота является команда линейного перемещения G01. Пример текста команды выглядит следующим образом:

G01 X50. Y100. Z30. F100,

где G01 – команда линейного перемещения в заданные координаты;

X50. Y100. Z30. – координаты конечных положений звеньев робота;

F100 – обозначение скорости перемещения, цифры после буквы указывают на процент от максимального перемещения.

Перемещение можно произвести по одной, двум или трем координатам одновременно. Координаты X, Y и Z задаются в миллиметрах.

Для управления схватом используются команды LOCKERON и LOCKEROFF.

Команда LOCKERON сжимает губки схвата, команда LOCKEROFF – разжимает.

Для выхода звеньев робота в нулевое положение используется команда RHOME. При этом необходимо указать координату, для которой указывается команда, например:

RHOMEX – выход в нулевое положение по оси X;

RHOMEY – выход в нулевое положение по оси Y;

RHOMEZ – выход в нулевое положение по оси Z.

Все команды управления роботом-манипулятором записываются ПРОПИСНЫМИ буквами.

Более подробно о программировании можно узнать из прилагаемого пособия по программированию.

Для управления роботом–штабелером при помощи управляющей программы (УП), ее нужно загрузить нажатием на кнопку .

Перед загрузкой УП необходимо предварительно составить текст программы в текстовом редакторе «Блокнот», в формате «имя программы.txt». Каждая команда с параметрами перемещения записывается с новой строки. Текст после знака « ; » не считывается и является комментарием.

Также составление УП возможно перемещением робота в нужные положения и запоминанием полученных координат с помощью кнопки «Запомнить положение».

После завершения необходимых перемещений робота нужно нажать кнопку «Сформировать УП», и управляющая программа будет создана автоматически. При этом нужно указать путь сохранения и дать ей имя. Эту программу можно открыть текстовым редактором и отредактировать.

Ход работы

1) Включить блоки управления стендом.

2) Нарисовать схему подключения элементов стенда.

3) Запустить программу управления штабелером. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись «Найден».

4) При помощи вкладки «объекты» в расширенном интерфейсе управления роботом создать минимум пять объектов, имитирующих ячейки для заготовок на складе.

5) В сокращенном режиме работы, оставаясь в режиме имитатора, произвести перемещения робота таким образом, чтобы схват робота поочередно оказывался там, где расположены созданные объекты. Перемещения необходимо осуществлять по одной оси, двум осям и трем осям одновременно, задавая при этом различные скорости перемещения звеньев робота–манипулятора по осям. Последовательность перемещения необходимо записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Последовательность перемещения робота–манипулятора

№ перемещения	Координата X	Координата Y	Координата Z	Скорость перемещения F
1				
2				
3				
4				
5				

Вывести робот–манипулятор в нулевое положение по всем осям.

Составить для каждого перемещения команду. Записать текст команды в таблицу 2.

Таблица 2 – Команды перемещения робота–манипулятора

№ перемещения	Текст команды
1	
2	
3	
4	
5	

6) Путем последовательного ввода команд в командную строку произвести перемещения звеньев робота по осям. Обращать внимание на правильность написания команд. Отслеживать текущие координаты осей робота по значениям в поле «Положение осей робота». После окончания каждого перемещения нужно запоминать положение робота–манипулятора в программе нажатием кнопки «Запомнить положение» на вкладке «Управляющая программа». После запоминания всех перемещений по этим опорным точкам сформировать управляющую программу нажатием кнопки « Сформировать УП».

7) Открыть сформированную УП, добавить в конце программы команды выхода в нулевое положение по всем осям. Сохранить файл и запустить управляющую программу в имитаторе.

8) После правильного выполнения этой программы открыть её текст. Для имитации переноса заготовки из одной позиции в другую, перед перемещением робота в первую позицию вставить команду на разжим схвата, при достижении роботом первой позиции вставить команду на зажим схвата, имитируя зажим детали. Затем после перемещения робота во вторую позицию вставить команду на разжим схвата, имитируя укладку детали в ячейку.

9) По той же схеме произвести имитацию перемещения заготовки по трем ячейкам, при этом во второй ячейке происходит сначала разжим схвата и укладывание заготовки в ячейку, затем снова следует зажим этой заготовки и перенос в последнюю ячейку.

9) Записать управляющие программы. Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №2

Изучение интерпретатора языка программирования робота

Цель работы:

Изучить понятие интерпретатора. Понять процесс работы интерпретатора. Определить работу интерпретатора при написании управляющей программы робота.

Теоретическая часть:

Программирование систем с числовым программным управлением (ЧПУ) производится посредством G – кода. G – код –это общее название языка программирования систем с ЧПУ, так как он имеет множество реализаций и дополнений у разных производителей и для разных устройств.Программа, написанная с использованием G-кода, состоит из кадров, каждый кадр содержит набор команд управления.Интерпретатор анализирует и тут же выполняет (собственно интерпретация) программу покомандно (или построчно), по мере поступления её исходного кода на вход интерпретатора.

Алгоритм работы простого интерпретатора включает в себя:

1) Прочитать инструкцию.

2) Проанализировать инструкцию и определить соответствующие действия.

3) Выполнить соответствующие действия.

4) Если не достигнуто условие завершения программы, прочитать следующую инструкцию и перейти к пункту 2.

По сути робот–манипулятор – это перепрограммируемый автоматический манипулятор промышленного применения. Под перепрограммируемостью, в соответствии со стандартом, понимается свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или при помощи человека-оператора.

К перепрограммированию относится изменение последовательности и(или) величин перемещений по степени подвижности и управляющих функций с помощью средств управления на пульте устройства управления.

Работа интерпретатора заключается в сопоставлении команд G – кода с командами, подаваемыми на микроконтроллер драйвера управления звеньями робота–манипулятора. При этом, если команды управления записаны неверно, интерпретатор не может сопоставить их с командами для микроконтроллера и действия не происходит.

Интерпретатор языка программирования встроен в программу для управления роботом, поэтому правильность работы интерпретатора определяется правильностью исполнения команд управляющей программы роботом–манипулятором.

Ход работы:

1) Включить блоки управления стендом, запустить программу управления стендом;
2) Выйти из режима «имитатора», убрав галочку в поле рядом с соответствующей надписью;
3) Вывести оси робота в нулевые положения;
4) Используя данные таблицы 2 из лабораторной работы №1 выполнить команды на скорости перемещения 20%, путем последовательного ввода команд в командную строку произвести перемещения звеньев робота–манипулятора по осям. Обращать внимание на правильность написания команд. Отслеживать текущие координаты осей робота по значениям в поле «Положение осей робота». После окончания каждого перемещения нужно запоминать положение робота–манипулятора в программе нажатием кнопки «Запомнить положение» на вкладке «Управляющая программа». После запоминания всех перемещений по этим опорным точкам сформировать управляющую программу нажатием кнопки « Сформировать УП». При этом обращать внимание, чтобы звенья робота при перемещении не наезжали на элементы стенда;
5) Открыть сформированную УП, добавить в конце программы команды выхода в нулевое положение по всем осям. Сохранить файл и запустить управляющую программу;
6) Описать действия робота–манипулятора для выполнения данной управляющей программы используя алгоритм работы простого интерпретатора;
7) Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №3.

Изучение команд перемещения робота–манипулятора. Изучение работы робота–штабелера в декартовой системе координат

Цель работы

Изучение команд перемещения звеньев робота в декартовой системе координат.

Теоретическая часть

Перемещение звеньев робота задается тремя составляющими:

– координата X робота, передвижение горизонтального звена робота со схватом вперед–назад;

– координата Y робота, изменение высоты горизонтального звена робота вдоль вертикального звена вверх–вниз;

– координата Z робота, передвижение робота вправо–влево.

Данные координаты имеют только положительные значения, отсчитываемые от датчиков нулевого положения. На рисунке 3.1 звенья робота располагаются в нулевых координатах.

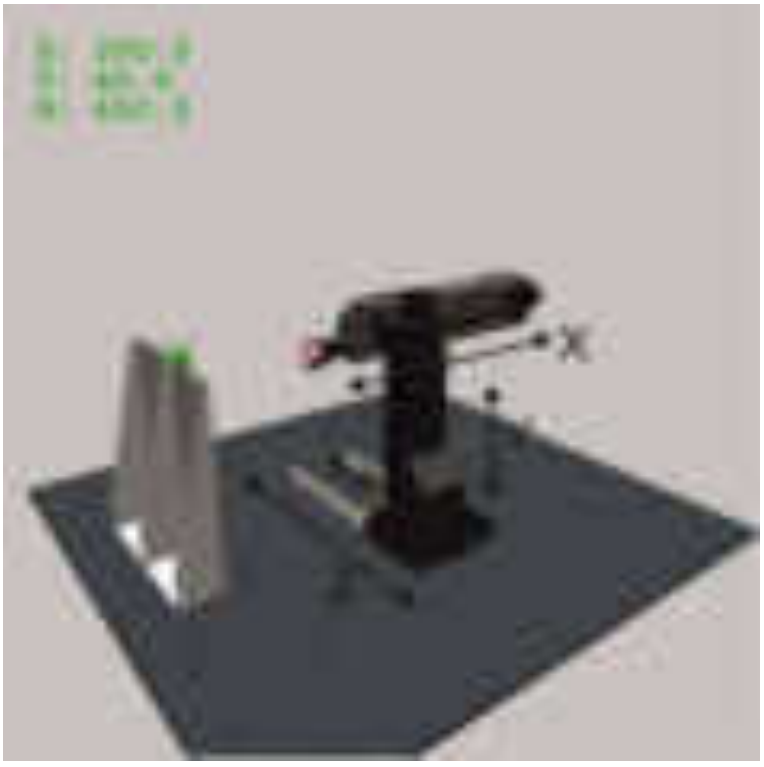


Рисунок 3.1 – Координаты перемещений звеньев робота

Декартова система координат показана на рисунке 3.2. В этой системе координат определяется положение центра схвата робота–штабелера. Декартовы координаты имеют только положительные значения по осям X и Z. По оси Y координаты имеют положительные и отрицательные значения. Положение центра схвата в декартовой системе отображается координатами в верхнем левом углу графического окна.

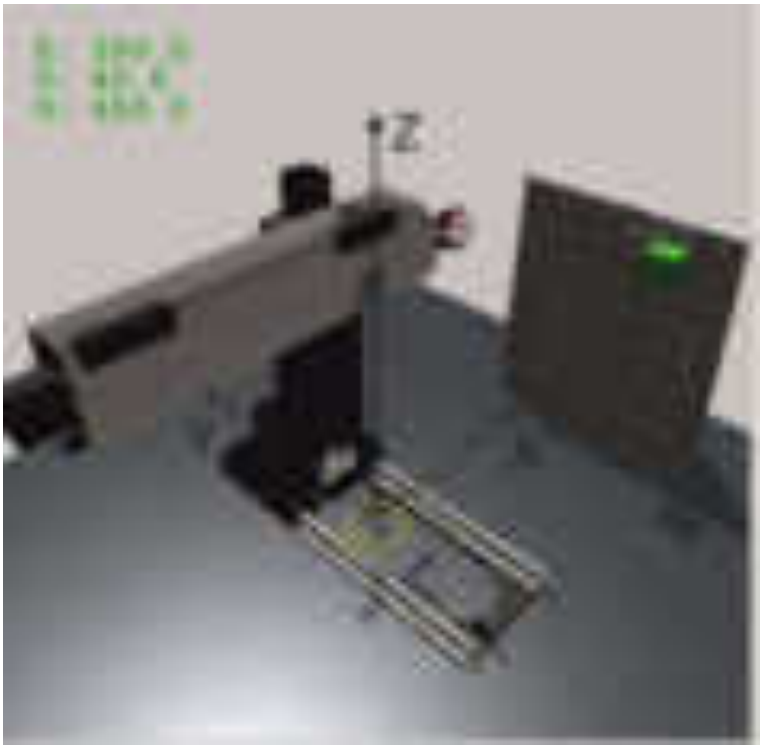


Рисунок 3.2 – Декартова система координат робота – штабелера

Более подробно с командами, используемыми в стенде можно ознакомиться в пособии по программированию.

Ход работы:

1) Включить блок управления стендом.

2) Запустить программу управления. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись: «Найден».

3) Задавая различные величины перемещений звеньев робота определить зону работы робота в декартовых координатах и крайние точки его перемещения. Записать их в значениях (X, Y, Z) и для каждой точки написать соответствие в собственных перемещениях звеньев. Оформить в виде таблицы.

4) Установить кронштейны в произвольные ячейки склада. Зажать в схвате робота заготовку. Переместить поочередно схват робота в ячейки. Записать декартовы координаты ячеек. В графической части создать объекты, имитирующие зону расположения установленных ячеек. Записать полученные координаты объектов.

5) Определить, совпадают ли координаты перемещений робота и расположения ячеек.

6) Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №4

Синтез программы сортировки объектов

Цель работы

Управление роботом–штабелером при создании управляющей программы сортировки объектов.

Теоретическая часть:

Для сортировки объектов по стенду представлена программа:

;По программе робот берет заготовку диаметром 35 миллиметров из 9 ячейки и ставит заготовку в 16 ячейку. Заготовки на длинном кронштейне.

```
RHOMEX
; Выход в нулевое положение по координате X
RHOMEY
; Выход в нулевое положение по координате Y
RHOMEZ
; Выход в нулевое положение по координате Z
LOCKEROFF
; Разжим схвата
G01 Z9. F150
; Позиционирование по координате Z для захвата заготовки из 9 ячейки
G01 Y18.
; Позиционирование по координате Y для захвата заготовки из 9 ячейки
G01 X196.
; Позиционирование по координате X для захвата заготовки из 9 ячейки
LOCKERON P2600
; Захват заготовки из 9 ячейки
G01 Y5.
;  Движение вверх по координате Y для безопасного выхода из позиции захвата заготовки
G01 Z275.
;  Позиционирование по координате Z для установки заготовки в 16 ячейку
G01 Y70.
;  Позиционирование по координате Y для установки заготовки в 16 ячейку
LOCKEROFF P2000
; Разжим схвата на 2000 импульсов
G01 X150. F150
; Безопасный отход по координате X из 16 ячейки
RHOMEX
;  Выход в нулевое положение по координате X
RHOMEY
```

; Выход в нулевое положение по координате Y
RHOMEZ
; Выход в нулевое положение по координате Z

Ход работы

1) Включить блок управления стендом;

2) Запустить программу управления стендом. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись: «Найден». Установить кронштейны в ячейки 9 и 16.

3) Разобрать представленную выше управляющую программу по сортировке объектов.

4) Создать текстовый документ формата «имя_программы.txt». Записать в документ строки представленной управляющей программы, которые содержат исполнительные команды. Сохранить текстовый документ.

5) Выйти из режима «имитатор», переместить робот–штабелер в ячейки 9 и 16, при этом проверить, чтобы схват робота располагался точно в ячейках. Сравнить полученные координаты с координатами в управляющей программе. При необходимости ввести коррективы в программу.

6) В командную строку поочередно в порядке расположения в тексте вставлять строки с командами управляющей программы, выполняя каждую команду отдельно. Визуально следить за правильностью выполнения команды. Не допускать аварийных ситуаций.

7) Импортировать отработанную управляющую программу в программу управления стендом.

8) Запустить управляющую программу, контролируя визуально перемещения робота. Не допускать аварийных ситуаций.

9) После успешного завершения программы составить аналогичную для перемещения заготовки по трем ячейкам.

10) Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №5

Синтез программы оптимизированного складирования объектов

Цель работы: произвести оптимизацию управляющей программы из лабораторной работы №4.

Теоретическая часть:

Оптимизация процесса складирования объектов подразумевает сокращение времени на выполнение автоматизированной системой своей управляющей программы. Одним из способов, позволяющих оптимизировать производственный процесс, является моделирование (имитация) выполнения программы. Данный вид оптимизации можно применить, используя перед выполнением управляющей программы среду «имитатор» для отработки управляющей программы. После оптимизации в «имитаторе» отработанную программу можно запустить для исполнения автоматизированной системой.

Для оптимизации также имеет место замена поочередного перемещения по нескольким осям одним совместным перемещением осей (интерполяция). Например, использовать одну команду G01 X46. Y120. F100 вместо двух последовательных команд G01 X46. F100 и G01 Y120. F100.

Еще одним примером оптимизации является использование меток для перехода, если нужно сделать программу повторяющейся, то есть запустить цикл.

Пример программы:

```
RHOME X
RHOME Y
RHOMR Z
1000:
G01 X100. Y100. F100
G01 Z150. F150
G01 X50. Y150. F100
G01 Z250. F150
RHOME X
RHOME Y
RHOMR Z
SHIFTTO P1000
```

В данной программе использована метка перехода 1000 в четвертой строке и обращение к ней в конце программы командой SHIFTTO P1000 в конце программы. То есть программа первый раз пройдет все строки и выполнит переход к четвертой

строке и в дальнейшем не будет выполнять первые три строчки. После числового обозначения метки ставится знак «:».

Ход работы:

1) Включить блок управления стендом.
2) Запустить программу управления штабелером. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись «Найден».
3) В режиме «имитатор» запустить управляющую программу, полученную в лабораторной работе №4. Произвести оптимизацию данной программы.
4) Выполнить зацикливание данной программы.
5) Запустить получившуюся программу складирования объектов. При этом следует подавать заготовки в первоначальную ячейку.
6) Составить отчет о выполненной работе.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Специальность –
21.05.04 Горное дело
Специализация –
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 6
1.1. Состав и характеристики мехатронных модулей и робототехнических систем 7
1.2. Устройство мехатронных модулей движения 26
1.3. Информационная система и датчики мехатронных и робототехнических систем 41
1.4. Системы управления и приводы мехатронных и робототехнических устройств 58
1.5. Структура и состав роботизированных технологических комплексов 70
Вопросы для самопроверки 79

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 80
2.1. Технологическая подготовка роботизированного производства и проведение монтажных работ 80
2.2. Монтаж механических систем роботов и станков 86
2.3. Монтаж пневмогидрооборудования 95
2.4. Монтаж устройств управления и электрооборудования роботов и мехатронных систем 108
2.5. Монтаж роботизированных технологических комплексов 116
Вопросы для самопроверки 120

Глава 3. НАЛАДКА И НАСТРОЙКА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 121
3.1. Наладка механических устройств ПР и мехатронных систем 122
3.2. Наладка пневмогидрооборудования ПР 130
3.3. Наладка электрооборудования и устройств управления ... 135

3.4. Настройка параметров регуляторов в электроприводах роботов и мехатронных систем 144
3.4.1. Настройка по компьютерной и математической моделям 144
3.4.2. Практическая настройка электропривода CSD-DH мехатронной системы металлорежущего станка 150
3.4.3. Настройка регулятора положения при работе от ЧПУ ... 186
3.5. Наладка мехатронной системы металлорежущих станков 194
3.6. Наладка мехатронной системы лазерного технологического комплекса 203
Вопросы для самопроверки 215

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 218
4.1. Виды и общие требования к испытаниям промышленных и мобильных роботов 218
4.2. Определение технических характеристик ПР при испытаниях 226
4.3. Особенности испытаний мехатронных систем 236
4.4. Методы и средства диагностирования роботов и мехатронных систем 240
4.5. Испытания мехатронной системы металлорежущего станка 253
Вопросы для самопроверки 267

Глава 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 269
5.1. Эксплуатация роботов в производственных системах ... 269
5.2. Эксплуатация роботов в транспортно-накопительных системах автоматизированных производств 278
5.3. Техническое обслуживание мехатронных и робототехнических систем 286
5.4. Эксплуатация мехатронных и робототехнических систем 290
Вопросы для самопроверки 300

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 301

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 302

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности производственных процессов достигается использованием комплексной автоматизации на базе высокопроизводительного оборудования, станков с числовым программным управлением, микропроцессорной техники, промышленных роботов и гибких автоматизированных производств, построенных на базе мехатронных модулей. Эффективность работы рассматриваемых технических систем определяется их техническими характеристиками, конструкцией и надежностью работы, а также в значительной мере зависит от качества выполненных работ по монтажу, наладке и своевременного технического обслуживания в процессе эксплуатации. Для обслуживания промышленных роботов и мехатронных систем технологического оборудования, оснащаемого ими, необходимы знания их конструкций, методов и правил монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации. Значительное место в современных системах настройки приводов и подготовки управляющих программ занимает компьютерная симуляция технических систем с использованием моделей. В современные мехатронные и робототехнические системы встраиваются высокоразвитые информационные системы и системы диагностики.

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Испытания, наладка и эксплуатация мехатронных и робототехнических систем» для студентов, обучающихся по специальности «Мехатроника и робототехника». Материал базируется на отечественном опыте монтажа и наладки систем автоматизации, роботов и станков с ЧПУ, а также на личном опыте авторов по внедрению в производство промышленных роботов и роботизированных комплексов.

В учебном пособии приведены общие положения по устройству, наладке и испытаниям мехатронных модулей и промышленных роботов с электро-, пневмо- и гидроприводом.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Мехатроника – область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. Основной целью мехатроники, как научно-технической дисциплины, является разработка принципиально новых функциональных узлов, блоков и модулей, реализующих двигательные функции, которые используются как основа для подвижных интеллектуальных машин и систем. В связи с этим, предметом мехатроники становятся технологические процессы проектирования и выпуска систем и машин, способных реализовать требуемый двигательный функционал. Методология, используемая в рамках мехатроники, опирается на взаимную интеграцию технологий, структурных элементов, информационных и энергетических процессов из целого перечня естественно-научных и инженерных направлений (информатики, точной механики, микроэлектроники, автоматического управления и т. п.). Обычно мехатронная система является объединением собственно электромеханических компонентов с силовой электроникой, которые управляются с помощью различных микроконтроллеров, персональных компьютеров или других вычислительных устройств. При этом система в истинно мехатронном подходе, несмотря на использование стандартных компонентов, строится как можно более монолитно, конструкторы стараются объединить все части системы воедино без использования лишних интерфейсов между модулями. В частности, применяя встроенные непосредственно в микроконтроллеры аналого-цифровые преобразователи, интеллектуальные силовые преобразователи и т. п. Это уменьшает массу и размеры системы, повышает её надёжность и дает некоторые другие преимущества. Любая система, управляющая группой приводов, может считаться мехатронной. Наиболее яркими представителями мехатронных систем являются роботы и станки с ЧПУ.

Обобщенная схема мехатронной системы представлена на рис. 1.1.

Рис. 1.1. Обобщенная схема мехатронной системы

1.1. Состав и характеристики мехатронных модулей и робототехнических систем

Основой любой мехатронной системы являются мехатронные модули. Мехатронный модуль (ММ) – унифицированный мехатронный объект, имеющий автономную документацию и предназначенный, как правило, для реализации движений по одной координате. Примерами мехатронных модулей служат части станков - шпиндельная бабка, поворотный стол. В качестве модулей могут выступать двигатели, редукторы и т.п. Более сложные модули (автономные приводы) - мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпиндель, мотор-барабан и поворотный стол.

По физической природе составляющих элементов ММ подразделяются на электроприводные, гидроприводные, пневмоприводные и прочие. В состав электроприводных ММ входят электродвигатель и (как правило) преобразователь движения. Они распространены наиболее широко и обычно являются базой для сравнения вариантов на стадии проектирования. Гидроприводные ММ содержат гидродвигатели линейного или вращательного движения. По сравнению с электроприводными они обладают значительно меньшими размерами и массой, в частности, потому, что не требуют преобразователя движения; малой инерционностью; простотой регулирования и его широким диапазоном. К недостаткам их следует отнести сравнительно высокую стоимость; необходимость в насосной установке; чувствительность к качеству рабочей жидкости. Пневмоприводные ММ по принципу действия подобны гидроприводным, а различия между ними определяются особенностями рабочей среды – сжатого воздуха. ММ с пневмоприводом конструктивно проще гидроприводных, дешевле, менее требовательны в эксплуатации, способны реализовать более высокие скорости движения. В то же время их нагрузочная способность при равных размерах на два порядка меньше, существенно ниже КПД, они не в состоянии обеспечивать точные перемещения. В число прочих ММ входят модули как с комбинированным приводом, например, электрогидравлическим, так и с устройствами для преобразования энергии, не относящимися к электро-, гидро и пневмоприводу.

Классификация ММ по конструктивным признакам представлена на рис. 1.2. В полной мере фундаментальному определению мехатроники соответствуют только интеллектуальные мехатронные модули, которые содержат приводную часть (двигатель), информационную часть (датчики) и аппаратно-встроенную компьютерную часть.

Анализ развития мирового рынка продукции машиностроения свидетельствует о появлении нового класса технологического и измерительного оборудования, транспортных средств на базе мехатронных модулей движения (ММД). Причем объемы производства ММД в развитых странах мира с каждым годом увеличиваются. Миллионы ММД находят применение в авиации, космосе, приборостроении, электротехнике, станкостроении, робототехнике, автомобилестроении и других важнейших отраслях промышленности.

На базе ММД уже сегодня создаются экологически чистые наземные, подземные и водные транспортные средства, а также технологии высокоскоростного резания легких сплавов для авиационных металлоконструкций, высокопроизводительного, "сухого" шлифования прецизионных деталей для автомобильной и подшипниковой промышленности, субмикронных измерений деталей и прецизионной высокопроизводительной обработки штампов и пресс-форм графитовых электродов и пластмассовых изделий. При этом главным признаком, отличающим ММД от общепромышленного электропривода, является введение электродвигателя в узел машины: электрошпиндель, мотор-шпиндель, электромеханизм линейного перемещения инструментов головки, поворотный глобусный или координатный стол, мотор-колесо и т.п. Основную номенклатуру ММД, на основе которых в настоящее время создаются производственные машины и транспортные средства нового поколения, можно подразделить на четыре группы.

1. Высокооборотные модули с максимальной частотой вращения от 9 000 до 250 000 мин-1 и мощностью от 0,1 до 30 кВт для металлорежущих станков, деревообрабатывающих машин, станков для сверления печатных плат, компрессоров и т.д.

В этих модулях используются воздушные и электромагнитные подшипники. Основные преимущества выпускаемых электрошпинделей на магнитных подшипниках:

- отсутствие механических контактов и, как следствие, износа; - возможность использования более высоких (по сравнению с традиционными конструкциями) скоростей; - небольшая вибрация, отсутствие трения и снижение тепловых потерь;

- возможность изменения жесткости и демпфирующих характеристик системы;

- возможность работы в вакууме и вредных средах; - экологическая чистота.

2. Низкооборотные модули с максимальной частотой вращения от 4 до 300 мин-1, моментом от 10 до 2500 Н·м и точностью позиционирования до 3" для поворотных столов станков, измерительных машин, оборудования для электронного машиностроения, узлов роботов и многоцелевых инструментальных головок. Модули подобного типа могут с успехом применяться в электровелосипедах, инвалидных колясках, электромотоциклах, скутерах и других легких транспортных средствах. Технические характеристики некоторых транспортных ММД, например, электровелосипедов и инвалидных колясок существенно превышают характеристики лучших мировых производителей. Так, масса инвалидной коляски меньше на 30 %, а пробег без подзарядки батареи больше на 50 %, чем у импортных аналогов.

3. Модули линейного движения с усилием от 10 до 5000 Н и скоростью до 32 м/с для приводов металлорежущих станков, промышленных роботов и измерительных машин, а также для запирающих устройств газо- и нефтепроводов.

4. Цифровые электроприводы с бесколлекторными синхронным и асинхронным двигателями мощностью до 10 кВт с моментом от 1 до 40 Н·м и высоким отношением момента к массе для приводов подачи высокопроизводительных станков и роботов, текстильных и деревообрабатывающих машин, приводов вентиляторов, насосов и т.д. Блок управления такими приводами создается на базе силовых интеллектуальных схем и встраивается в корпус или клеммную коробку электродвигателя.

В связи с расширением рынка высокопроизводительных машин и оборудования традиционной и нетрадиционной компоновок и освоением производства указанных ММД практически всеми ведущими электротехническими фирмами мира осуществляется постепенный перевод специальных ММД в модули движения общепромышленного применения. Так, встраиваемые электродвигатели для поворотных столов металлорежущих станков и мотор-колес для транспортных средств производятся по одной и той же технологии низкооборотных ММД на

основе современных магнитных систем. Рынок таких ММД стремительно развивается: спрос на эту продукцию в 1997 г. достигнет 100-120 тыс. штук.

Аналогичные примеры можно привести и по другим ММД, в том числе по линейным двигателям для станкостроения и робототехники, измерительных машин и транспортных средств.

Применение ММД в обрабатывающих центрах традиционной компоновки позволило повысить производительность фрезерования почти в 3 раза. Относительно высокая стоимость таких машин не останавливает ведущие авиационные концерны в мире от их закупок уже в настоящее время.

Еще большие возможности применения ММД имеют машины нетрадиционной компоновки: обрабатывающие и измерительные машины на основе так называемой платформы Стюарта и мехатронных поворотных столов. Сравнение экономических показателей такого блочно -модульного станка с аналогичными показателями обрабатывающего центра традиционного типа дает следующие результаты: - сокращение в 2-2,5 раза занимаемой производственной площади; -сокращение в 2-3 раза числа базовых деталей; - уменьшение в 1,5-2 раза металлоемкости (особенно при нетрадиционной компоновке).

Анализ технико-экономических показателей ММД и созданных на их базе машин нового поколения с учетом рынка продукции машиностроения позволяет выделить основные тенденции в области технического совершенствования компонентов общепромышленного применения:

- интенсивное развитие мехатронных модулей вращательного движения и линейного перемещения на базе электродвигателей переменного тока, встроенных в приводные узлы машин и оборудования, создаваемых специализированными фирмами и поставляемых машиностроительным предприятиям – лидерам машиностроительного инновационного рынка;

- развитие международной научно-технической и производственной кооперации в области комплектных систем управления машинами новых поколений на базе ММД для создания новых высококвалифицированных рабочих мест.

На основании прогноза и анализа развития станкостроения можно выделить следующие основные направления:

- качественное изменение конструкций металлорежущих станков (конструкции станков с параллельной кинематикой, гексаподные конструкции, конструкции типа «Box in a box» и др.);

- существенное повышение производительности станков, реализация технологий скоростной обработки; - широкая унификация станков, реализация принципов агрегатно-модульного конструирования. Для решения перечисленных задач наряду с совершенствованием технологии обработки, появлением новых режущих материалов, инструментов создаются принципиально новые мехатронные станочные узлы привода и автоматизации на базе интеграции средств прецизионной механики, электроники, электротехники. Конструктивное объединение исполнительного и приводного элементов механизмов линейных и вращательных перемещений станков, реализующих концепцию привода прямого действия «Direct Drive», позволяет исключить промежуточные механические преобразователи и передачи, повысить точность, быстродействие, снизить потери.

Наличие в этих конструкциях встроенных систем автоматического управления и датчиков контроля технологического процесса делает мехатронные узлы интеллектуальными автономными модулями, на базе которых могут создаваться конструкции перспективных металлообрабатывающих станков. Использование мехатронных модулей движения позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации технологических процессов. На рис.1.3 приведен перечень мехатронных модулей движения и агрегатов на их основе, используемых в современных металлорежущих станках.

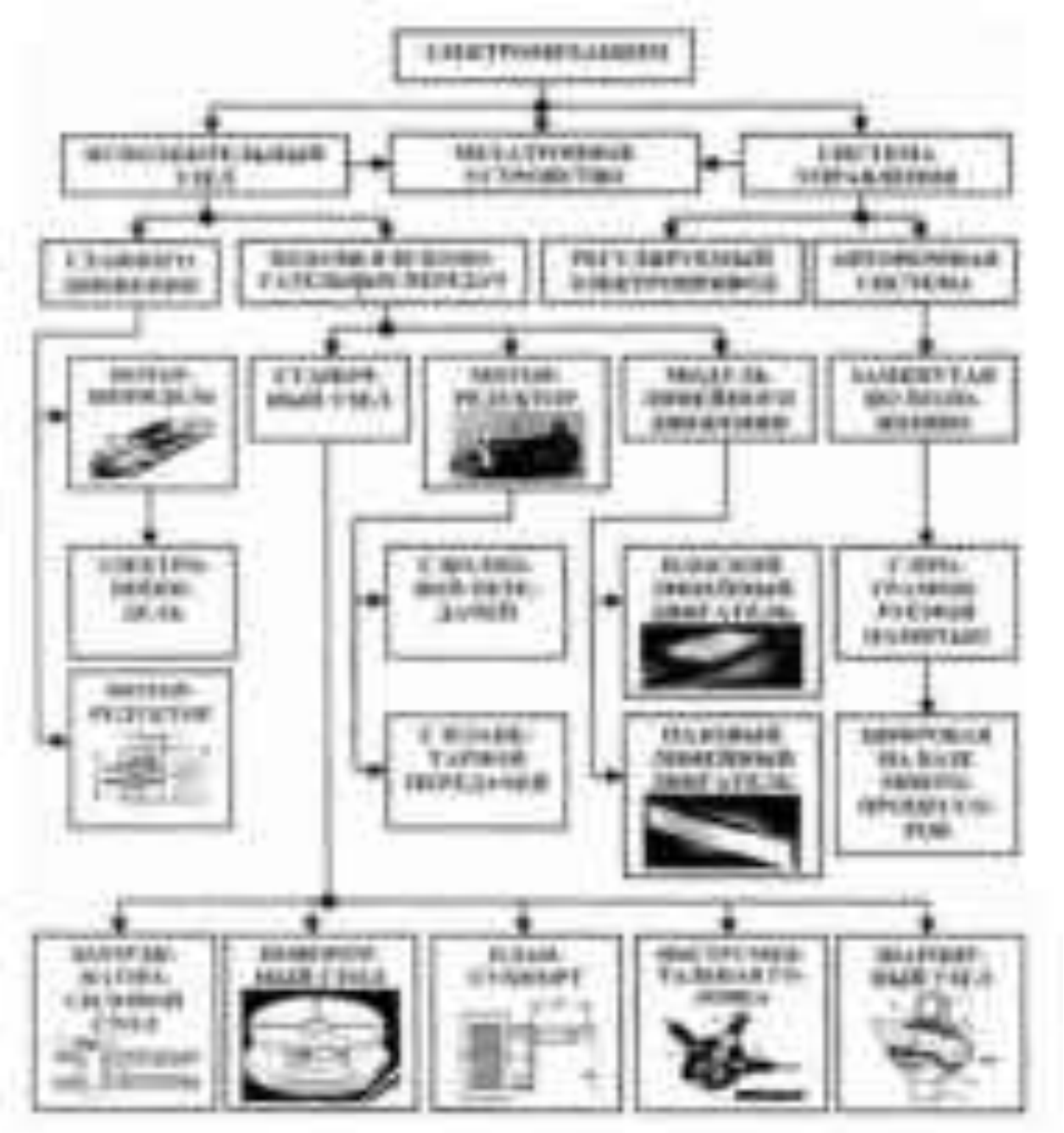


Рис. 1.3. Перечень мехатронных модулей движения и агрегатов на их основе, используемых в современных металлорежущих станках.

Робот как мехатронная система состоит из двух основных частей – исполнительных систем и устройства управления ими с сенсорной системой. В свою очередь исполнительные системы включают одну или несколько манипуляционных систем (обычно в виде механических манипуляторов) и системы передвижения, имеющейся только у подвижных (мобильных) роботов. Сегодня основным таким типом, по-прежнему, являются промышленные роботы (ПР), которые предназначены

для применения в промышленности и составляют до 80 % всего парка роботов в мире. В свою очередь промышленные роботы делятся на ряд типов более узкого назначения (например, робот окрасочный, сварочный, транспортный, для обслуживания станков, прессов, литейных машин и т. д.).

По ***типу выполняемых операций*** все промышленные роботы делятся на роботы технологические, которые выполняют основные технологические операции, и роботы вспомогательные, выполняющие вспомогательные технологические операции по обслуживанию технологического оборудования. Технологические роботы относятся к основному технологическому оборудованию, а вспомогательные можно отнести к средствам автоматизации. По широте перечня операций, для выполнения которых предназначен робот, различают роботы специальные, специализированные и универсальные. Специальные роботы предназначены для выполнения одной конкретной технологической операции (например, конкретную сборочную операцию, обслуживание определенной марки технологического оборудования).

Специализированные роботы могут выполнять различные однотипные операции (сборочный робот со сменными рабочими инструментами, робот для обслуживания определенного типа технологического оборудования и т.п.). Универсальные роботы предназначены для выполнения любых основных и вспомогательных операций в пределах их технических возможностей. Увеличение степени универсальности робота соответственно расширяет область его возможных применений, но одновременно неизбежно сопровождается недоиспользованием его возможностей на каждой конкретной операции. Наиболее оптимальными в этом отношении являются специальные роботы, но с другой стороны это предельно сужает их рынок, а, следовательно, и объем производства.

К ***конструктивным показателям*** роботов относят: тип приводов робота, его грузоподъемность, количество манипуляторов, тип и параметры их рабочей зоны, подвижность и способ размещения, исполнение по назначению. ***Приводы,*** которые используются в манипуляторах и системах передвижения роботов, делятся на электрические, гидравлические и пневматические. Часто их применяют в комбинации; например, в звеньях манипулятора большой грузоподъемности исполь-

зуют гидравлический привод, а в его захватном устройстве – более простой и маломощный пневматический привод. ***Грузоподъемность робота*** – это грузоподъемность его манипуляторов, а для транспортного робота еще и его шасси. Грузоподъемность манипулятора определяется массой перемещаемых им объектов и в зависимости от назначения робота может составлять от единиц грамм (сверхлегкие роботы, например, применяемые в микроэлектронике) до нескольких тысяч килограмм (сверхтяжелые, например, транспортные и космические роботы). ***Количество манипуляторов*** у роботов в большинстве случаев ограничено одним (одноманипуляторные или однорукие роботы). Однако в зависимости от назначения существуют конструкции роботов с двумя, тремя и четырьмя манипуляторами (соответственно двух-, трех- и четырехманипуляторные). Обычно манипуляторы робота выполняют одинаковыми, но имеются конструкции роботов и с разными манипуляторами. Например, существуют промышленные роботы для обслуживания прессов холодной штамповки с двумя разными манипуляторами: один основной для взятия заготовки и установки ее в пресс и другой упрощенной конструкции для выполнения более простой операции сталкивания готовой детали в бункер.

Тип и параметры рабочей зоны манипуляторов робота определяют область окружающего его пространства, в пределах которой робот может осуществлять манипуляции не передвигаясь, т.е. при неподвижном основании. Рабочая зона манипулятора – это пространство, в котором может находиться его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев манипулятора. Форма рабочей зоны определяется системой координат, в которой осуществляется движение рабочего органа манипулятора, и числом степеней подвижности манипулятора.

Подвижность робота определяется наличием или отсутствием у него системы передвижения. В первом случае роботы называют мобильными, а во втором – стационарными. В соответствии с назначением роботов в них применяют системы передвижения практически всех известных на сегодня типов: от наземных колесных и гусеничных до предназначенных для передвижений в воде, глубинах земли, в воздухе и космосе. Специфическим для робототехники способом передвижения является шагание. ***По способу размещения*** стационарные и мобильные роботы бывают напольными, подвесными (мобильные роботы этого типа обычно перемещаются по поднятому рельсовому

пути), встраиваемыми в другое оборудование (например, в обслуживаемый станок) и т. д.

Исполнение робота по назначению зависит от внешних условий, в которых он должен функционировать. Различают исполнение нормальное, пылезащитное, теплозащитное, влагозащитное, взрывобезопасное и т.д.

По способу управления различают роботы с программным, адаптивным и интеллектуальным управлением. Управление движением по отдельным степеням подвижности может быть непрерывным (контурным) и дискретным позиционным. В последнем случае управление движением осуществляют, задавая конечную последовательность точек (позиций) и последующее перемещение по ним шагами от точки к точке без контроля траекторий между этими точками. Простейшим вариантом дискретного управления является цикловое, при котором количество точек позиционирования по каждой степени подвижности минимально, т.е. чаще всего ограничено двумя начальной и конечной. Быстродействие и точность роботов складываются из их значений для манипуляторов и систем передвижения.

Быстродействие манипулятора определяется скоростью перемещения его рабочего органа. Быстродействие манипуляторов у роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малое – при линейных скоростях до 0,5 м/с;

среднее – при линейных скоростях от 0,5 до 1-3 м/с;

высокое – при больших скоростях.

Наибольшая скорость манипуляторов современных роботов достигает 10м/с и выше. Для значительной части областей применения роботов этот параметр очень важен, так как предопределяет их производительность. Основная трудность при повышении быстродействия связана с известным противоречием между быстродействием и другим не менее важным параметром – точностью. ***Точность манипулятора и системы передвижения робота*** характеризуется результирующей погрешностью позиционирования (при дискретном движении) или отработки заданной траектории (при непрерывном движении). Чаще всего точность роботов характеризуют абсолютной погрешностью.

Точность роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малая – при линейной погрешности от 1мм и более;

средняя – при погрешности от 0,1 до 1 мм;

высокая – при меньшей линейной погрешности.

Наименьшую точность имеют роботы, предназначенные для выполнения наиболее грубых, например, транспортных движений, а наибольшую микронную – роботы, используемые в электронной промышленности. По сравнению с человеческой рукой существенным недостатком современных роботов пока является снижение точности с увеличением хода манипуляторов, в то время как у человека эти параметры в значительной степени развязаны благодаря разделению движений на грубые (быстрые) и точные.

Другими параметрами, характеризующими технический уровень роботов, являются надежность, число одновременно работающих степеней подвижности, время программирования, а также основанные на перечисленных выше параметрах различные относительные и комбинированные показатели. К ним относятся, в частности, удельная грузоподъемность, отнесенная к массе робота, выходная мощность манипулятора (произведение грузоподъемности на скорость перемещения), отнесенная к мощности его приводов, относительные оценки габаритных параметров, манипуляционных кинематических и динамических характеристик, возможностей программирования, экономической эффективности и т.п. Однако эти относительные показатели технического уровня уже не являются паспортными параметрами, используемыми для характеристики конкретных роботов, а служат критериями качества, предназначенными для их оптимизации при проектировании и сравнительной оценке.

Приведем несколько примеров роботов и обрабатывающего оборудования, построенного по мехатронному принципу.

На рис.1.4 представлен вид копирующего манипулятора Маскот фирмы «Телеробот» (Италия), предназначенного для работы с опасными химическими или биологическими препаратами.

Рис. 1.4. Копирующий манипулятор Маскот фирмы «Телеробот» (Италия).

Серия роботов FANUC M-710iC (Япония) предназначена для работы с грузами среднего веса от 20 до 70 кг (Рис. 1.5).

Рис. 1.5. Вид робота FANUC M-710iC

Компактное запястье, жесткая конструкция руки, узкая база и зона досягаемости до 3,1 м делают их незаменимыми при выполнении множества задач, а благодаря высоким угловым скоростям осей этих роботы являются очень быстрыми. Они также отличаются высокой грузоподъемностью и прекрасными инерционными показателями, благодаря чему любая модель может применяться для выполнения широкого спектра операций.

Робот KUKA KR QUANTEC PA – один из лучших роботов-палетоукладчиков на рынке. KUKA KR QUANTEC PA Arctic – его модификация, робот функционирующий при экстремально низких температурах. (Рис.1.6). Он создан для работы преимущественно в морозильных камерах, при температурах до -30 °С. Электронные и механические части аппарата не нуждаются в защите от мороза, снега, инея, а также не выделяют излишнего тепла. Радиус действия манипулятора модификации Арктик, как и у стандартного KUKA KR QUANTEC PA, составляет 3195 мм, а полезная нагрузка – до 240 кг. Аппарат идеален для применения в пищевой промышленности и в условиях крайнего севера. Кроме составления штабелей из паллетов, робот может выполнять и другие манипуляции, ведь точность его движений, а точнее говоря – стабильность повторяемости позиционирования, составляет 0,06 мм.

Рис. 1.6. Вид робота KUKA KR QUANTEC PA Arctic

Идеальным вариантом для промышленных предприятий, специализирующихся на выпуске небольших электронных устройств, является модель FANUC M-1iA, представленная на рис.1.7.

Рис. 1.7. Вид робота FANUC M-1iA

Она обладает гибким модулем, хорошо имитирующим человеческую руку. Для нее характерна высокая точность и повышенная производительность. При небольшой грузоподъемности она способна обеспечить различные технологические операции. Исполнительный орган имеет форму шарнирного параллелограмма, обеспечивающую высокоскоростную сборку деталей.

Робот BigDog – четырехногий робот с адаптивным управлением, созданный в 2005 году фирмой Boston Dynamics (Рис.1.8).

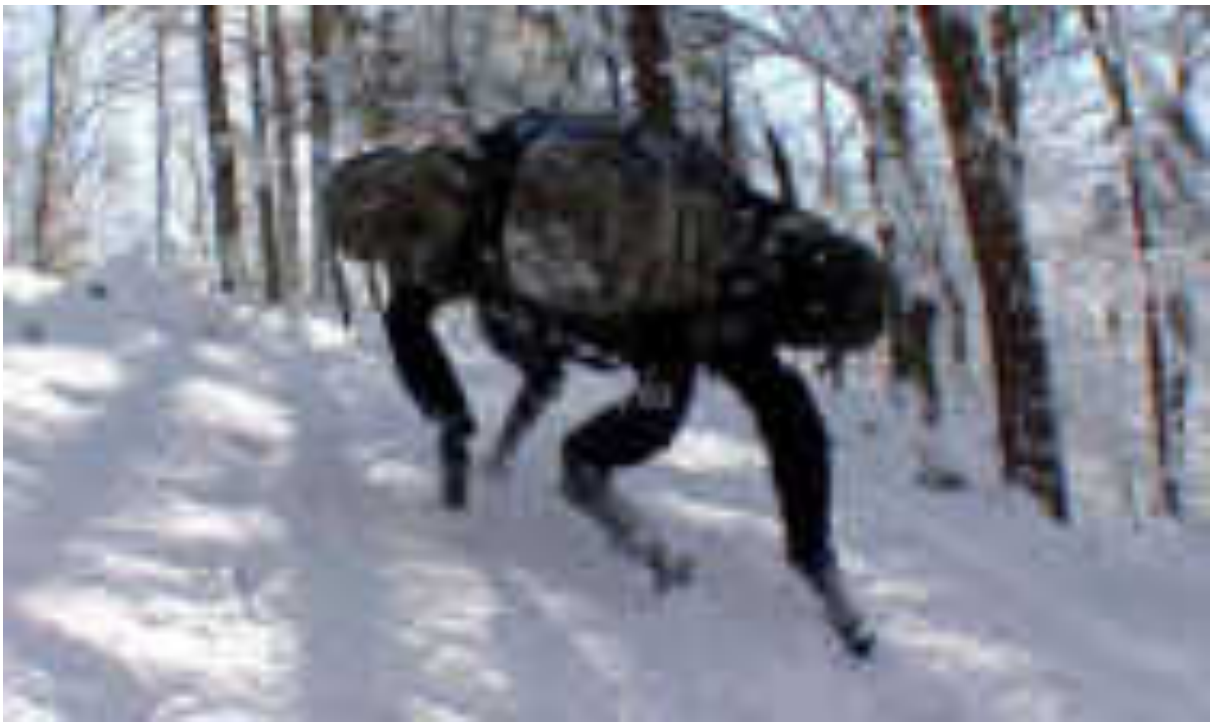


Рис. 1.8. Робот Big Dog

Робот сможет переносить снаряжение и помогать солдатам на территории, где не способен передвигаться обычный транспорт. Вместо колес и гусениц BigDog использует четыре ноги. В ногах находится большое количество разнообразных сенсоров. Также у BigDog имеется лазерный гироскоп и система бинокулярного зрения.

Длина робота Big Dog – 0,91 м, высота 0,76 м, вес 110 кг. В настоящее время он способен передвигаться по труднопроходимой местности со скоростью 6,4 км в час, перевозить 154 кг груза и подниматься на 35 градусную наклонную плоскость. Его передвижение контролирует компьютерная система, которая получает данные от различных сенсоров.

Универсальный фрезерный станок ФС-300 (Рис.1.9), изготавливаемый ВСЗ «Техника» г. Владимир, предназначен для обработки заготовок из черных и цветных металлов или их сплавов операциями фрезерования, сверления, развертывания, зенкерования под различными углами к плоскости стола.

Рис. 1.9. Вид станка ФС-300

На станке реализованы независимые привода подач по каждой координате. Фрезерный станок ФС-300 имеет возможность перемещения рабочих органов на роликовых направляющих по каждой координате с помощью передач винт-гайка или шариковинтовых пар. Зажим инструмента в шпинделях станка осуществляется пакетом тарельчатых пружин, разжим – гидравлический. Станок оснащается устройством цифровой индикации или УЧПУ.

Обрабатывающий центр OKUMA PM-600 (Япония), приведенный на рис.1.10, имеет параллельную кинематику исполнительного механизма на основе гексапода. Гексапод выполнен на базе шести механизмов поступательного перемещения, представляющих собой, например, шариковые винтовые передачи ШВП. Для изменения их длины служат регулируемые электроприводы. Контроль за величиной перемещения осуществляется датчиками положения. Одним концом штанга шарнирно соединена с основанием, а другим (также шарнирно) - с подвижной платформой, на которой установлен рабочий орган, например, мотор-шпиндель. Управляя вылетом штанг по программе, можно управлять положением шпинделя по шести координатам: *X*, *Y*, *Z* и тремя углами поворота.

Рис. 1.10. Обрабатывающий центр OKUMA PM-600

На рис. 1.11 представлен вид автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В разработки ООО «ТермоЛазер», г. Владимир.

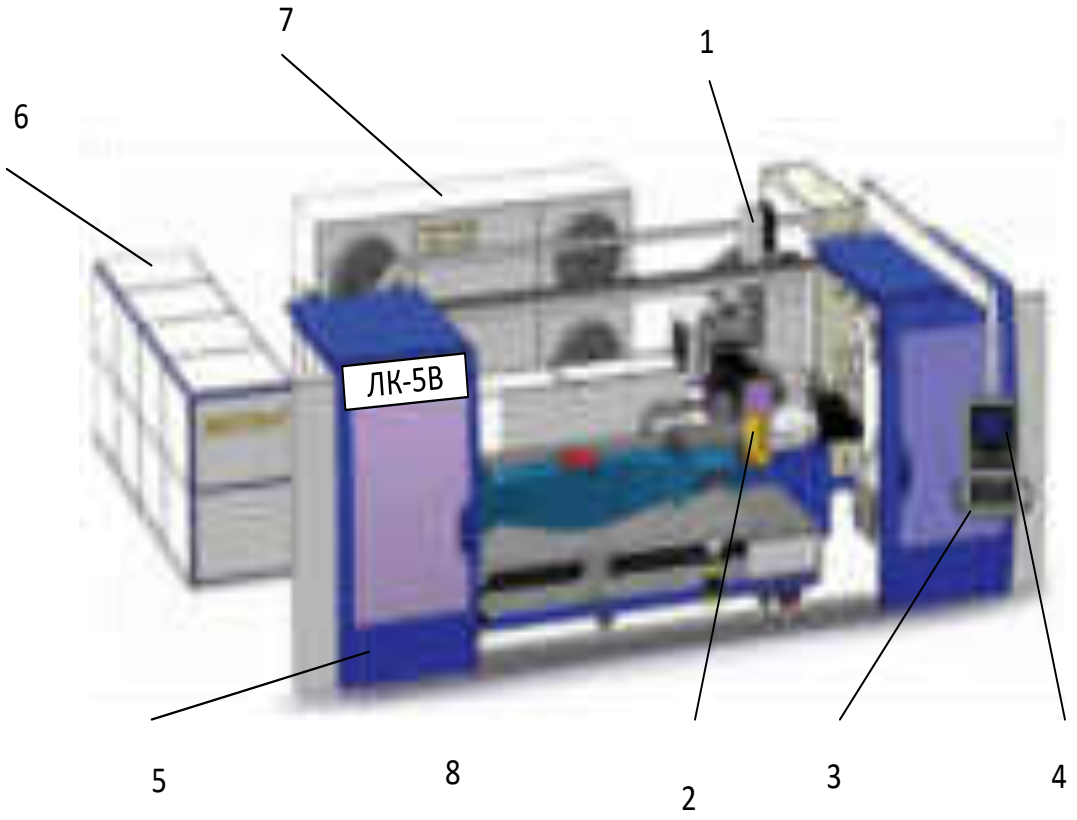


Рис. 1. 11. Вид автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В

Здесь обозначено: 1- мехатронная исполнительная система с манипулятором оптики; 2- оптическая головка; 3- пульт оператора; 4- монитор; 5 – кабинет; 6 – лазер; 7 – чилер; 8 – стол.

Ниже представлены основные технические характеристики комплекса.

1 Тип лазера - многоканальный CO2-лазер

2 Мощность излучения, кВт - 5

3 Пределы регулирования мощности, кВт - 0,5-5,0

4 Режимы работы лазера - непрерывный, импульсно-периодический

5 Апертура выходного излучения, мм - 72,5

6 Диаметр пятна излучения в зоне обработки, мм - 8-10

7 Количество степеней подвижности манипулятора луча - 5

8 Манипулятор детали устанавливается по желанию заказчика

9 Зона обработки по X, У, Z, мм - 2500*1000*500

10 Линейная скорость обработки, мм/с - 10-20

11 Производительность обработки, $мм^2/с$ - 70-160

12 Потребляемая мощность, кВт - 80

13 Расход лазерной смеси (CO2: N2 : He), л/ч - 4

14 Количество обслуживающего персонала, чел./в смену - 2

15 Занимаемая площадь, $м^2$ - 37,5

Комплекс предназначен для локального лазерного упрочнения путем перемещения пятна лазерного излучения относительно обрабатываемой детали.

Значительные величины перемещений лазерного пятна позволяют производить поверхностное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей крупногабаритных дорогостоящих деталей.

Рабочий стол комплекса грузоподъёмностью до 2000 кг обеспечивает свободную установку и базирование спутников-паллет, а комплект системы ЧПУ Sinumerik 840Di позволяет производить управление пятью осями на станке. Конструкция рабочего стола обеспечивает свободную установку и четкое базирование спутников-паллет, приспособлений и устройств с обрабатываемыми деталями, исключая случайное смещение деталей по координатам X, Y и Z и от горизонтального положения.

1.2. Устройство мехатронных модулей движения

Главным отличительным признаком мехатронного модуля движения (ММД) от общепромышленного привода является использование вала двигателя в качестве одного из элементов механического преобразователя движения. Примеры ММД: мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-барабан, электрошпиндель.

Мотор-редуктор объединяет в один компактный конструктивный модуль электродвигатель и преобразователь движения. Эта конструкция получила в настоящее время широкое распространение. Выпускается целая гамма различных типов мотор-редукторов для различных условий применения, позволяющая найти оптимальное решение каждой конкретной задачи.

По сравнению с традиционным соединением двигателя и редуктора через муфту моторы- редукторы обладают целым рядом существенных преимуществ:

- сокращение габаритных размеров;

- снижение стоимости за счет сокращения количества присоединительных деталей, уменьшения затрат на установку, наладку и запуск изделия;

- улучшенные эксплуатационные свойства (пыле- и влагозащищенность, минимальный уровень вибраций, безопасность и надежность работы в неблагоприятных производственных условиях).

Конструктивное исполнение модуля определяется типами используемых редуктора и электродвигателя. В зависимости от технических требований задачи применяются цилиндрические, насадные, конические, червячные и другие виды редукторов. В качестве электродвигателей наиболее часто используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и регулируемыми преобразователями частоты вращения, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока. Многие зарубежные и отечественные фирмы производят электродвигатели, цилиндрические и планетарные редукторы и на их основе мотор-редукторы, которые при необходимости снабжают фотоимпульсными датчиками, резольверами и тормозами (переводя таким образом в класс ММД). Блочно-модульная система присоединения к двигателю различных типов планетарных и цилиндрических редукторов, а также магнитных и цифровых фотоимпульсных датчиков показана на рис. 1.12.

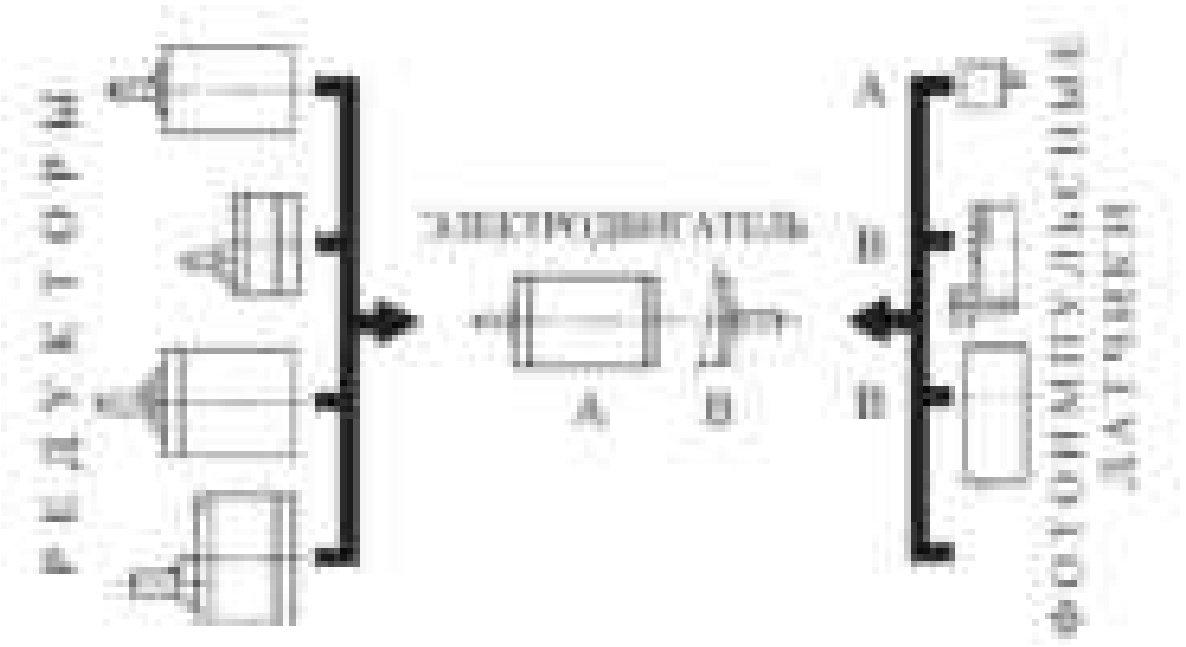


Рис. 1.12. Блочно-модульная система формирования
мотор-редукторов: А, В – исполнения двигателя

Конструктивное объединение двигателя и преобразователя движения в мотор-редуктор имеет ряд преимуществ по сравнению с устаревшей системой соединения двигателя и преобразователя движения через муфту. Это и значительное сокращение габаритных размеров, и существенное уменьшение количества соединительных узлов и деталей, и снижение затрат на установку, отладку и запуск.

Благодаря своим достоинствам мотор-редуктор является в настоящее время одним из наиболее распространенных видов электропривода. Во всем мире выпускают ежегодно миллионы штук мотор- редукторов различных типов и исполнений, что позволяет удовлетворить все мыслимые потребности. Мотор-редуктор с преобразователем движения в виде соосного цилиндрического редуктора (рис. 1.13) состоит из двух основных элементов: двигателя *1* и редуктора *2*, имеющего стыковочную поверхность *3* с отверстиями для крепления к ней двигателя винтами или болтами *4*.

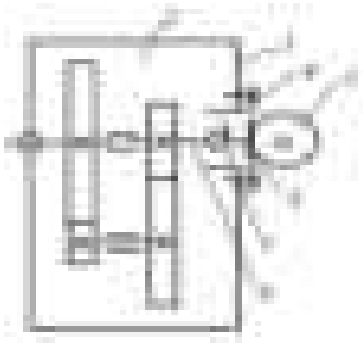


Рис. 1.13. Соосный двухступенчатый

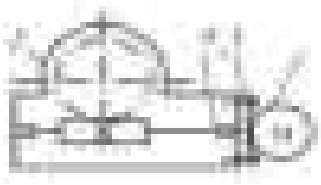


Рис. 1.14. Червячный мотор-редуктор редуктор

При объединении двигателя и редуктора в единый конструктивный модуль вал *5* двигателя вводят во входной полый вал *6* редуктора и закрепляют шпонкой *7*. Возможен вариант, когда двигатель и редуктор имеют общий вал. Схема одноступенчатого червячного мотор-редуктора представлена на рис. 1.14. Он состоит из двигателя *1* и червячного преобразователя движения *2*, соединенных в общий корпус винтами *3*. Вал *4* двигателя и преобразователя движения единый.

Внешний вид двухступенчатого червячного мотор-редуктора фирмы *MOTOVARIO* показан на рис. 1.15.

Рис. 1.15. Двухступенчатый червячный мотор-редуктор фирмы *MOTOVARIO*

В мотор-редукторах наиболее часто используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, регулируемые преобразователем частоты вращения вала, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока.

Планетарный зубчатый мотор-редуктор изображен на рис. 1.16.

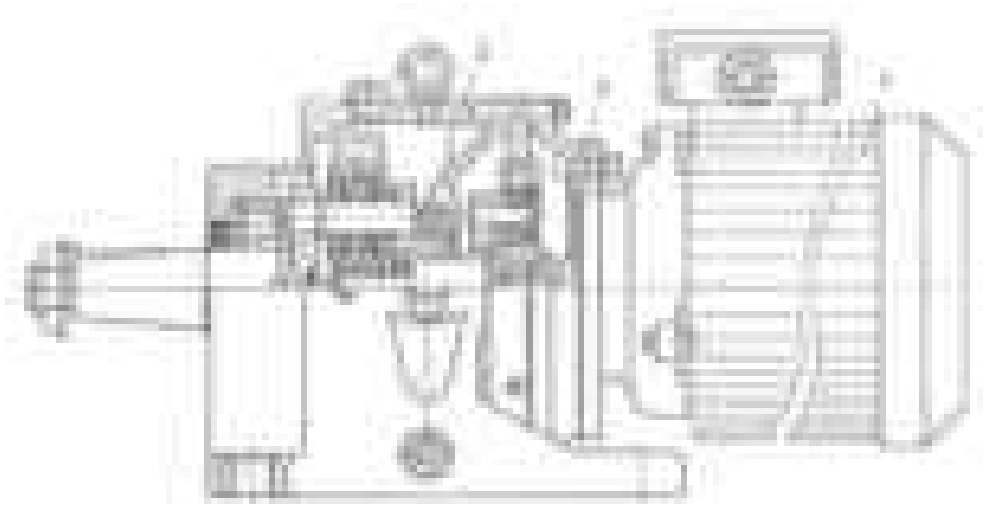


Рис. 1.16. Планетарный двухступенчатый мотор-редуктор

Он состоит из асинхронного двигателя *1* и двухступенчатого планетарного зубчатого преобразователя движения *2*, соединенных при помощи винтов *3* в единый корпус. В преобразователе движения плавающими элементами являются водило первой ступени и солнечная шестерня второй ступени, которые связаны между собой зубчатыми муфтами. Водило второй ступени выполнено заодно с выходным валом преобразователя движения. Сателлиты первой ступени установлены в водилах консольно.

Планетарно-цевочный одноступенчатый мотор-редуктор, состоящий из двигателя *1* и преобразователя движения *2*, соединенных в единый корпус винтами *3*, представлен на рис. 1.17.

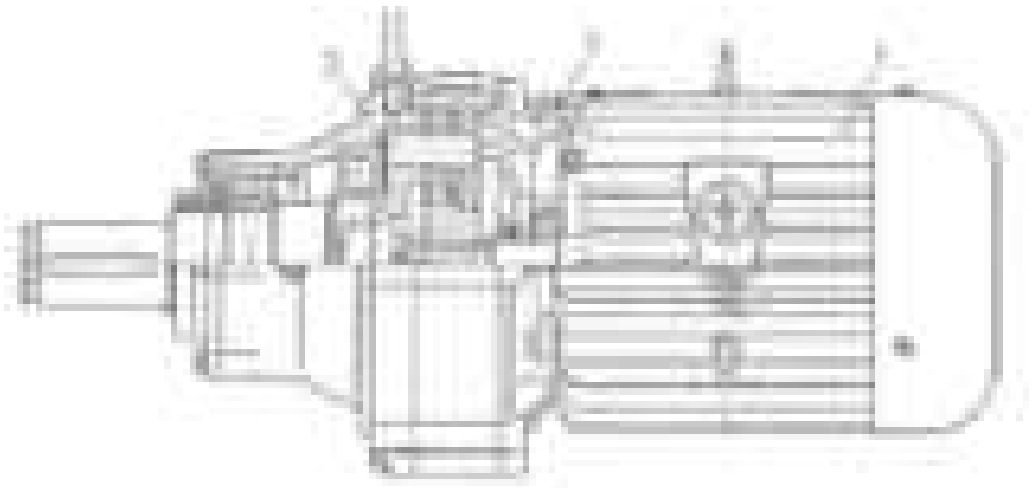


Рис. 1.17. Планетарно-цевочный мотор-редуктор

Мотор-редуктор на основе волнового механизма с лектромагнитным генератором волн изображен на рис. 1.18.

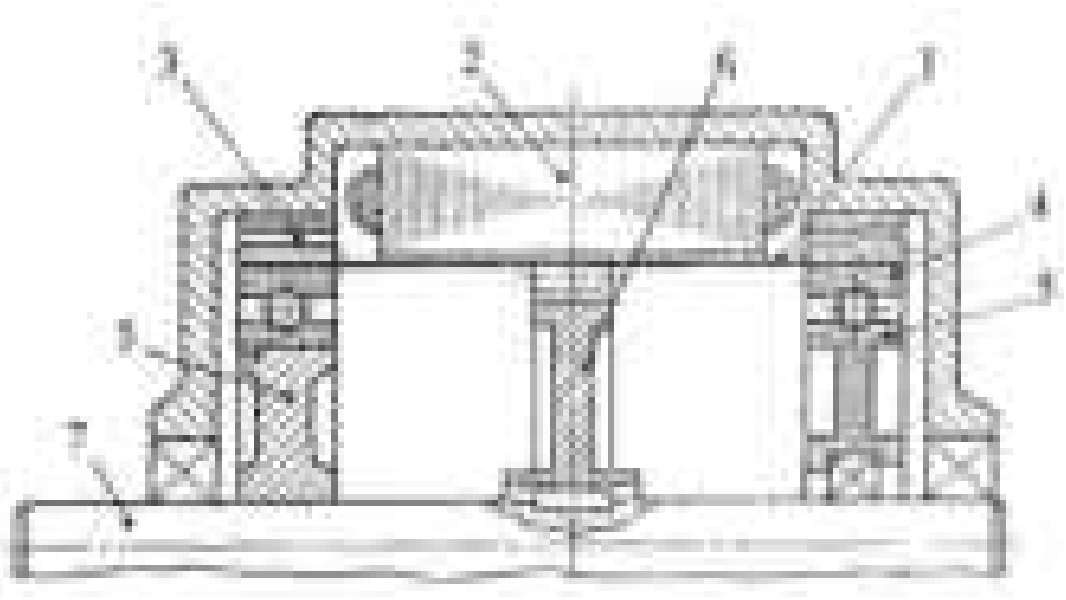


Рис. 1.18. Волновой мотор-редуктор

Он состоит из гибкого колеса *1*, электромагнитного генератора волн *2*, жестких колес *3*, гибких подшипников *4*, кулачков *5*, зубчатого колеса 6 и выходного вала *7*. При работе мотор-редуктора гибкое колесо под воздействием электромагнитного генератора волн входит в зацепление с жесткими колесами. При этом гибкое колесо деформируется синхронно с вращающимся электромагнитным полем и, взаимодействуя с жесткими колесами, вращается относительно корпуса, передавая через зубчатое колесо *6* вращение выходному валу. Кулачки с надетыми на них гибкими подшипниками приходят в движение вместе с гибким колесом.

Кулачки можно устанавливать на выходной вал непосредственно или при помощи подшипников качения. Во втором случае обеспечивается радиальная координация гибкого колеса относительно жесткого, увеличивается надежность, долговечность и повышается коэффициент полезного действия модуля движения.

Во многих случаях скорость вращения выходного вала мотор-редуктора должна быть изменяемой. Реализовать это требование возможно применением механических вариаторов, позволяющих регулировать скорость вращения, либо применением электронных устройств,

изменяющих скорость вращения двигателя. Каждый из указанных способов, имеющих свои преимущества и недостатки, применяют в зависимости от тех конструктивных и технологических задач, которые необходимо решить. Например, если требуется повысить передаваемый момент на выходном валу, то целесообразно применять конструкцию мотор-редуктора с механическим вариатором. Если же необходимо расширить диапазон регулирования скорости либо сохранить минимальные габариты и массу мотор-редуктора, то предпочтительны частотные преобразователи скорости. В мотор-редукторах могут быть использованы различные типы вариаторов. При этом изделие получает название «*мотор-вариатор- редуктор*». На рис. 1.19 представлена общая компоновочная схема мотор-вариатор-редукторов.

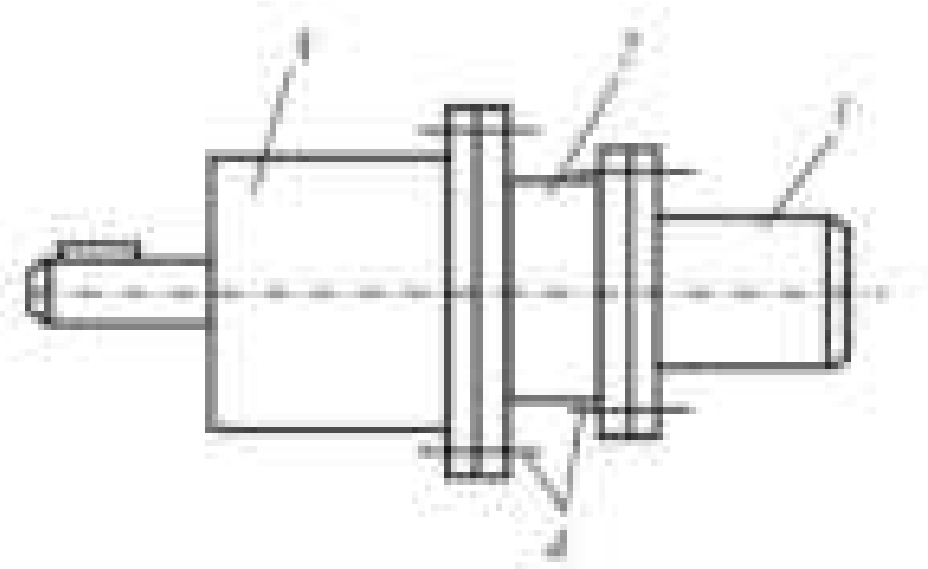


Рис. 1.19. Компоновка мотор-вариатор-редуктора

Двигатель *1*, вариатор 2 и редуктор *3* соединяют фланцами с помощью винтов (болтов) *4*. Применение мотор-редукторов в комплекте с частотными преобразователями скорости позволяет посредством изменения скорости вращения вала двигателя осуществлять плавное (бесступенчатое) регулирование скорости выходного вала с сохранением момента.

Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного преобразователя движения типа *K-H-V* представлена на рис. 1.20.

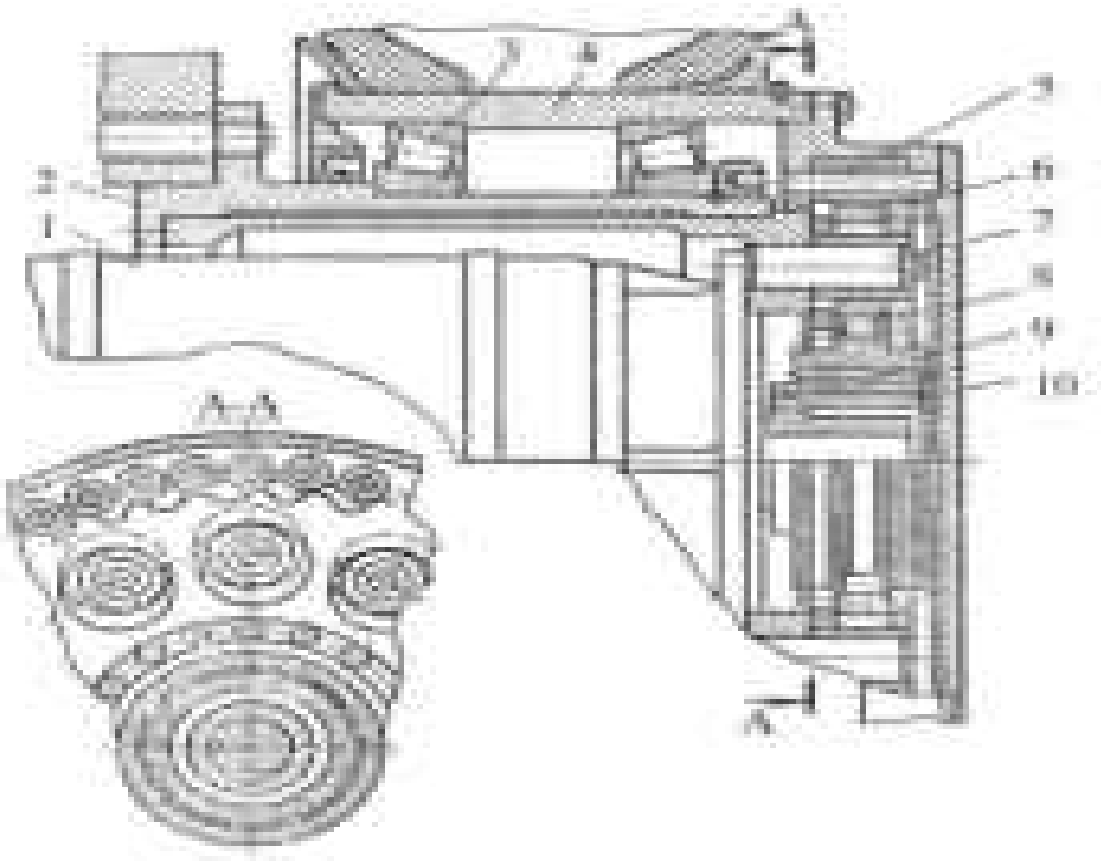


Рис. 1.20. Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного редуктора

Эксцентрик *9* связан с валом электродвигателя *7* через двойную зубчатую муфту *10*. Для роликов *8* эксцентрик имеет три беговые дорожки. Через сателлит *6* вращение передается цевочному колесу *5* и дальше на ступицу колеса *4*, которая опирается на два конических радиально-упорных подшипника *3*. Механизм параллельных кривошипов *7* установлен в неподвижной ступице *2*. Передача является двухсателлитной, причем один из сателлитов раздвоен и расположен симметрично относительно другого, что исключает неравномерность распределения нагрузки по длине цевок колеса *5*. Эксцентрик *9* выполнен плавающим и не имеет радиальных опор. Конструкция компактна и достаточно проста в сборке и разборке.

Развитие новых электронных технологий привело к созданию миниатюрных датчиков и электронных блоков для обработки их сигналов. Это позволило ввести в ММД электронные и информационные устройства, наличие которых является главным отличительным признаком ММД от МД. Важным шагом в развитии приводной техники

стало появление высокомоментных двигателей вращательного движения, применение которых позволило вообще исключить механический редуктор из состава электроприводов постоянного тока, работающих на низких скоростях. Высокомоментными называются двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и электронной коммутацией обмоток, которые допускают многократную перегрузку по моменту. Для определения положения полюсов на роторе вентильного ВМД устанавливают дополнительные технические средства (например, датчики Холла, индуктивные и фотоэлектрические датчики). Обычно высокомоментные двигатели (ВМД) устойчиво работают на частотах вращения 0.1-1 1/мин, которые типичны для металлорежущих станов и промышленных роботов. Основные преимущества ВМД определяются отсутствием в приводе редуктора: - снижение материалоемкости, компактность и модульность конструкции; - повышенные точностные характеристики привода благодаря отсутствию зазоров; - исключение трения в механической трансмиссии позволяет существенно уменьшить погрешности позиционирования и нелинейные динамические эффекты на ползучих скоростях; - повышение резонансной частоты. ВМД выпускаются в настоящее время коллекторного и вентильного (иногда используется термин «бесщеточного», либо «бесконтактного») типов. Основные преимущества вентильных двигателей по сравнению с коллекторными: - высокая надежность, большой срок службы, минимальные затраты на обслуживание (вследствие исключения искрения и износа щеток); - улучшенные тепловые характеристики (так как тепло рассеивается на обмотках статора, а на роторе тепловыделяющие элементы отсутствуют), отсюда возможность использования проводов малого сечения; - высокое быстродействие за счет высокого соотношения развиваемый момент/ момент инерции ротора;

- большая перегрузочная способность по моменту (типично Ммах/Мном = 8) в широком диапазоне регулирования скорости;

- близкие к линейным механические и регулировочные характеристики. По сравнению с синхронными двигателями вентильные ВМД позволяют регулировать скорость вращения с помощью обратной связи, частота вращения не зависит от напряжения питания, нет проблемы выпадения из синхронизма.

Основной недостаток вентильных двигателей - наличие дорогостоящих магнитов и блока управления коммутацией обмоток, отсюда пониженный показатель мощность/цена и повышенные габариты. В современных модификациях эта проблема решается путем построения этих блоков на базе относительно дешевых интегральных микросхем. В состав современных мехатронных модулей движения на основе ВМД обязательно входят также датчики обратной связи и иногда управляемые тормоза, что позволяет отнести такие ММД ко второму поколению. В качестве датчиков наиболее часто применяются фотоимпульсные датчики (энкодеры), тахогенераторы, резольверы и кодовые датчики положения. Принципиально важно, что модуль "двигатель-датчик" имеет единый вал, что позволяет сочетать высокие технические параметры и низкую стоимость.

Современное производство предъявляет к ММД целый ряд требований: высокая точность реализации исполнительных движений; надежность, долговечность; возможность работы при наличии различных видов возмущений и в широком диапазоне температур окружающей среды; значительно меньшие массогабаритные показатели по сравнению с обычным электроприводом. Требования к развиваемым усилиям, точности и скорости исполнительных движений диктуются особенностями автоматизируемых операций, а требование минимизации размеров – необходимостью встраивания модуля в ограниченное пространство. Попытка синтеза ММД из имеющихся в наличии серийно выпускаемых компонентов может привести к технически и экономически неэффективным решениям. Рациональным является проектирование специализированного ММД, наиболее полно отвечающего его служебному назначению. Сложность и противоречивость требований, предъявляемых к ММД, обусловливает целесообразность мехатронного подхода к их проектированию. В частности, следование принципу синергетической интеграции элементов системы приводит к обеспечению желаемого уровня качества модуля за счет конструктивного и функционального взаимопроникновения его компонентов, многие из которых являются специализированными и создаются в ходе параллельного системного проектирования с учетом их последующего объединения. Если преобладающим является требование обеспечения компактности, то оно может быть реализовано путем использования бесконтактных электрических машин и их интеграции с преобразова-

телями движения и информационно-измерительными элементами. При этом преобразователи движения и датчики не являются отдельными устройствами, а становятся неотъемлемыми элементами двигателя. Синергетический эффект достигается также за счет выполнения некоторыми компонентами ММД нескольких функций одновременно. Такие решения позволяют исключить многие механические интерфейсы, упростить и удешевить конструкцию, устранить необходимость механической подгонки и согласования датчика и двигателя. ММД являются функциональными «кубиками», из которых можно компоновать сложные мехатронные системы.

Примеры ММД: модули на основе электродвигателей углового линейного движения и различных преобразователей движения (винтовых, червячных, планетарных, волновых и т. п.), безредукторные ММД, безредукторные поворотные столы. ММ линейного движения выходного звена изображен на рис. 1.21.

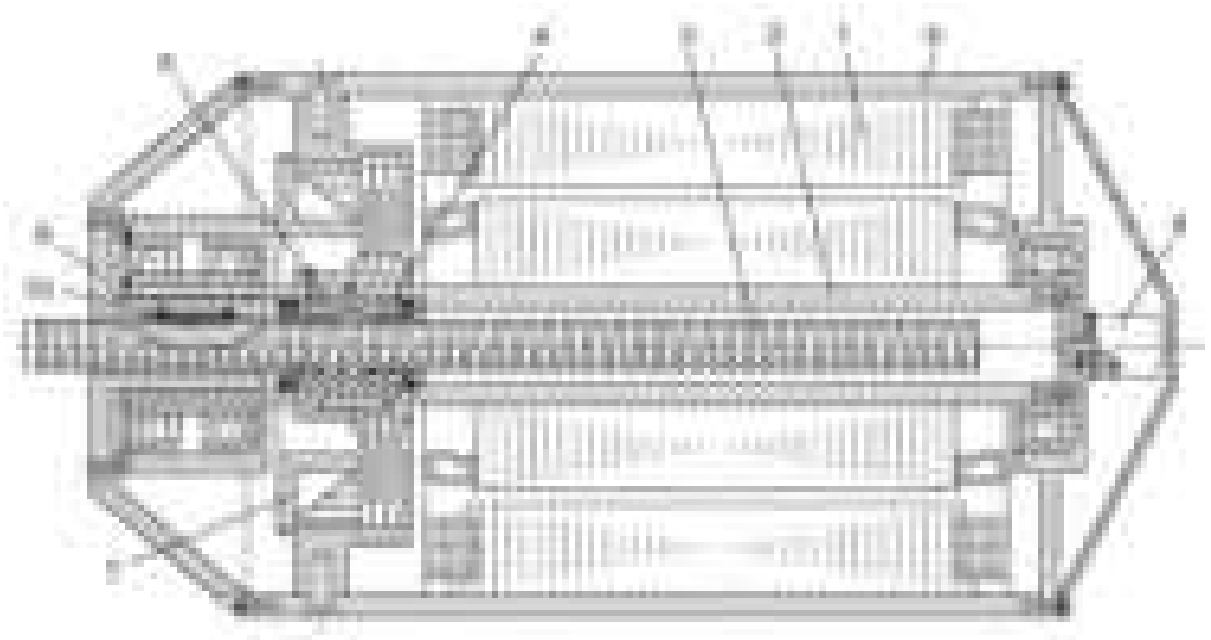


Рис. 1.21. Мехатронный модуль линейного движения

Он состоит из асинхронного двигателя *1* с полым валом *2*, шариковинтовой передачи, включающей в себя винт *3*, шарики *4*, составную гайку *5*, соединенную с валом *2*, направляющей *6*, нормально замкнутого электромагнитного тормоза *7*, фотоимпульсного датчика *8* и корпуса *9*. При вращении ротора двигателя *1* вал *2* вращает гайку *5*, которая через шарики *4* вызывает поступательное перемещение винта

3. Для предотвращения проворачивания и уменьшения трения при перемещении винта *3* в нем сделаны три продольных паза, в которые входят шарики *10* направляющей *6*. Величину перемещения винта *3* фиксирует фотоимпульсный датчик *8*. Электромагнитный тормоз *7*, закрепленный в корпусе *9*, в случае отключения электроэнергии срабатывает и останавливает винт.

Двухстепенной (двухкоординатный) ММД показан на рис. 1.22.

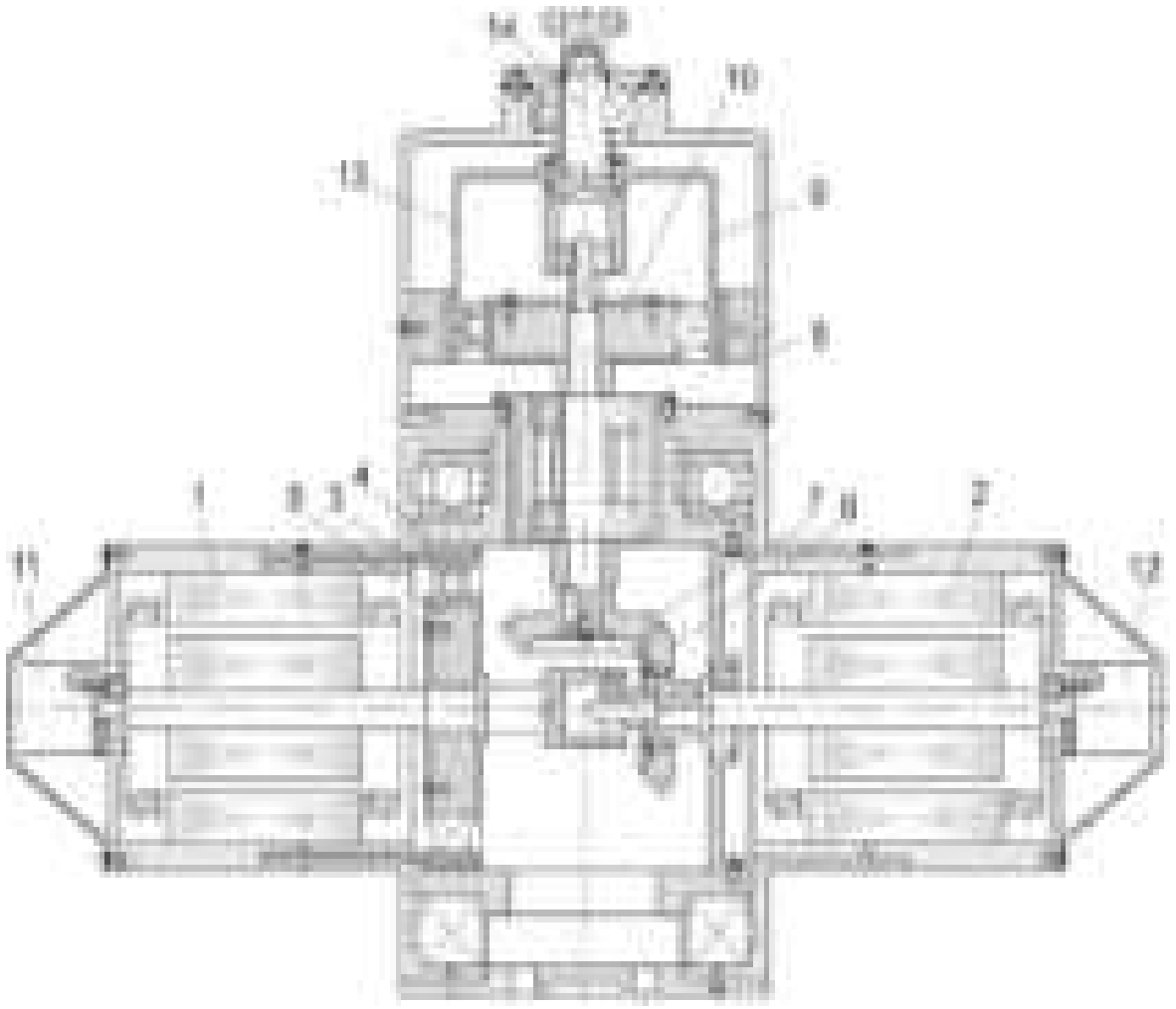


Рис. 1.22. Двухкоординатный мехатронный модуль движения

Модуль состоит из двух двигателей *1* и *2*, волнового преобразователя движения с неподвижным гибким колесом *3*, подвижным жестким колесом *4* и кулачковым генератором волн *5*, двухступенчатого преобразователя движения, состоящего из конической зубчатой передачи *6–7*, волнового преобразователя движения с неподвижным жест-

ким колесом *8*, подвижным гибким колесом *9* и кулачковым генератором волн *10*, двух фотоимпульсных датчиков *11* и *12*. При включении двигателя *1* генератор волн *5* начинает вращаться и жесткое колесо *4* вместе со связанным с ним корпусом *13* приходит в движение. При включении двигателя *2* вращение его вала через пару зубчатых колес *6–7* приводит во вращение генератор волн *10*, и гибкое колесо *9* вместе со связанным с ним выходным валом *14* приходит в движение. Фотоимпульсные датчики *11* и *12* предназначены для определения положения и перемещения корпуса *13* и выходного вала *14* соответственно.

На рис. 1.23 изображен ММД фирмы *MAXON*.

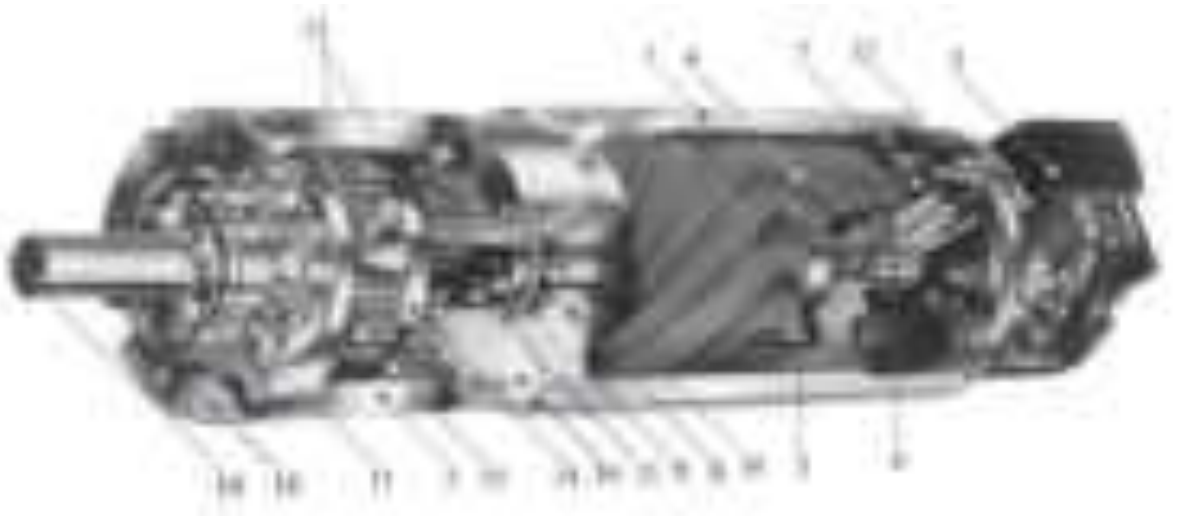


Рис. 1.23. Мехатронный модуль движения фирмы *MAXON*

Он состоит из коллекторного двигателя *1*, двухступенчатого планетарного редуктора *2* и фотоимпульсного датчика положения *3*.

Двигатель включает в себя обмотку *4*, магнит *5*, коллектор *6*, щетки *7*, фланец *8*, подшипник *9*, вал *10*, заканчивающийся вал-шестерней *11*, крышку *12*. Каждая ступень редуктора типа 2К-*H* с одним внешним и одним внутренним зацеплениями имеет два центральных колеса *11* и *13*(первая ступень), водило *14* и сателлиты *15*. Для установки подшипника *9* имеется специальная монтажная плита *16*. Подшипник *17* закреплен во фланце *18* преобразователя движения, через который проходит выходной вал *19*. Фотоимпульсный датчик предназначен для определения положения и перемещения выходного вала.

Важнейшим этапом развития ММД стали разработки модулей типа «*двигатель – рабочий орган*». Такие конструктивные модули

имеют особое значение для технологических мехатронных систем, целью движения которых является реализация целенаправленного воздействия рабочего органа на объект работ. ММД типа «*двигатель – рабочий орган*» широко применяют в шлифовальных и фрезерных станках под названием мотор-шпиндели.

В настоящее время выпускают широкую номенклатуру высокоскоростных прецизионных электро- и пневмошпинделей с частотой вращения 9000… 250000 об/мин, предназначенных для обработки различных металлов и неметаллических материалов шлифованием, фрезерованием, сверлением, а также специального назначения, в том числе для промышленных лазеров. Высокоскоростной шпиндель, используемый в составе металлорежущего станка, должен обеспечивать ряду технических требований, к которым в первую очередь относятся:

- высокая пиковая мощность и мощность постоянного действия;
- максимальная радиальная и аксиальная жёсткость;
- максимальная скорость вращения;
- соответствующая требованиям высокоскоростной обработки (ВСО) система крепления инструмента, часто с возможностью автоматической смены инструмента.

Для каждого конкретного практического приложения должен быть произведён выбор между шпинделем с ременной передачей и моторшпинделем. На рис.1.24 приведен электрошпиндель со встроенным двигателем датчиками и исполнительными элементами для контроля процесса высокоскоростной обработки.

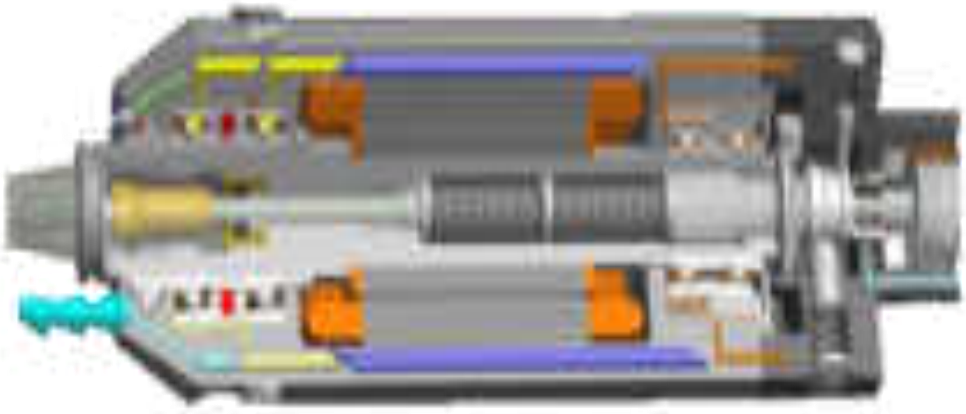


Рис. 1.24. Вид моторшпинделя

Двигатель интегрирован в корпус шпинделя и обеспечивает возможность высоких скоростей вращения без ограничений, обусловленных ременными и зубчатыми передачами. Моторшпиндель состоит из установленного на подшипниках шпиндельного вала, двигателя и системы зажима инструмента. Смазка подшипников перманентная на весь срок службы или воздушно-масляная. Воздушно-масляная смазка позволяет достичь более высокие – на 20% и выше скорости вращения. Мощность электрошпинделя определяется мощностью мотора. Выбор шпинделя для конкретного приложения определяется требованиями станка. В конечном итоге должен быть сделан выбор оптимальной комбинации скорости вращения, мощности, жёсткости и нагрузочной способности.

ММД в виде безредукторного поворотного стола (рис. 1.25) предназначен для обеспечения режимов позиционирования и контурной обработки на фрезерных, сверлильных и расточных станках.

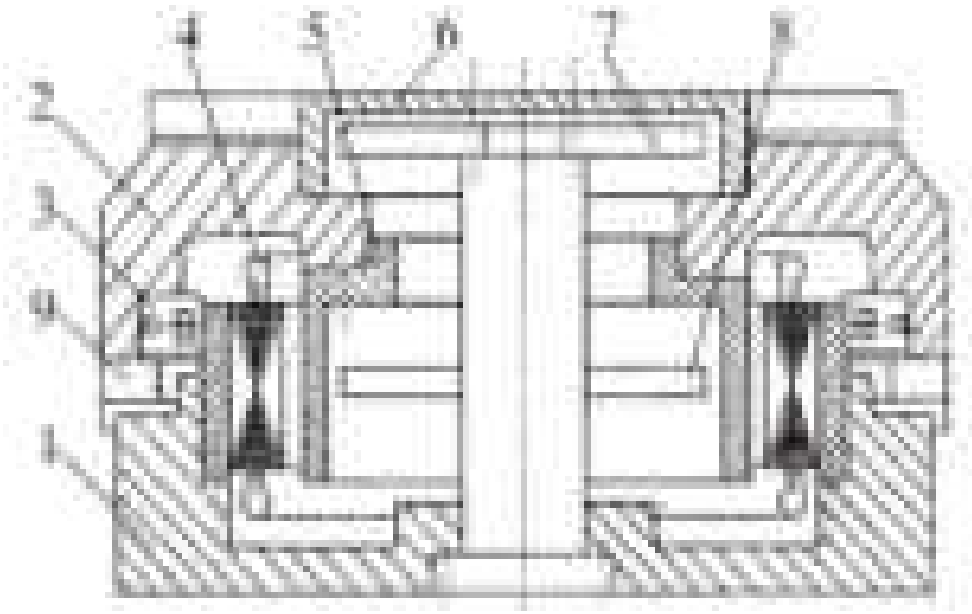


Рис. 1.25. Безредукторный поворотный стол

Стол состоит из основания *1* и собственно поворотного стола *2*, опирающегося на упорные подшипники *3*, встроенного двигателя *4*, ротор *5* которого соединен с планшайбой *6*, датчика *7* положения, датчика *8* скорости и гидротормоза *9*, обеспечивающего фиксацию планшайбы в нужном положении. Безредукторное соединение ротора двигателя с планшайбой позволяет увеличить точность позиционирования

стола и расширить его технологические возможности. Одновременно упрощается конструкция стола, уменьшается число деталей, повышается жесткость.

Мехатронный подход к построению модулей вращательного движения на базе высокомоментных двигателей получил в последние годы свое развитие и в модулях линейного перемещения. Цель проектирования аналогична - исключить механическую передачу из состава ММД. Мехатронные модули движения на основе линейных высокомоментных двигателей (ЛВМД) находят все большее применение в гексаподах, высокоскоростных станках (многоцелевых, фрезерных, шлифовальных), комплексах для лазерной и водоструйной резки, вспомогательном оборудовании (крестовых столах, транспортерах). Традиционные электроприводы линейных перемещений включают в себя двигатель вращательного движения и механическую передачу для преобразования вращения в поступательное движение (шарико-винтовую передачу (ШВП), зубчатую рейку, ленточную передачу и т.п.). С начала 80-х годов известны разработки собственно линейных двигателей, однако из-за низких удельных силовых показателей они имели ограниченную область применения (графопостроители, координатно-измерительные машины) и в автоматизированном оборудовании не могли быть использованы.

Рис. 1.26. Мехатронный модуль с линейным двигателем

Основные преимущества модулей на базе ЛВМД по сравнению с традиционными линейными приводами:

- повышение в несколько раз максимальной скорости движения (до 150-210 м/мин) и ускорения (в перспективе до 5g);
- высокая точность реализации движения;
- высокая статическая и динамическая жесткость.

Вместе с тем имеется ряд проблем при проектировании и внедрении ЛВМД: более высокая стоимость, необходимость использования систем охлаждения ММД (жидкостной или воздушной), относительно невысокий к.п.д. модуля.

1.3. Информационная система и датчики мехатронных и робототехнических систем

Информационная система (ИС) представляет собой совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, предназначенных для получения измерительной и другой информации, необходимой для нормального функционирования мехатронного или робототехнического устройства, передачи, хранения и преобразования этой информации (в том числе осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации) в целях представления информации потребителю (системе управления или человеку-оператору) в виде, удобном для принятия решения. ИС являются важнейшей составной частью МС и занимают в них особое место: именно они обеспечивают координацию и синхронизацию работы всех других систем. Благодаря ИС объект приобретает новые системные свойства (целостности, организованности, иерархичности структуры), которые не являются простой суммой свойств составляющих систем.

Любая мехатронная или робототехническая система должна иметь возможность контролировать состояние своих подсистем, а также значимые для ее нормального функционирования параметры внешней среды. Такая информация позволяет, например, мобильному роботу следить за своим состоянием, правильно ориентироваться в

окружающем пространстве, выбирать оптимальный маршрут движения и рабочие объекты, своевременно избегать опасных ситуаций (перегрева, опрокидывания, причинения вреда человеку и т.п.). Робот, лишенный возможности получать информацию о состоянии своих подсистем и окружающем пространстве подобен человеку, лишенному не только пяти органов чувств, но информации от многочисленных биологических сенсоров, расположенных, например, в наших суставах (чтобы убедиться в их наличии, закройте глаза и вы без труда сможете описать положение любого сустава руки или ноги!). Чтобы подсистема управления робота смогла принимать адекватные решения, поступающая к ней из внешней среды (от датчиков очувствления) и от блоков самого робота (в том числе и хранящаяся в запоминающих устройствах) информация должна быть достаточно полной и достоверной. При этом, чем выше «интеллектуальный уровень» мехатронной системы, тем в большей степени работа ее подсистемы управления основана на текущей информации, поступающей от датчиков и обрабатываемой в реальном масштабе времени.

Основными процессами, позволяющими ИС получать необходимую информацию, являются обнаружение событий и объектов, измерение их параметров, обработка результатов измерения, в том числе контроль, диагностика, распознавание образов. В соответствии с этим можно классифицировать ИС по составу, выполняемым функциям и уровню интеллектуальности.

По мере развития ИС качество получаемой с их помощью информации и расширение функциональных возможностей все чаще связывается с их интеллектуализацией. При этом понятие интеллектуальности непосредственно связано с наличием процессора и программной части. Именно переход к созданию процессорных ИС явился главным шагом по формированию предпосылок для появления интеллектуальных ИС.

Однако само наличие процессора и программной части еще не определяет уровня интеллекта ИС. За основу определения этого уровня примем следующее положение: уровень интеллекта обусловливается

возможностями использования априорной (банк знаний и банк данных) и текущей информации для синтеза и выполнения алгоритмов, характеризующихся наилучшим для принятых условий и ограничений метрологическим качеством результатов измерений и синтезированной на их основе управляющей информации. В ИС низших уровней развития процессы измерения и обработка их результатов производится по заранее заданным алгоритмам. В высокоразвитых ИС в той или иной степени используется искусственный интеллект.

Информационные устройства и системы, как и органы чувств человека, предназначены для сбора информации о состоянии внешней среды и внутреннем состоянии робота. В качестве ее элементов используются телевизионные, светолокационные, ультразвуковые, тактильные и другие датчики. Функционально органы очувствления роботов (мехатронных систем) датчики – можно подразделить на два основных класса: датчики внутреннего состояния и датчики внешнего состояния (Рис.1.27). Основное назначение средств очувствления МС состоит в том, чтобы существенно снизить объем необходимой априорной информации. Кроме того, их включение в состав систем управления позволяет существенно упростить процедуру обучения МС, повысить динамическую точность и быстродействие исполнительных органов. Представим, что перед нами робот, перемещающий деталь из кассеты на сборочный стол и работающий по жесткой программе (без датчиков). Если детали не будет в том месте, откуда робот должен ее взять, он все равно сделает хватательное движение и будет перемещать пустой схват в место назначения на рабочем столе. Если на пути движения руки такого робота встретится препятствие, движение руки не будет остановлено (что может привести к поломке робота или повреждению препятствия). Робот, снабженный датчиками очувствления, сможет взять деталь, даже, если она находится не точно в заданном месте или иначе ориентирована, при движении рука робота остановится перед препятствием, т. е. очувствленный робот учитывает изменения внешней среды и корректирует свои действия в соответствии с этими изменениями.

Рис. 1.27. Классификация информационных устройств и систем используемых в мехатронике и промышленных роботах

В зависимости ***от принципа действия*** датчики с электрическим выходным сигналом можно разделить на две группы: ***генераторные*** или активные и ***параметрические*** или пассивные. В генераторных датчиках преобразование измеряемой величины осуществляется непосредственно в электрический сигнал (т.е. такие датчики генерируют электрическую энергию). К ним, например, относятся пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические (использующие появление

ЭДС в полупроводниковом pn-переходе при его освещении), термоэлектрические. В **параметрических** датчиках измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи – сопротивление, индуктивность, емкость и т.п., причем для питания датчика необходим источник электрической энергии. К таким датчикам, например, относятся емкостные, индуктивные, электроконтактные, потенциометрические, тензорезисторные.

По используемым ***физическим явлениям и эффектам*** можно выделить следующие виды датчиков, получивших наибольшее распространение в ИС мехатронных устройств: тензорезисторные (для измерения усилий, давлений, моментов, малых перемещений, ускорений и пр.), реостатные (для измерения усилий, давлений, перемещений, линейных и угловых скоростей и ускорений), индуктивные и индуктивно-трансформаторные (для измерения усилий, давлений, линейных перемещений), индукционные (для измерения линейных и угловых скоростей), пьезоэлектрические (для измерения вибраций, динамических усилий, давлений), емкостные (для измерения линейных и угловых перемещений, давлений, состава вещества), магнитоупругие (для измерения усилий, давлений, моментов), фотоэлектрические (для измерения линейных и угловых перемещений, линейных и угловых скоростей, положения объектов, линейных размеров и пр.).

Для измерения угловых перемещений чаще всего применяются потенциометрические датчики, преобразующие угол поворота в напряжение. Точность прецизионных потенциометров может достигать 0,01-0,05 %, разрешающая способность – 0,05-0,01 %. С повышением разрешающей способности потенциометра, как правило увеличиваются его габариты, которые для большинства прецизионных потенциометров колеблются в следующих пределах: диаметр 60-150 мм, высота 50-90 мм. Малые габариты и очень высокую разрешающую способность имеют многооборотные спиральные потенциометры.

Основные недостатки потенциометрических датчиков заключаются в износе проволоки и щётки, ограниченной разрешающей способности и низкой чувствительности по напряжению. От этих недостатков свободны трансформаторные преобразователи угловых перемещений. Наибольшее распространение имеют вращающиеся трансформаторы и сельсины, позволяющие получать напряжения переменного тока, про-

порциональные тригонометрическим функциям угла поворота или самому углу. Следует отметить, что однозначная зависимость выходного напряжения у них в функции угла поворота ограничена интервалом 0-π. Недостатком трансформаторных преобразователей является сравнительно низкая точность воспроизведения функции угла поворота, не превышающая в большинстве случаев 0,1-0,2%.

Для измерения линейных перемещений можно использовать как потенциометрические, так и индуктивные датчики. Использование индуктивных датчиков для непосредственного измерения перемещения возможно только при движении подвижного звена в пределах 80-100мм. Для повышения точности измерения обычно применяют датчики дифференциального типа с двумя катушками. Основной недостаток этих датчиков заключается в нелинейности их характеристик, что и затрудняет их использование для измерения значительных перемещений. для измерения линейных и угловых перемещений можно использовать счётные датчики, т.е. датчики, у которых выходная величина представляется числом импульсов. В тех случаях, когда требуется различать направление измерения измеряемой величины, применяют двухфазную систему воспринимающих элементов. Наряду с измерением угловых и линейных перемещений часто необходимо иметь информацию, о различного рода деформациях и механических напряжениях. Для измерения относительных деформация в пределах 0,005-1,5 % обычно используются проволочные тензометры на бумажной основе, а также фольговые и плёночные тензосопротивлеия. Тензосопротивления практически безинерционны и могут применяться в диапазоне частот от 0 до 100 кГц. Рядом преимуществ перед подобными тензосопротивлениями обладают полупроводниковые тензодатчики: очень малые размеры (до 1 мм), высокая тензочувствительность (на 2 порядка выше, чем у проволочных тензометров), высокий уровень выходного сигнала. Полупроводниковые тензосопротивлеия могут иметь как положительный, так и отрицательный коэффициент тензочувствительности, т.е. при деформации из сопротивление может увеличиваться, и уменьшаться. К их недостаткам следует отнести изменение коэффициента тензочувствительности в зависимости от уровня деформации, температуры, удельного сопротивления материала.

Поскольку ИС мехатронного устройства предназначена для получения и обработки информации о состоянии **как самого мехатронного устройства**, так и **внешней среды**, в состав ИС входят датчики ***внутренней*** и ***внешней информации.***

Датчики внутренней информации служат для измерения величин, характеризующих внутреннее состояние МС, т.е. для определения положений и скоростей перемещения исполнительных органов, усилий в их звеньях, а также параметров внутренней среды, обеспечивающей нормальное функционирование устройства. Датчики внешней информации предназначены для контроля наличия, формы, положения и ориентации в пространстве объектов манипулирования, свойств внешней среды и параметров возмущений, влияющих на функционирование МС в этой среде.

По способности воспринимать информацию на различных расстояниях от ее источника средства очувствления могут быть условно разделены на **бесконтактные и контактные**

Бесконтактные средства очувствления, оперирующие с геометрическими характеристиками объектов внешней среды, включают два класса устройств: системы технического зрения и локационные системы очувствления.

Средства очувствления контактного действия, которые измеряют действующие на манипулятор силы и моменты, а также фиксируют координаты точек их приложения, представлены системами силомоментного и тактильного очувствления [6]. Создание силомоментных систем вызвано необходимостью измерения сил и моментов в процессе взаимодействия схвата или инструмента с объектом манипулирования при выполнении, например, механической обработки, абразивной зачистки и шлифовки изделий. Применение силомоментных систем очувствления позволяет автоматизировать указанные технологические операции при минимуме затрат на разработку и создание дополнительного оборудования, например, конвейеров и позиционеров, обеспечивающих высокую точность начальной установки собираемых деталей. Эти же системы очувствления могут быть с успехом использованы также и для решения многих манипуляционных задач, особенно при работе с жесткими деталями, когда незначительные погрешности позиционирования могут вызвать большие усилия, которые трудно проконтролировать другими средствами.

Силомоментные системы очувствления состоят из датчика и устройства предварительной обработки информации. В общем случае они обеспечивают измерение трех проекций силы и трех проекций векторов моментов, возникающих при взаимодействии схвата или инструмента с обрабатываемой деталью. Датчики силомоментного очувствления размещают либо непосредственно на губках схвата, либо между последним звеном манипулятора и схватом.

Бесконтактные средства очувствления. Системы технического зрения (СТЗ) представляющие собой бесконтактный тип систем очувствления, находят широкое применение в промышленном производстве на операциях распознавания и сортировки деталей, разборки деталей из навала, для измерения координат движущихся деталей, подлежащих захватыванию, определения положения характерных точек в ориентации деталей на сборочных участках, контроля качества обработки или покрытия поверхностей деталей и т. п. Локационные системы очувствления используют для измерения координат изделия в тех случаях, когда применение СТЗ нецелесообразно или невозможно. Посредством локационных датчиков обеспечивается измерение таких параметров, как расстояние до объектов, скорость движения, размеры объектов, обнаружение препятствий, а также исследование механических, электрофизических, акустических и других параметров объектов. В качестве дополнительных параметров измерения могут выступать зазоры, перекосы, проскальзывания наличие внутренних дефектов, толщина материала или покрытия, площадь, ориентация и другие. Локационные системы также применяют для простейшего распознавания деталей, имеющих различную отражательную способность, в качестве датчиков безопасности для предотвращения столкновения подвижных частей манипулятора с предметами и людьми, случайно оказавшимися в зоне обслуживания. Установка локационных датчиков на схвате манипулятора может обеспечить, например, возможность точного слежения сварочной головки за траекторией шва, а также позволяет захватывать и устанавливать изделия на подвесном или ленточном конвейерах.

Ультразвуковые локационные системы в основном они используются для определения местоположения мобильных роботов и обеспечения безопасности движения тележек внутрицехового транспорта. Работа таких систем основана на способности упругих волн высокой частоты (выше 20 кГц) распространяться в жидких, газообразных и твердых

средах и отражаться от неоднородностей или границ раздела этих сред. Наиболее часто используются эхометод и метод, использующий эффект Доплера.

Эхометод основан на излучении в среду коротких акустических импульсов и приеме эхосигналов от неоднородностей среды или находящихся в ней предметов. Этот метод используется для обнаружения предметов, измерения расстояний и перемещений, его также используют в ультразвуковых системах технического зрения (например, медицинская аппаратура для ультразвукового исследования, которая позволяет видеть на экране монитора состояние внутренних органов человека) [6]. Создаваемые излучателем короткие импульсы (длительностью около 1 мс), промодулированные ультразвуковой частотой (40 кГц), посылаются в направлении исследуемого объекта. Отраженные импульсы улавливаются приемником ультразвуковых сигналов, и после преобразования в электрический сигнал и усиления обрабатываются процессором. Процессор выделяет полезный сигнал среди помех и вычисляет расстояние L до исследуемого объекта в соответствии с формулой $L=(V \cdot t)/2$, где V – скорость распространения звуковой волны в данной среде; t – промежуток времени, прошедший между моментом появления переднего фронта излучаемого импульса и моментом прихода переднего фронта отраженного импульса на приемник.

В качестве излучателя и приемника обычно используется керамический пьезоэлектрический или магнитострикционный преобразователь. Чаще всего это один и тот же элемент (т. к. пьезоэлектрический и магнитострикционный эффекты являются обратимыми), поочередно подключаемый быстродействующим коммутатором в промежутках между импульсами то к каналу излучения, то к измерительному каналу. В качестве пьезоэлектрических ультразвуковых преобразователей часто используются пластины пьезокерамики ЦТС-19.

Локационные системы, использующие эффект Доплера, помимо расстояния позволяют определять также составляющую скорости V_O перемещения объекта, направленную вдоль оси излучатель-объект. Напомним, что эффект Доплера заключается в изменении частоты звуковых (или электромагнитных) волн, регистрируемых приемником, в зависимости и от направления и величины взаимного перемещения объекта и приемника. При их сближении наблюдается увеличение частоты, при удалении друг от друга – уменьшение.

Акустические локационные системы обеспечивают измерение расстояний и скоростей перемещения объектов в воздухе и в воде. Такие системы используются, например, автоинспекторами для фиксации превышения скорости автомобилей, рыбопромысловыми судами для нахождения косяков рыб, подводными лодками для определения удаления, скорости и направления движения подводных объектов.

Наряду с ультразвуковыми используются и оптические локационные системы, однако из-за высокой скорости распространения оптического излучения, описанные выше методы используются главным образом для определения расстояний, превышающих несколько метров.

Контактные средства очувствления. Для установления факта касания детали губками схвата или другими частями манипулятора служат контактные датчики тактильного типа. Они расположены на внутренних и внешних поверхностях схвата и в тех местах звеньев манипулятора, которые могут войти в соприкосновение с объектами окружающей среды. Кроме регистрации самого факта соприкосновения они могут измерять величину контактного давления и определять наличие проскальзывания между соприкасающимися частями схвата и объекта. Информация о проскальзывании необходима для управления силой сжатия схвата и поддержания ее на таком минимальном уровне, при котором объект еще надежно зажат и в то же время сила сжатия недостаточна для его разрушения. На рис. 1.28 представлен вихретоковый датчик проскальзывания. Здесь обозначено: 1 – палец схвата, 2 – металлический пустотелый обрезиненный валик, 3 – постоянный магнит, 4 – катушка с проводом. При проскальзывании зажатой пальцами схвата детали металлический цилиндр проворачивается. Наводимые в нем вихревые токи ослабляют магнитный поток, воздействующий на катушку с проводом, в результате чего в ней наводится ЭДС. Вихретоковый датчик может давать сигнал не только о проскальзывании, но также о приближении стальной детали к пальцам схвата и о касании детали пальцами. Такой датчик отличается простотой конструкции, безынерционностью, способностью работать в условиях цеховой загрязненности и агрессивных сред, высокой механической прочностью чувствительного элемента и возможностью использования длинных кабельных линий связи с вторичной аппаратурой.

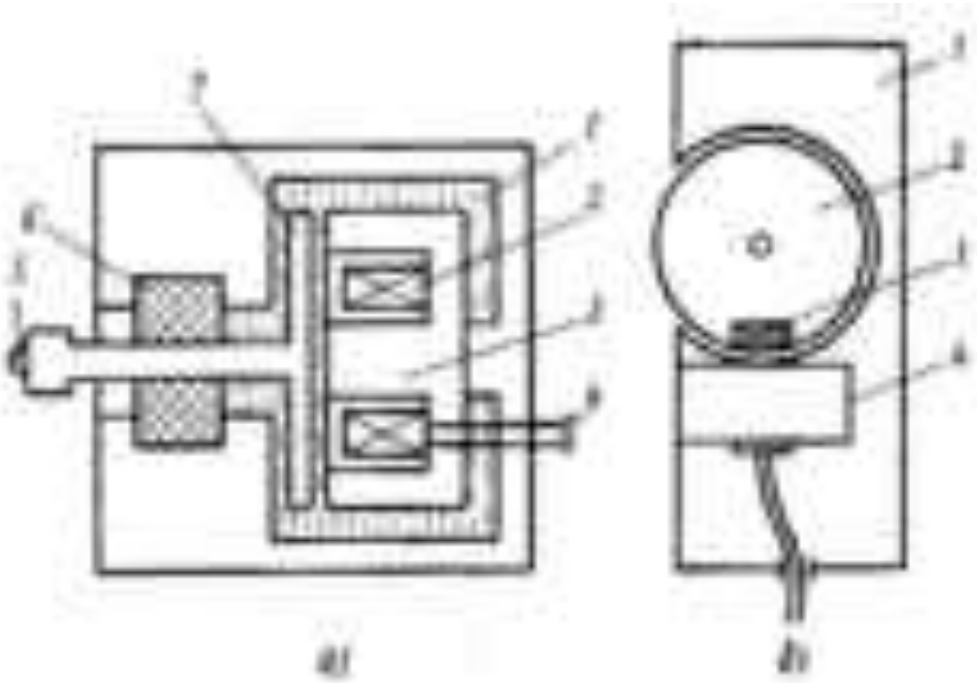


Рис. 1.28. Вихретоковый датчик проскальзывания

Преобразование сил, возникающих при физическом контакте схвата с объектом, в электрический сигнал может осуществляться силомоментными датчиками двумя путями. Первый из них заключается в **непосредственном измерении** упругих деформаций чувствительных элементов датчиков. Наиболее часто для этого применяют тензорезисторные, пьезоэлектрические и магнитоупругие датчики. Второй способ заключается в **измерении перемещений калиброванных пружин** датчика, деформируемых под действием измеряемой величины в процессе контакта схвата с объектом. При этом используют емкостные и электромагнитные (главным образом индуктивные) датчики**.** Измерение упругих деформаций с помощью **тензорезисторных** датчиков – наиболее распространенный метод. Полупроводниковые и металлические тензорезисторы имеют широкую номенклатуру, что позволяет использовать их в тактильных и силомоментных датчиках. В основе работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводников при их механической деформации. В известной формуле для величины сопротивления проводника $R=(\rho \cdot l)/S$, где ρ – удельное электрическое сопротивление материала, S – площадь поперечного сечения при возникновении механических деформаций могут изменяться все три параметра (ρ, l и S).

Тензорезисторы представляют собой решетку из проволоки или фольги (рис. 1.29), наклеенную на специальную подложку, которая, в свою очередь наклеивается на упругий элемент, деформации в котором исследуются. Тензорезисторы имеют простую конструкцию, легко монтируются на упругих элементах тактильных или силомоментных датчиков.

Рис. 1.29. Виды тензорезисторов

Одна из наиболее распространенных и давно применяемых конструкций упругого элемента трехкомпонентного тензорезистивного датчика – крестообразный упругий элемент (рис. 1. 30).

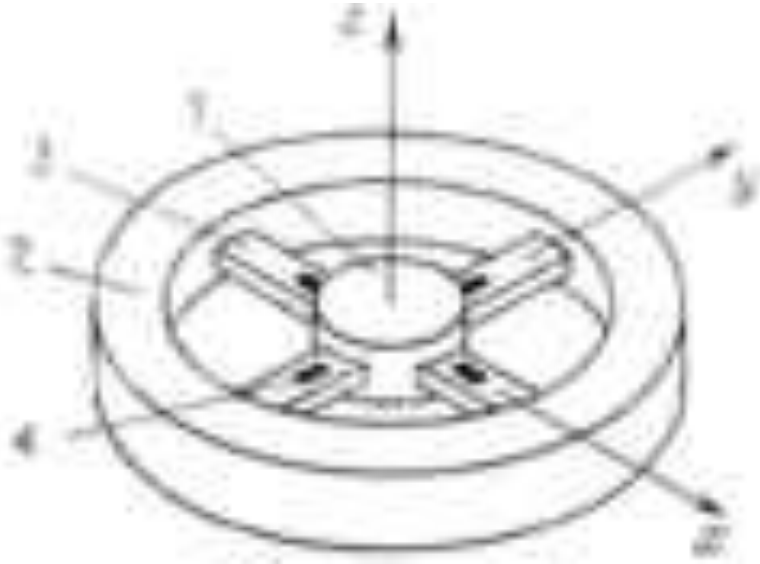


Рис. 1.30. Крестообразный упругий элемент

Два жестких фланца, внутренний 1 и внешний 2, соединены посредством четырех упругих балок 3. Четыре пары тензорезисторов 4, наклеенных на противоположные грани каждой балки, включены в четыре полумоста. Такой датчик чувствителен к осевому усилию F_z и двум боковым моментам M_x и M_y, действующим в плоскости датчика.

Внешний вид тензодатчика представлен на рис. 1.31.

Рис. 1.31. Внешний вид тензодатчика

Датчик оснащен 4 тензорезисторами, включенными по мостовой схеме. Максимальное измеряемое усилия 20 кН, класс точности 0,5, рабочая температура: -10... +70 °С, перегрузочная способность 1000%. Основным недостатком тензорезистивных датчиков является низкая чувствительность. Тензочувствительные элементы выполняются также на основе легированного кремния. Чувствительность полупроводниковых тензодатчиков гораздо выше, чем проволочных или фольговых, однако они обладают меньшей температурной стабильностью. Для непосредственного измерения упругих деформаций могут быть использованы также **пьезоэлектрические** датчики, действие которых основано на измерении заряда, пропорционального внутренним механическим напряжениям растяжения-сжатия или сдвига, вызванными измеряемым усилием. Типичные датчики усилия представляют собой кварцевые или пьезокерамические шайбы, установленные в цилиндрическом корпусе. Силораспределительный элемент обеспечивает равно-

мерное распределение измеряемой нагрузки по площади хрупких кварцевых или керамических шайб, что предохраняет их от возможного растрескивания и позволяет увеличить диапазон измеряемых усилий. При приложении (или снятии) механического усилия на плоских поверхностях шайб образуются электростатические заряды. Кварцевые датчики, хотя и менее чувствительны, чем пьезокерамические, обладают высокой стабильностью свойств.

Пьезоэлектрический акселерометр ВТК1 фирмы «Пьезо» (рис. 1.32) обладает следующими параметрами.

Таблица 1.1 - Основные параметры датчика ВТК 1

Диапазон измерения виброускорений, $мс^{-2}$	0.5 … 1400
Диапазон частот, Гц	5 … 30000
Максимальное значение неразрушающего удара, g	
Диапазон рабочих температур, °С	- 60+ 250
Дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры окружающей среды %/°С, не более	0,1
Емкость датчика, пФ	
Сопротивление изоляции при 20°С, Ом	10^{13}
Габаритные размеры, мм	Ø22 x 27
Масса датчика (без кабеля), г	
Пьезоэлектрический материал	тип 850, APC

Рис. 1.32. Пьезоэлектрический акселерометр ВТК1

Достоинствами пъезодатчиков являются простота конструкции, малые размеры, надежность в работе, прекрасные динамические свойства, способность работать при высоких температурах (до 250°С). Погрешность пьезоэлектрических датчиков – до 1 %. К тому не нужно же пьезоэлектрические датчики являются генераторными, т. е. к ним подводить питающее напряжение. Однако заряды на чувствительных элементах пьезоэлектрического датчика образуются только при изменении измеряемого усилия. Если это усилие некоторое время остается постоянным, заряды достаточно быстро стекают даже через большое сопротивление изоляции. Это является основным недостатком пьезоэлектрических датчиков. Поэтому их целесообразно использовать в тактильных системах, которые регистрируют факт наличия касания и мгновенное значение контактной силы, а также для измерения динамических усилий и вибраций. Работа магнитоупругих датчиков основана на эффекте магнитоупругости, заключающемся в изменении магнитной проницаемости ферромагнитного материала под действием механических напряжений. На рис. 1.33 схематически показан наиболее распространенный вариант конструкции магнитоупругого датчика - магнитоанизотропный датчик.

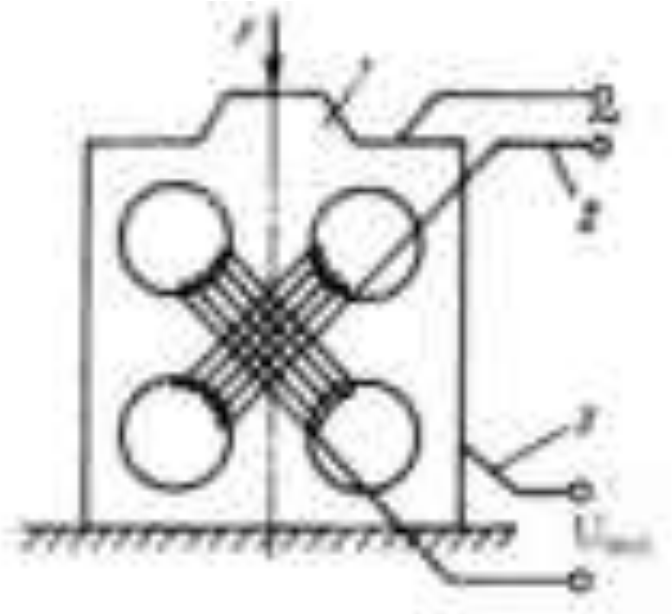


Рис. 1.33. Магнитоанизотропный датчик

В магнитопроводе из ферромагнитного материала, обладающего достаточной магнитоупругой чувствительностью, имеются 4 сквозных отверстия, через которые намотаны первичная обмотка 2, питаемая переменным током повышенной частоты, и вторичная (измерительная) обмотка 3. Плоскости обмоток образуют между собой угол 90°, а с направлением измеряемого усилия F – угол 45°. При отсутствии измеряемого усилия вектор магнитного потока, создаваемого первичной обмоткой, перпендикулярен плоскости витков вторичной обмотки, силовые линии этого потока не пересекают витков обмотки 3, поэтому наводимая в ней ЭДС равна нулю. При приложении измеряемого усилия F (показано стрелкой) в материале магнитопровода возникают механические напряжения, направленные вдоль вертикальной оси. Это вызывает появление магнитной анизотропии (т. е. различных магнитных свойств материала вдоль направления действия измеряемого усилия и поперек него: например, в вертикальном направлении магнитное сопротивление магнитопровода немного возрастает). Магнитный поток Ф стремиться замкнуться по пути с меньшим магнитным сопротивлением, благодаря чему вектор Ф слегка поворачивается по часовой стрелке, и часть силовых линий начинает пересекать витки вторичной обмотки. Это приводит к появлению в ней ЭДС e_2, пропорциональной измеряемому усилию.

В емкостных, электромагнитных (гл. образом индуктивных) и оптических датчиках часто используется предварительное преобразование измеряемой величины в перемещение калиброванной пружины. Емкостные датчики используют зависимость емкости конденсатора от изменения его параметров под действием измеряемой величины. В качестве емкостного преобразователя широко используют плоский конденсатор, емкость которого описывается известной формулой $C= \varepsilon_0 \varepsilon S/\delta$, где ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума ($8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора, S – площадь обкладки, δ – расстояние между обкладками. Измеряемая неэлектрическая величина может быть функционально связана с любым из этих параметров. Внешний вид емкостного датчика перемещения показан на рис. 1.34.

Рис. 1.34. Вид емкостного датчика перемещения

Потребность во все более легких и простых конструктивных решениях вызвала появление интегрированных узлов, например, подшипников со встроенными датчиками для регистрации количества оборотов, частоты вращения, направления вращения, относительного положения, величины ускорения. Такие подшипники (рис. 1.35) являются мехатронными компонентами машин, созданными на грани инженерных исследований в области датчиков и подшипников. Корпус датчика, сенсорное кольцо и подшипник механически соединены друг с другом и формируют единый, готовый к установке узел. Подшипники со встроенным датчиком SKF специально предназначены для работы в качестве шаговых шифраторов, дающих информацию для управления работой двигателей различных механизмов.

Рис. 1.35. Пример конструкции подшипника
со встроенными датчиками

1.4. Системы управления и приводы мехатронных и робототехнических устройств

Задача управления мехатронным и робототехническим устройством состоит в исполнении желаемого движения рабочего органа, который целенаправленно действует на объект работ, испытывая при этом со стороны внешней среды возмущающее воздействие. Следовательно, в общем случае объектом управления в мехатронике является сложная многосвязная система, в состав которой входят:

- комплекс исполнительных приводов;
- механическое устройство с рабочим органом;
- блок сенсоров;
- объект работ, с которым взаимодействует рабочий орган.

При этом отдельные блоки и устройства могут быть интегрированы в мехатронные модули. Включение в рассмотрение процесса взаимодействия рабочего органа и внешних объектов (например, для операций сборки, механообработки, водоструйной резки) позволяет организовать технологически ориентированный процесс управления, учитывающий характер и специфику данного взаимодействия в конкретно поставленной задаче. Указанная структура объекта управления определяет требования и постановку задачи управления мехатронными системами рассматриваемого класса. Очевидно, что воспроизведение заданных движений мехатронными модулями и роботами основывается на выполнении классических требований теории управления: устойчивости, точности и качества процесса управления. Однако дополнительно необходимо учитывать следующие специфические особенности мехатронных систем:

1. Движение рабочего органа как конечного управляемого звена обеспечивается взаимосвязанными (кинематически и динамически) перемещениями нескольких исполнительных приводов и звеньев механического устройства.

2. Задача управления мехатронной системой должна быть решена в пространстве (т. е. найдены оптимизированные траектории движения всех звеньев, включая рабочий орган) и во времени (т. е. определены и

реализованы желаемые скорости, ускорения и развиваемые усилия для всех приводов системы).

3. Для многих технологических задач параметры внешних и возмущающих воздействий, приложенных к рабочему органу и отдельным мехатронным модулям, заранее не определены.

4. Сложность построения адекватных математических моделей мехатронных систем традиционными аналитическими методами (особенно прецизионных многосвязных систем, включающих динамическую модель технологического процесса).

Структурно мехатронные и робототехнические системы являются многомерными и многосвязными системами. Размерность задачи управления в мехатронике определяется числом независимо управляемых приводов системы. В случае общего механизма исходно задается желаемое движение рабочего органа, а реализуется оно совокупными перемещениями всех звеньев.

Отсюда возникают специальные математические, алгоритмические и технические задачи управления. Для планирования заданного движения мехатронной системы необходимо решить обратную задачу о положении механизма. Суть данной задачи состоит в определении требуемых перемещений звеньев системы по заданному закону движения рабочего органа. Проблемным является вопрос организации обратных связей при управлении многозвенными мехатронными системами. Технически наиболее просто устанавливать датчики положения и скорости в приводных модулях. Однако затем необходимо вычислить в реальном времени фактическое перемещение рабочего органа. Причем этот компьютерный расчет требует построения адекватной динамической модели системы с учетом весьма сложных для аналитической оценки факторов:

- всех действующих сил (управляющих моментов приводов, сил трения и диссипации, внешних сил и моментов, центробежных и кориолисовых сил);
- первичных погрешностей системы (упругих деформаций звеньев, люфтов в механических передачах, погрешностей изготовления

и сборки, узлов), которые определяют ее интегральные точностные характеристики в текущей конфигурации;

• переменных параметров объекта управления (приведенных моментов инерции и масс механизма и нагрузки).

Поэтому наилучшим вариантом с точки зрения достоверности получаемой информации о фактическом движении является установка датчиков непосредственно на рабочий орган. Примерами такого подхода могут служить:

• применение систем технического зрения для определения положения рабочего органа и объектов в рабочей зоне (например, на сборочных операциях);

• установка силомоментных датчиков в запястье манипулятора для измерения действующих сил на операциях механообработки;

• использование блоков акселерометров для определения линейных ускорений непосредственно рабочего органа при быстрых транспортных перемещениях.

• повышенные показатели гибкости, робастности и точности управления.

В современных мехатронных системах выделяются четыре уровня управления: интеллектуальный, стратегический, тактический и исполнительный (рис. 1.36). ***Интеллектуальный уровень*** – высший уровень управления в системе. Назначение этого уровня – принятие решений о движении механической системы в условиях неполной информации о внешней среде и объектах работ. Например, рассмотрим ситуацию, когда мобильный робот при движении в трубопроводе получает информацию от системы технического зрения о наличии препятствия. Возможные следующие постановки задачи движения:

• остановить движение и вернуться в исходную позицию;

• определить тип и характеристики препятствия и убрать обнаруженный объект;

• продолжить исполняемое движение, игнорируя наличие внешнего объекта.

Рис. 1.36. Уровни управления в мехатронных системах

Функции интеллектуального уровня в современных мехатронных системах обычно выполняет человек – оператор либо мощный компьютер верхнего уровня управления. ***Стратегический уровень*** управления предназначен для планирования движений мехатронной системы. Планирование движений предполагает разбиение задачи движения, поставленной интеллектуальным уровнем, на последовательность согла-

сованных во времени элементарных действий и формализацию целей управления для каждого из этих действий. Примерами элементарных действий мобильного робота может служить:

- вывод рабочего органа в заданную позицию;
- захват предмета;
- тестовое движение для определения сил реакции со стороны объекта;
- транспортировка объекта и возвращение робота в исходную позицию.

Формализация целей управления означает, что для каждого из элементарных действий должны быть записаны математические соотношения, выполнение которых обеспечивает успешное выполнение действия. Для технологических роботов на стратегическом уровне решается задача геометрического планирования движения рабочего органа. Стратегический уровень выдает информацию о плане движения и целях управления в форме команд управления движением. Важно подчеркнуть, что структура и форматы языков управления движением существенно отличаются от универсальных языков программирования (типа C++, Паскаль и т. п.), хотя отдельные операторы могут совпадать (например, операторы задания цикла и логические функции). ***Тактический уровень*** выполняет преобразование команд управления движением, поступающих со стратегического уровня управления, в программу управления, которая определяет законы согласованного движения во времени всех звеньев механического устройства с учетом технических характеристик блока приводов (в первую очередь ограничений на обобщенные скорости, ускорения и силы).

На тактическом уровне необходимо определить обобщенные координаты манипулятора, которые соответствуют желаемым декартовым координатам характеристической точки схвата. Для этого должна быть решена обратная задача о положении манипулятора. Для управления скоростью движения программа управления строится как результат решения обратной задачи о скорости рабочего органа. Для реализации данных алгоритмов устройство компьютерного управления должно выполнять в реальном времени следующие основные функции:

- прием информации от стратегического уровня в форме команд управления движением;
- прием и обработку информации от датчиков положения манипулятора о текущей конфигурации для расчета элементов матрицы Якоби;

• обращение матрицы Якоби;

• умножение обратной матрицы Якоби на вектор-столбец программной скорости рабочего органа;

• выдачу программы управления на исполнительный уровень.

Исполнительный уровень управления предназначен для расчета и выдачи управляющих сигналов на блок приводов мехатронной системы в соответствии с программой управления с учетом технических характеристик силовых преобразователей. Для иерархических систем управления в мехатронике действует принцип, согласно которому по мере продвижения от высших к низшим уровням управления понижается интеллектуальность системы, но повышается ее точность. При этом под «интеллектуальностью» понимается способность системы приобретать специальные знания, позволяющие уточнить поставленную задачу и определить пути ее решения, а под «неточностью» – неопределенность в операциях по решению данной задачи.

Контроллеры движения являются устройствами управления исполнительного уровня согласно принятой иерархии управления движением мехатронных систем. Назначение устройства управления состоит в обеспечении заданных требований по устойчивости, точности и качеству переходных процессов в системе при достижении цели управления движением, которая поступает с тактического уровня управления. При этом необходимо учитывать специфику мехатронных объектов управления. Структурная схема системы управления движением, реализуемая типовым контроллером, представлена на рис. 1.37.

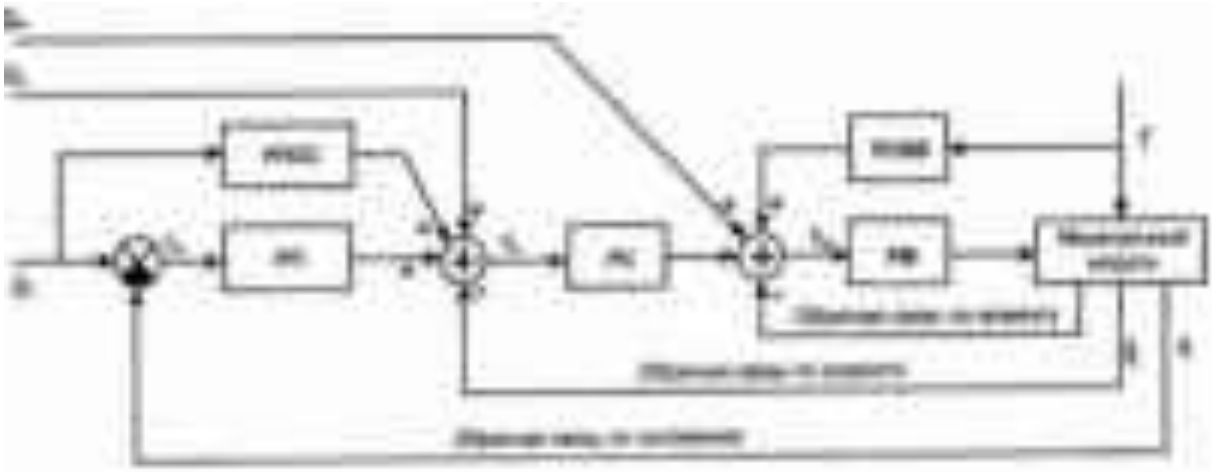


Рис. 1.37. Структурная схема системы управления движением

В состав системы входят пять основных регуляторов: регулятор положения (РП), регулятор скорости (РС), регулятор момента сил или силы (РМ), регулятор прямой связи по скорости изменения управляющего воздействия (РПСС) и регулятор корректирующей связи по возмущающему воздействию (РСВВ). Входными воздействиями для системы могут быть в зависимости от поставленной цели управления управляющие сигналы по положению $q_П$, скорости $q_С$, либо по развиваемому усилию $q_м$. В системе реализуется принцип замкнутого управления, что предусматривает наличие соответствующих обратных связей по фазовым координатам системы. Наиболее общим является алгоритм ПИД-регулирования. Традиционный подход предусматривает, что структура и коэффициенты всех корректирующих устройств определяются при проектировании системы и далее остаются фиксированными в процессе ее эксплуатации. В современных системах управления вид и параметры регуляторов автоматически модифицируются в зависимости от цели конкретного движения и условий, в которых оно фактически осуществляется. Это позволяет адаптировать (приспособить) движение мехатронной системы к начальной неопределенности и изменяющимся условиям работы. Адаптивная настройка регуляторов необходима, если введенные отрицательные обратные связи в исполнительных приводах не способны парировать влияние возмущающих воздействий и изменения параметров (и, возможно, структуры) объекта управления, которые вызывают недопустимое снижение показателей качества управляемого движения. Адаптивные регуляторы по сравнению с традиционными имеют существенно более сложную структуру и техническую реализацию, их проектирование требует решения целого ряда теоретических проблем управления. На рис. 1.38 показан один из часто используемых в исполнительных приводах вариантов адаптивного управления, где параметры регулятора настраиваются управляющим компьютером по эталонной модели. Эталонная модель показывает идеальную желаемую реакцию системы на задающий сигнал g(t). В качестве эталонной модели применяют типовые звенья систем автоматического управления (например, апериодическое звено). Параметры ПИД-регулятора настраиваются так, чтобы минимизировать рассогласование между выходом модели и реальной си-

стемы. Задача контура настройки состоит в том, чтобы свести это рассогласование к нулю за определенное время с гарантией устойчивости переходного процесса.

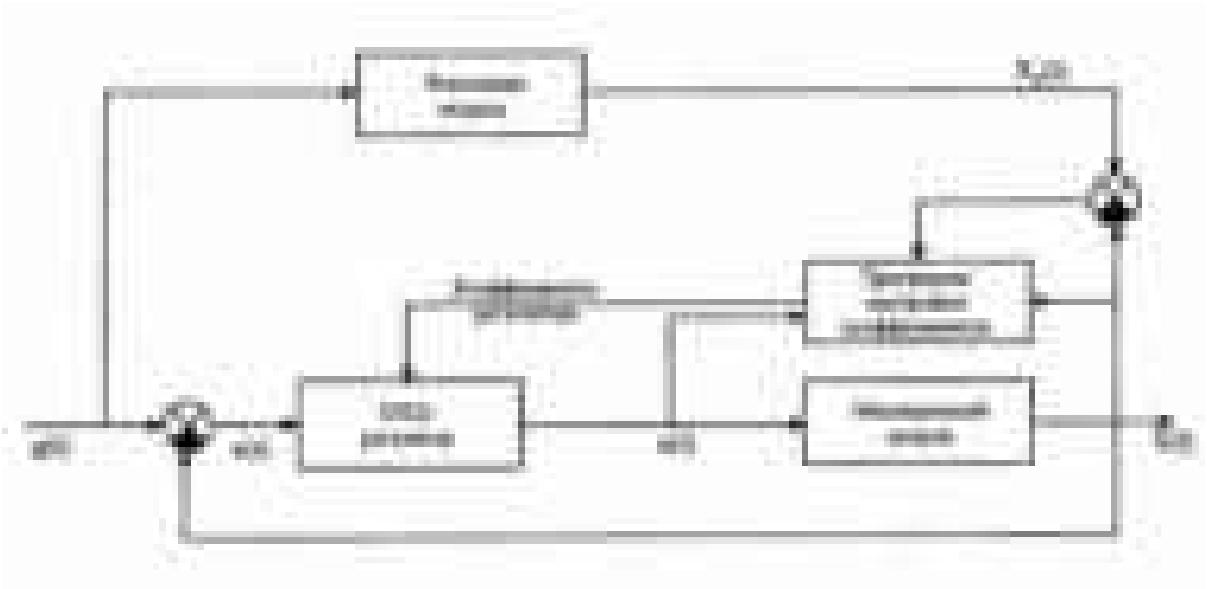


Рис. 1.38. Блок-схема адаптивной системы с эталонной моделью

Управляющий компьютер для реализации адаптивного управления по данной схеме должен в реальном времени решать следующие задачи:

- формировать задающий сигнал для управляемой системы;
- рассчитывать идеальную реакцию по эталонной модели;
- вычислять коэффициенты регулятора в соответствии с программой настройки, определять текущую ошибку и выдавать сигнал управления на вход мехатронного модуля.

Помимо рассмотренной блок-схемы с эталонной моделью известны и другие методы автоматической настройки параметров и структуры регуляторов, например, нечеткий регулятор. Методологической основой для проектирования нечетких регуляторов является концепция нечеткой логики. В основе стандартных современных компьютеров лежит логика «четкого мира». Они работают только с двумя базовыми логическими переменными «Да» и «Нет» и детерминированными числовыми данными, поэтому свойства этого мира описываются

совокупностями нулей и единиц. Однако на практике очень часто приходится иметь дело с неопределенными, нестрогими свойствами объектов и процессов, которые не могут быть формализованы в понятиях «четкого мира». Общий смысл этих понятий нам очевиден, но сделать однозначный вывод о принадлежности конкретного объекта к данному множеству только с помощью слов «Да» и «Нет» зачастую затруднительно, необходимо узнать мнение нескольких экспертов. Английское слово «fuzzy», буквально означающее «ворсистый», «пушистый» – специальный термин, определяющий свойство тканей. Рисунок ворсистой ткани кажется нам размытым, нечетким, неясно очерченным, что соответствует образам «нечеткого мира». Целесообразность применения методов нечеткой логики при управлении мехатронными системами обусловлена особенностями постановки задач управления, которые заключаются в априорной неопределенности возмущающих воздействий, переменности параметров мехатронных объектов управления и в сложности построения аналитических моделей систем. Характерно, что теория нечетких множеств была предложена проф. Л. Заде именно для решения проблем управления сложными техническими системами.

Структурная схема нечеткого регулятора с параметрической адаптацией приведена на рис.1.39. Нечеткий контроллер функционирует на основе экспертной базы знаний и выполняет следующие основные операции:

- преобразование данных о переменных состояния системы в нечеткую форму (операция фазификации), хранение и обработка нечеткой информации;
- выполнение нечетких выводов по лингвистическим правилам управления, заложенным в базу знаний;
- перевод нечетких переменных в четкое представление для управления системой (операция дефазификации).

Для математического представления нечеткой информации используются нечеткие множества, состав объектов которых зависит от мнения экспертов, цели и времени формирования множества. Состав

множества задается с помощью функций принадлежности, имеющих вероятностный характер. Так, выражение mA (X) = C означает, что элемент A принадлежит множеству X с вероятностью C.

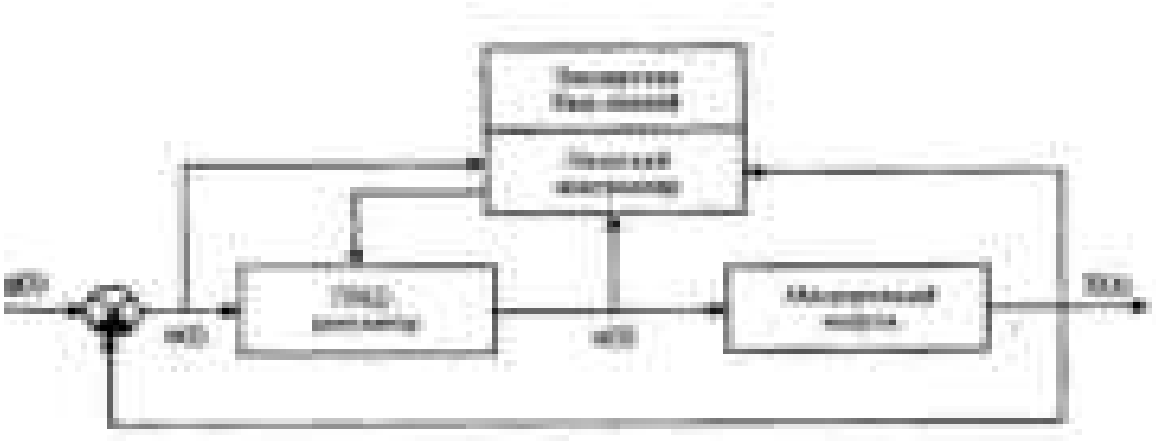


Рис. 1.39. Блок-схема нечеткого регулятора

Функции принадлежности допускают графическую интерпретацию, при этом по оси ординат может откладываться как числовая, так и лингвистическая переменная, причем возможно как непрерывное, так и дискретное представление функции.

В работах, посвященных синтезу систем управления, рассматривается влияние на процесс управления таких фундаментальных ограничений как насыщение, ограничение скорости нарастания входного сигнала, ограниченность полосы пропускания и других. Техника синтеза систем с подобными ограничениями хорошо известна и не является предметом рассмотрения в настоящей работе. В тоже время требование обеспечения высокой плавности и точности, то есть качества движения при выполнении лазерных операций резки или сварки накладывает технологические ограничения на величину скорости и ускорения движения рабочего инструмента в особенности при перемещении по криволинейным траекториям. Несмотря на то, что контурная скорость движения задается программно, целесообразно ввести в структуру привода жесткое ограничение её величины, настраиваемое для каждой операции, ввиду требования гарантированного качества вы-

полнения операции, а также величины ускорения при желательно монотонном характере переходных процессов в манипуляционной системе. Учитывая, что ограничение ускорения является (при постоянных инерционных параметрах) по существу ограничением динамической силы или момента, примем в качестве фундаментальных ограничений на механическую характеристику движения звеньев манипулятора, приведенные на рис. 1.40.

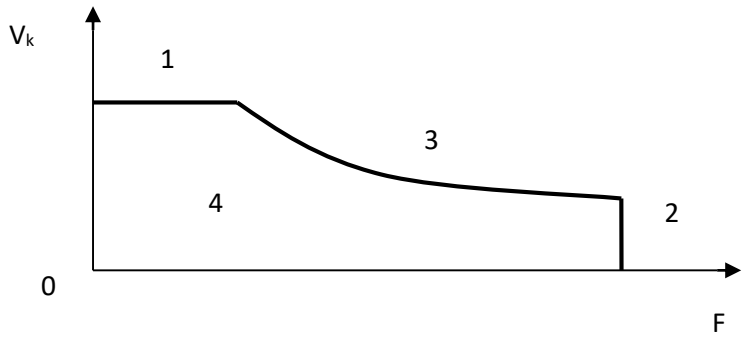


Рис 1.40. Фундаментальные технологические ограничения

На рис. 1.40 обозначено: 1 – ограничение максимальной контурной скорости; 2 – ограничение максимального усилия; 3 – кривая максимальной мощности; 4 – рабочая область; V_k и F – контурная скорость и усилие, развиваемое в приводе перемещения звена манипулятора.

Для обеспечения траекторного движения манипулятора требуется регулируемый электропривод, построенный на базе двигателя постоянного или переменного тока. Учитывая, что в современных технических системах отдается предпочтение переменному току, остановимся на приводе переменного тока, хотя в данном случае этот вопрос не носит принципиальный характер. Современные электроприводы переменного тока, построенные на базе асинхронных или синхронных двигателей и снабженные быстродействующими контроллерами, обладают высоким быстродействием, хорошими регулировочными свойствами и широкими возможностями настройки большого числа параметров. Для асинхронных и синхронных двигателей используют фазовое частотное или векторное (датчиковое или бездатчиковое) токовое

управление, при этом последнее обеспечивает постоянство потокосцепления и наилучшие технические характеристики привода. На рис. 1.41 приведена упрощенная функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением и датчиком скорости. Здесь обозначено: РС - регулятор скорости; $РТ_{max}$ - регулятор максимального тока; РТ – регулятор тока; И – инвертор; АД – асинхронный двигатель; ДТ – датчик фазных токов; ДС – датчик скорости, сигнал о которой часто формируется как производная сигнала энкодера; МД – модем двигателя, служащая для компенсации изменения потокосцепления в функции угла поворота вала двигателя и насыщения магнитной системы.

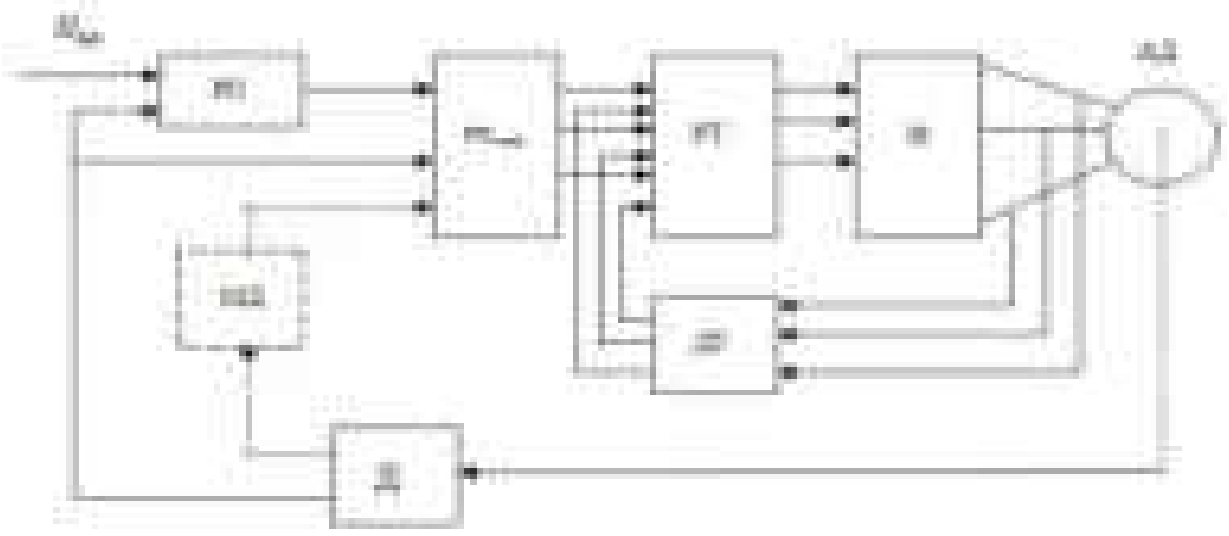


Рис. 1.41. Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением

При бездатчиковом управлении сигнал о скорости вращения вала двигателя формируется контроллером в функции скольжения вычисляемого по измеренным значениям фазных токов и напряжений. Близкую к приведенной на рис. 1.41 структуру имеет и электропривод с синхронным двигателем, в котором отсутствует МД и обязательно присутствует датчик угла поворота (энкодер) ротора синхронного двигателя чаще всего с возбуждением от постоянных магнитов и трехфазной статорной обмоткой. Приводы снабжаются системами защиты от

перегрева и перегрузок, а исполнительные двигатели (по желанию заказчика) – встроенными вентиляторами и электромагнитными фрикционными тормозами, служащими для фиксации вала в положениях статического равновесия и аварийном исчезновении питания.

1.5. Структура и состав роботизированных технологических комплексов

Роботы, применяемые в промышленности, получившие наименование промышленные роботы (ПР), подразделяются на технологические, которые выполняют основные технологические операции, и вспомогательные, занятые на вспомогательных операциях по обслуживанию основного технологического оборудования. Комплексы с такими роботами называются роботизированными – роботизированные технические комплексы (РТК). Классификации соответствующих РТК, сложившейся в машиностроении и приборостроении и основанной на следующих основных признаках:

- тип производственного подразделения;
- степень изменения производства, связанная с применением ПР;
- вид технологического процесса;
- количество выполняемых технологических операций;
- тип и количество используемого основного технологического оборудования;
- тип и количество используемых ПР;
- серийность и номенклатура продукции;
- компоновка комплекса;
- принцип управления комплексом;
- степень участия (функции) человека в комплексе.

В табл. 1.2 представлена общая классификация технологических комплексов применительно к машиностроению, основанная на перечисленных выше признаках.

Таблица 1.2 - Классификационные признаки и соответствующие им основные типы технологических комплексов с роботами

Тип производственного подразделения. Здесь классификационным признаком служит количество выполняемых технологических операций. Простейшим типом, который лежит в основе более крупных комплексов, является *технологическая ячейка* (ТЯ). В ней выполняется всего одна основная технологическая операция (помимо вспомогательных). При этом количество единиц технологического оборудования и ПР в составе ТЯ не регламентируется. В частности, в ТЯ может совсем отсутствовать технологическое оборудование помимо ПР, когда основную операцию выполняет ПР, или, наоборот, могут отсутствовать самостоятельные ПР, когда последние объединены с основным технологическим оборудованием. Следующим более крупным комплексом является *технологический участок* (ТУ). Он характеризуется тем, что здесь выполняется несколько технологических операций, которые объединены технологически, конструктивно (оборудованием) или организационно (управлением). Эти операции могут быть одинаковыми или различными. Если различные операции технологически последовательно связаны, то такой участок представляет собой *технологическую линию* (ТЛ).

Классификация технологических комплексов по степени изменения производства, связанного с применением ПР. Такое изменение, очевидно, будет максимально для создаваемых новых производств, основанных на новых технологиях и минимально для действующего производства, автоматизируемого на базе серийных ПР. Классификация по виду технологического процесса не исчерпывает перечень последних, а включает только типовые для современного состояния областей применения ПР в машиностроении. Классификация по типу и количеству используемого основного технологического оборудования. Здесь выделены два уже названных выше основных варианта: когда ПР выполняют основные технологические операции (сборку, сварку, окраску и т.д.) или – вспомогательные по обслуживанию основного технологического оборудования. Серийность и номенклатура продукции определяется в данном случае объемом партий продукции, которые можно изготавливать без переналадки комплекса, а номенклатура – широтой перечня выпускаемых видов (типов) продукции. Оба эти показателя

имеют существенное влияние на эффективность применение ПР. В частности, каждый технологический комплекс характеризуется предельными значениями этих параметров, вне рамок которых данный комплекс оказывается экономически невыгодным вплоть до целесообразности перехода от гибких комплексов к специальным автоматам (при большой серийной и узкой номенклатуре) или даже к использованию рабочих вместо ПР (в противоположном случае предельно единичного производства).

В классификации по типу размещения технологического оборудования и ПР приведены основные (базовые) типы компоновок. При простой линейной компоновке оборудование располагается в один ряд (по линии), а при наиболее сложной объемной компоновке – на нескольких этажах (уровнях). Классификация по типу управления включает рассмотренные выше централизованное, децентрализованное и комбинированное управления. Централизованное управление осуществляется устройством группового управления. Децентрализованное управление реализуется с помощью совокупности местных устройств управления, связанных друг с другом с целью взаимной координации. Классификация по степени участия человека включает два случая участия человека в работе: когда человек непосредственно выполняетнекоторые технологические операции (основные или вспомогательные) и когда он участвует в управлении комплексом.

Исходя из большого многообразия применения роботов в промышленном производстве, в качестве конкретных примеров приведем примеры применения РТК в производстве автомобилей на предприятиях ОАО «АВТОВАЗ».

На рис. 1.42. представлен вид РТК дуговой сварки панели приборов. РТК оснащен поворотными столами и кантователями с электромеханическим приводом поперечины панели приборов, для ручной сборки и автоматической дуговой сварки поперечины панели приборов с кронштейнами в сборе. Сварка осуществляется в среде углекислого газа с периодической зачисткой и смазкой горелки через заданное число циклов. Проект был выполнен по всем мировым стандартам с

учетом промышленной безопасности и эргономики. РТК состоит из четырех постов, на которых задействованы семь роботов TUR-15 с современным навесным сварочным оборудованием. Единственная ручная операция – закладка свариваемых деталей. Пост 1 состоит из промышленного робота TUR-15 с комплектом автоматической сварки и поворотного стола с электромеханическим приводом, который имеет пневматический фиксатор для контроля положения. Положение фиксатора (нижнее и верхнее) определяется двумя конечными выключателями. На поворотном столе смонтированы две плиты с фиксирующей оснасткой для сборки свариваемых деталей. Для распознавания плит установлены два конечных выключателя. Робот в исходном положении контролируется стойкой с конечным выключателем.

Рис. 1.42. Вид РТК дуговой сварки панели приборов

Посты 2–4 имеют одинаковый состав, включающий два робота TUR-15, оснащенных комплектами автоматической сварки, и два кантователя с электромеханическими приводами и блочными выключателями, на которых установлены рамы с фиксирующей оснасткой. Посты имеют ограждения, которые являются комплексной системой безопасности от травмирующих факторов исполнительных узлов РТК, а также защищают от воздействия электрической дуги. Ограждения состоят из типовых секций-рамок с проволочной сеткой, стоек, калитки с датчиком контроля, брызгозащитных экранов и светового барьера в зоне загрузки-выгрузки. Поперечина панели приборов – довольно сложное изделие, и ВМЗ является сегодня единственным поставщиком этой детали для семейства автомобилей Lada Kalina, Chevrolet Niva и Lada Granta. Автоматическая линия контактной точечной сварки кузова, предназначенная для сборки и сварки кузова автомобиля представлена на рис.1.43.

Рис. 1.43. Автоматическая линия контактной точечной сварки кузова

Автоматическая линия оснащена 24 роботами, в том числе 20 роботами TUR-150 конструкции ВМЗ, четырьмя роботами KR180L150-2K фирмы KUKA и клещами для контактной точечной сварки, также конструкции ВМЗ.

Посты автоматической линии включают в свой состав следующие типовые конструкции:

- ГЕО-тележка – сварная рама, на которой смонтированы пневмоприжимы, ложементы и фиксаторы для автомобильных деталей с целью создания геометрии основания. Снизу рамы закреплены цепь, служащая для зацепления со звездочками мотор-редукторов, и ролики для движения по направляющим.
- Гидравлический подъемник грузоподъемностью 3 т предназначен для перемещения ГЕО-тележки. В состав подъемника входит сварная рама, на которую установлен конический мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.
- Стационарный стол – сварная двухуровневая металлоконструкция, на которой установлены направляющие. Для перемещения ГЕО-тележки по направляющим на верхнем уровне смонтированы два мотор-редуктора: один стационарно, другой – на откидном кронштейне. Для фиксации ГЕО-тележки в положении сварки предусмотрены откидные упоры и пневмоцилиндр дожима. На нижнем уровне для возврата ГЕО-тележки на пост также смонтирован мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.

В состав постов также входят роликовые столы с электромеханическим приводом, устройства для укладки и подъема скидов, перекладчики основания, которые имеют электромеханические приводы на перемещение между постами и подъем-опускание, а также пневмопривод зажима основания. Для безопасности работы операторов предусмотрены фотобарьеры. При этом собственно сварку выполняют напольные роботы и роботы, установленные на портале.

РТК лазерной резки объемных кузовных деталей и раскроя листового материала (металла, пластмасс и т. д.) приведен на рис 1.44.

Рис. 1.44. РТК лазерной резки объемных кузовных деталей
и раскроя листового материала

Комплекс состоит из промышленного робота ПР-125, двухпозиционного поворотного стола, комплекса ограждений и электрооборудования. РТК работает следующим образом. Операторы вручную загружают заготовку детали на обе планшайбы поворотного стола, закрывают ворота ограждения и нажимают кнопку «Пуск». Робот начинает резку детали по программе. По окончании резки он возвращается в исходное положение, операторы открывают ворота, разгружают готовую деталь и загружают следующую заготовку. Далее циклы повторяются.

РТК для нанесения жидкой прокладки на корпус картера сцепления для механосборочного производства представлен на рис. 1.45.

Рис. 1.45. РТК для нанесения жидкой прокладки на корпус картера сцепления

Основным исполнительным органом РТК является программируемая рука робота TUR15 с шестью степенями свободы, установленная на подставке манипулятора. Нанесение жидкой прокладки на картер сцепления производится через клапан подачи мастики, куда мастика подается от насосной станции. Точное позиционирование паллеты вместе с заготовкой в зоне обработки, а также отсечение транспортного потока обеспечивают два гидроцилиндра устройства фиксации и подъема, установленные на сварном основании. Для дублирования работы робота TUR-15 при его отключении введен пост ручного до нанесения мастики. В пост входит ручной стопор, ложемент под картриджи и ручной пистолет с пневмоуправлением. Подача паллет с заготовками и отвод их из зоны работы робота TUR-15 производится цеховым транспортом.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение термина «мехатроника».

2. Что такое мехатронный объект?

3. Каким мехатронным уровням может соответствовать технический объект? Приведите примеры.

4. Что такое «устройство»?

5. Мехатронность технических объектов, что это такое?

5. Какие основные принципы положены в основу построения мехатронных систем?

6. Какие устройства могут являться составной частью машин с компьютерным управлением движением?

7. Какие функции выполняет устройство компьютерного управления в мехатронной системе или модуле?

8. Объясните суть мехатронного подхода к проектированию.

9. Какие основные преимущества мехатронного подхода при создании машин с компьютерным управлением по сравнению с традиционными средствами автоматизации?

10. Что такое мехатронный модуль движения?

11. Приведите пример мехатронного модуля вращательного движения.

12. Приведите пример мехатронного модуля поступательного движения.

13. Какова структура мехатронного модуля движения?

14. В чем заключаются преимущества применения линейных двигателей?

15. Объясните структуру мехатронного моторшпинделя.

16. Приведите классификацию информационных устройств и систем используемых в мехатронике и промышленных роботах.

17. Приведите примеры датчиков внутренней информации устройств мехатроники и робототехники.

18. Приведите примеры датчиков внешней информации устройств мехатроники и робототехники.

19. Объясните принцип работы пъезодатчиков.

20. Назовите уровни управления в мехатронных системах.

21. Объясните типовую структуру системы управления движением.

22. Объясните структуру адаптивной системы с эталонной моделью.

23. В чем заключается особенность применения нечеткого регулятора в системах управления?

24. Приведите структуру современного электропривода переменного тока, используемого в мехатронных модулях движения.

25. Приведите классификацию роботизированных технологических комплексов.

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Технологическая подготовка роботизированного производства и проведение монтажных работ

Правила выбора оборудования и средств технологического оснащения, комплектующих роботизированную технологическую систему изложены в рекомендациях Р 50-54-85-88**.** Основное технологическое оборудование выбирают по параметру, в наибольшей степени выявляющему функциональное назначение и технические возможности данного типа оборудования. При разработке усовершенствованного технологического процесса выбор нового или сохранение действующего оборудования обусловлены увеличением объема выпуска продукции, повышением качества изделий, снижением уровня издержек, обеспечением гибкости производственного процесса, улучшением условий труда, техники безопасности и промышленной санитарии. Оборудование, входящее в состав РТС, по возможности, должно быть однотипным, так как содержание такого оборудования обходится дешевле. При проектировании новых моделей следует придерживаться принципов агрегатного построения и широкой унификации с оборудованием, действующим на предприятии. Прежде чем приступить к выбору моделей оборудования для проектируемого технологического процесса, необходимо оценить, можно ли использовать действующее оборудование в новых условиях. Должна быть проведена оценка физического состоя-

ния оборудования и его технических показателей. При списании устаревшего оборудования следует определить технико-экономическую целесообразность использования в структуре РТС его отдельных деталей и механизмов. Основное технологическое оборудование, предназначенное для выполнения конкретных операций (станки, прессы и т. д.), должно отвечать требованиям, сформулированным в ГОСТ 26.228 – 85. Выбор моделей ПР должен сопровождаться расчетом экономической эффективности его применения в конкретных условиях работы РТС. В зависимости от условий производства РТС могут комплектоваться ПР различных типов, выбранными из числа существующих моделей, или конструкциями, специально разработанными для конкретных целей. При отсутствии ПР с необходимой технической характеристикой, одновременно с заданием на РТС необходимо разработать техническое задание на проектирование и создание новой конструкции ПР. Выбор или разработка захватных устройств и инструмента, комплектующих ПР, осуществляется после разработки технологического процесса. Конструкции оснастки и вспомогательных устройств, входящих в состав РТС, разрабатывают с учетом материала, массы, формы и типоразмеров деталей; параметров и конструктивных особенностей поверхностей изделия, влияющих на конструкцию оснастки, в том числе базовых поверхностей для установки в рабочей зоне оборудования и поверхностей для захвата рукой робота; технологических схем оборудования и фиксации деталей; характеристик основного технологического оборудования; характеристик ПР или другого загрузочного устройства; характера ориентации детали перед установом ее в рабочую зону оборудования, т. е. перед захватом ее рукой ПР (желательно, чтобы на позицию загрузки заготовка приходила ориентированной соответственно ее положению в рабочей зоне оборудования); серийности производства. Технологическую оснастку выбирают в соответствии с ГОСТ 14.301-83. Порядок составления, согласования и утверждения технического задания на разработку новых конструкций технологической оснастки обусловлен ГОСТ 15.001--73. Правила выбора средств технологического оснащения процессов технического контроля обусловлены ГОСТ 14.306-73.

Анализ действующего производственного процесса. До анализа должна быть установлена характеристика данного производства, а именно:

- тип производства (массовое, крупносерийное, среднесерийное, мелкосерийное);
- организационные методы производства (поточные однопредметные и многопредметные, непоточные);
- характер перемещения деталей по технологическому процессу (непрерывный, прерывистый);
- специфические особенности данного производства (вредные условия труда, обработка специальных материалов и др.).

В результате анализа действующего производства должны быть определены:

- номенклатура деталей, обработка которых может быть осуществлена с применением ПР;
- характеристики деталей и вид заготовок;
- неиспользованные резервы и узкие места производственного процесса; выявлены потери, возникающие вследствие технических и организационных недостатков;
- состав основного технологического оборудования и технические требования по его модернизации либо замена новыми моделями оборудования;
- специфические особенности действующего производственного процесса, от которых зависит повышение его эффективности;
- пути изменения организационной структуры производства;
- пути усовершенствования технологического процесса обработки, механизации или автоматизации отдельных операций;
- средства механизации и автоматизации труда, повышающие производительность, в том числе путем применения ПР;
- число основных и вспомогательных рабочих, участвующих в производственном процессе обработки отобранной номенклатуры деталей до и после автоматизации;
- планировка и размеры производственных площадей, занимаемых оборудованием до и после автоматизации;
- методы организации и средства межстаночного транспортирования и складирования заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей до и после автоматизации;
- методы контроля размеров и точности отобранной номенклатуры деталей до и после автоматизации;

• характеристика отходов обработки и методы их удаления до и после автоматизации.

Предложения по применению ПР должны быть обоснованы результатами анализа существующего производственного процесса и предварительной оценкой ожидаемого экономического эффекта. При подготовке заявки и разработки технического задания на создание РТС следует сформулировать конкретные цели проведения работы, указать состав роботизированной технологической системы (комплекс, участок, поточная линия, цех и т. п.), ее назначение, характер связи с основным производством (в том числе с организацией его управления и транспортными потоками) и определить источники ожидаемого экономического и социального эффекта. Анализ и отбор деталей, подлежащих обработке на РТС, производят в соответствии с рекомендациями, приведенными в ГОСТ 14.306-73. При отборе деталей следует руководствоваться также положениями, учитывающими правила обеспечения технологичности конструкции изделий, а также ГОСТ 14.324-84 ЕСТПП, определяющим правила выбора объектов роботизации. В результате отбора и группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам, обеспечивающим типизацию технических и организационных решений в процессе производства, устанавливают детали-представители с общими для каждой из указанных групп признаками, для обработки которых требуется наибольшее количество основных и вспомогательных операций, характерных для изделий этой группы. Применительно к деталям-представителям в дальнейшем проводят анализ действующего и разработку нового технологического процесса. Анализ производственного процесса, разработка предложений по его рационализации и автоматизации операций (в том числе с помощью ПР) должны предшествовать работам по составлению заявки и технического задания на создание РТС. Анализу можно подвергнуть как весь производственный процесс в целом (от получения заготовок и способа подачи их на обработку до выпуска готового изделия), так и его составные части и даже отдельные операции. Анализ выполняют с целью выявления особенностей производства данного изделия на Конкретном предприятии, выявления неиспользованных резервов и узких мест, разработки рекомендаций по повышению рентабельности производства и сокращению трудовых затрат путем рационализации, механизации и автоматизации труда (в том числе и с помощью ПР). Для

этого необходимо весь процесс расчленить на простейшие составляющие элементы и подвергнуть их всестороннему критическому анализу, в результате которого должны быть разработаны экономически обоснованные предложения по совершенствованию процесса. Анализ технологических процессов производят применительно к изготовлению деталей-представителей на основе обследования процесса на предприятии заказчика. Для облегчения техники работы и обеспечения единообразия сбора и обработки информации можно рекомендовать применение графических схем, отображающих технологические процессы обработки деталей. Каждая операция может производиться с участием или без участия рабочего (автоматически). С помощью условных обозначений, приведенных в таблице, строят графическую схему любого производственного процесса.

Монтажу систем автоматизации и роботизации должна предшествовать подготовка в соответствии со СНиП 3.01.01-85. Подготовкой производства монтажа называется разработка и осуществление взаимоувязанных организационных, технических и технологических, планово-экономических и финансовых документов и мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение работ в установленные сроки при заданных технико-экономических показателях. На стадии подготовки производства монтажа должны быть выполнены следующие мероприятия: рассмотрена и укомплектована документация для монтажных работ; составлены накопительные ведомости на трубопроводы и металлоконструкции, материалы; оформлены заказы на изготовление конструкций и заготовок, а также задания на разработку ППР и чертежей металлоконструкций; проверена правильность сметной документации и уточнены объемы работ; разработаны, согласованы, утверждены и выданы исполнителям проекты и схемы производства работ, технологические карты и другая документация по производству, механизации и сдаче монтажных работ; составлены графики производства работ и обеспечения их материально-техническими ресурсами; обеспечение монтажных зон, участков монтажными кранами и механизмами, инструментом и приспособлениями, такелажным оборудованием и оснасткой; определен порядок поставки оборудования и его подачи в монтажную зону, установки и закрепления его на фундаментах; проведен анализ монтажной технологичности оборудования; подготовлена монтажная площадка и др. К подготовительным монтажным работам

относят: приемку и подготовку оборудования к монтажу; приемку строительной готовности монтажной зоны; предмонтажное укрупнение оборудования; установку фундаментных болтов. При приемке оборудования в монтаж проверяют: комплектность его по упаковочным листам и комплектовочно-отгрузочным ведомостям; его соответствие заводским чертежам и техническим условиям, исправность; наличие пломб. Результаты приемки оборудования в монтаж закрепляются приемосдаточным актом. Акты подписывают представители заказчика, монтажной организации и генерального подрядчика на строительство объекта, а при необходимости и завода-изготовителя. В подготовку оборудования к монтажу входят: расконсервация и очистка оборудования; ревизия его; подготовка материалов и комплектующих изделий (прокладок, сальниковых набивок, уплотняющих манжет, колец, герметизирующих составов и др.). Расконсервация - это удаление консервационных смазок, лакокрасочных и других защитных покрытий с поверхностей оборудования. При расконсервации, в зависимости от примененного метода консервации, используют соответствующие способы и материалы

Предмонтажная ревизия - это комплексная проверка состояния оборудования и устранение повреждений, вызванных хранением машин и агрегатов на складах сверх нормативных гарантийных сроков, предусмотренных техническими условиями на их изготовление и поставку. При отсутствии гарантийного срока ревизия производится через год. Предмонтажная ревизия предусматривает расконсервацию оборудования; разборку его для расконсервации и осмотр вращающихся и движущихся деталей; удаление коррозии; посторонних частиц с последующей промывкой, протиркой и консервацией обработанных поверхностей; проверку состояния (сохранности) изделий; замену антикоррозионных смазок рабочими, прокладок, сальниковых набивок и мелких деталей (подшипников, питательных трубок, масленок, пробок и т.п.); исправление мелких (неконструктивных) дефектов, шабрение посадочных мест подшипников, трущихся поверхностей, шлифование шеек и цапф валов; перемещение и кантовку оборудования, связанных с ревизией; последующую сборку оборудования.

2.2. Монтаж механических систем роботов и станков

Промышленные роботы поставляются заводу-потребителю в виде отдельных сборочных единиц, упакованных в тару. При транспортировании этих сборочных единиц необходимо учитывать руководство по эксплуатации ПР, в котором приводятся схемы разделения на сборочные единицы, методы их транспортирования и места зачаливания грузов. При распаковке ящиков, в которых размещаются отдельные части ПР, сначала снимают верхний, а затем боковые щиты. При этом следует соблюдать необходимые меры предосторожности, чтобы не повредить изделие. До распаковки узлов необходимо проверить наличие сопроводительной документации и ознакомиться с ее содержанием.

Монтаж механических систем ПР является одним из первых этапов проведения монтажных работ, который обеспечивает установку ПР в проектное положение и закрепление его на месте эксплуатации. Поскольку ПР работает в комплексе с другим оборудованием, особое внимание следует уделять точности установки ПР и сохранения его пространственного положения в процессе работы.

В зависимости от способа установки ПР подразделяются на: настольные или встраиваемые в оборудование; напольные; подвесные с расположением на портале или консольном монорельсе; с подвижным основанием; мостовые.

Наиболее просто осуществляется монтаж механических систем (манипуляторов) настольных или встраиваемых в технологическое оборудование ПР. Масса их манипуляторов не превышает 40 кг. Манипуляторы устанавливаются на кронштейне, конструкция которого определяется видом технологического оборудования и посадочными размерами манипулятора. Монтаж напольных и подвесных манипуляторов осуществляется на фундаменте. Фундаменты относятся к строительным конструкциям, поэтому допуски на их размеры значительно выше требуемой точности установки ПР. В связи с этим монтаж ПР непосредственно на фундаментах почти не производится и для достижения требуемой точности установки используются промежуточные элементы (клинья, регулировочные башмаки), устанавливаемые между

фундаментом и опорной поверхностью ПР. На конструкцию фундамента влияют масса и габариты ПР, режим их работы, характер воздействия нагрузок на фундамент (вибрация, ударные нагрузки т. п.), характер связи ПР с другим оборудованием комплекса. Фундаменты чаще всего выполняются в виде бетонных, железобетонных или кирпичных блоков. Размеры основания (площадь) определяются исходя из величины допустимого удельного давления па грунт из следующего соотношения: $S=Q/o_z$ при $o_z < p_д$, где S- площадь основания фундамента, $м^2$; Q-нагрузка на основание фундамента, слагаемая из массы фундамента, массы ПР с учетом максимальной грузоподъемности, Н; o_z -давление подошвы основания фундамента на грунт, Па; $p_д$ -допустимое давление на грунт (берется из справочника по механике грунтов), Па.

Для обеспечения требуемой точности проведения монтажных работ на фундаментах и опорных частях здания закрепляются оси и отдельные точки, определяющие положение оборудования в пространстве. Совокупность продольных и поперечных осей, высотных точек, служащих для установки и проверки положения ПР, околороботного и технологического оборудования, называется геодезическим обоснованием монтажа. Монтажные оси и высотные отметки подразделяются на рабочие и контрольные. По рабочим осям и отметкам устанавливают и выверяют оборудование, а по контрольным контролируют положение рабочих осей и отметок относительно геодезического обоснования монтажа. Контрольные монтажные оси и отметки закрепляются на монтажной площадке с помощью плашек (положение осей) и реперов (высотные отметки). Плашки (рис. 2.1, а) должны иметь рабочую поверхность не менее 30*150 мм. Положение оси на верхней поверхности плашки отмечается точкой, выбиваемой керном. Кернение производят с точностью +- 0,5 мм. Вокруг осевой точки кернекнием наносится треугольник, направленный одной из вершин по оси, Репером (рис. 2.1, 6) обычно служит стальной стержень с полукруглой головкой. Верхняя часть репера устанавливается на заданной высоте с точностью +- 2 мм. Дальнейшие геодезические измерения производят установкой нивелирной рейки на репер.

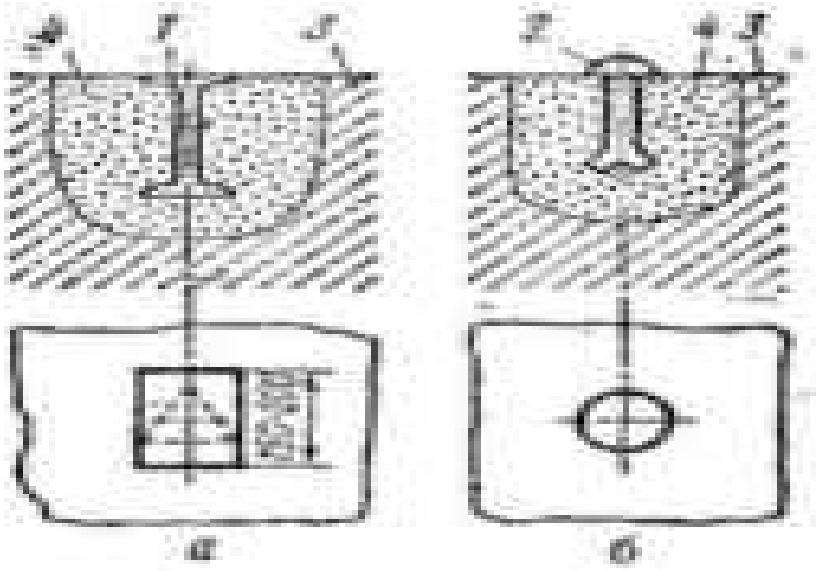


Рис. 2.1. Закрепление монтажных осей и отметок:
а - с помощью плашки, б – с помощью репера (1- плашка,2 – репер, 3 – фундамент, 4 – заливка фундамента)

Рабочие оси и отметки, по которым производится установка оборудования, служат сравнительно недолго и закрепляются, главным образом, при помощи струн и отвесов относительно контрольных отметок. До недавнего времени установка закладных частей фундамента (болтов, анкерных плит, рам, опор и т. п.) выполнялась строительными организациями. Однако опыт монтажа технологического оборудования показал, что наилучшие результаты достигаются при установке закладных частей монтажной организацией с использованием монтажных приспособлений, которые обеспечивают точную установку болтов в плане и по высоте, неизменное их положение во время бетонирования. Основными частями монтажных приспособлений являются каркас и кондукторы. Каркас собирают из типичных стоек и прогонов. Стойки опираются на пластины, залитые в специальные бетонные тумбочки, которые возводятся одновременно с бетонной подготовкой фундамента. На балках каркаса устанавливают кондукторы, выполненные из листового материала, уголков или швеллеров и имеющие отверстия по разметке оснований ПР. Диаметры отверстий в кондукторе должны на 1-1,5 мм превышать диаметры фундаментных болтов. Кондукторы выверяют относительно осей фундамента и приваривают к каркасу. В от-

верстия кондуктора устанавливают анкерные болты н производят заливку пространства под кондуктором бетоном. Для образования закладные болты в отверстия кондукторов устанавливают металлические пробки. В зависимости от способа установки и крепления в фундаменте болты могут быть: глухими или заливными, заделанными в бетонном основании; съёмными, устанавливаемыми в фундаменте без сцепления с бетоном и анкеровкой при помощи, например, закладных плит; устанавливаемыми в готовый фундамент ввертыванием в предварительно заделанные фундаментные гайки и т. п. Диаметр фундаментных болтов с учётом предварительной затяжки рассчитывают по формуле $d_1=\sqrt{1,35P (4/\pi [o_p])}$, где d_1 – внутренний диаметр резьбы болта, м; 1,35– коэффициент, учитывающий предварительную затяжку болта; Р- вертикальная составляющая внешних сил, действующих по оси болта, Н; $[o_p]$ -допустимое напряжение на растяжение (для углеродистой стали 70-80 Н/мм^2).

Наименьшие значения длин фундаментных болтов (мм) в зависимости от материала фундамента приведены ниже:

Болт ….. М12 М14 М16 М18 М20 М24 М30

Материал фундамента

Бетон … 120 140 170 190 220 260 320

Кирпич .. 130 160 200 200 240 300 360

В зависимости от типа и грузоподъёмности ПР поступают в монтажную зону в собранном и разобранном видах в заводской упаковке. При распаковке первоначально снимается верхний щит упаковочных ящиков, а затем боковые. Необходимо следить за тем, чтобы не повредить ПР распаковочным инструментом. Перед установкой ПР открытые, а также закрытые кожухами и щитками обработанные неокрашенные поверхности необходимо очистить от антикоррозионных покрытий. Для этого используются деревянные лопаточки, которыми первоначально снимается толстый слой покрытий или смазки. Оставшаяся смазка удаляется с поверхностей чистыми салфетками, смоченными в бензине или уай-спирте. Во избежание коррозии очищенные поверхности рекомендуется покрыть тонким слоем индустриального масла.

Порядок установки ПР в проектное положение указывается в техническом описании и инструкции по эксплуатации, входящих в комплект поставки. Перед строповкой ПР и установкой его непосредственно на фундамент необходимо заблокировать звенья подвижности,

исключив тем самым возможность их самопроизвольного перемещения при транспортировке ПР мостовым краном или другим грузоподъемным механизмом. Схемы строповки указаны в руководствах по монтажу. Под стропы необходимо подкладывать деревянные прокладки, не допуская касания строп чисто обработанных, шлифованных и пришабренных поверхностей, а также тонких и хрупких деталей. Перед установкой на фундамент нижнюю поверхность основания необходимо тщательно очистить от грязи, предохранительной краски или смазки. На фундамент устанавливается временные или постоянные опорные элементы, служащие для выверки и закрепления основания ПР. Плавным опусканием ПР отверстия основания фундаментные болты и проверяют их взаимное расположение. При дальнейшем опускании необходимо следить за прохождением через отверстия резьбовой части болтов, не допуская смятия витков резьбы. При соприкосновении опорной поверхности основания ПР с опорными элементами следует обратить внимание на ее равномерное прилегание во всех опорных точках. После выверки ПР на месте установки производится предварительная затяжка фундаментных болтов, подливка и окончательная (через 2-3 суток) затяжка. Методы выверки ПР описаны ниже.

Монтаж ПР, поставляемых в разобранном виде

В разобранном виде поставляются потребителю ПР, имеющие большие габариты и массу, портальные, а также специальные различного назначения. В разобранном виде поставляются также, как правило, ПР модульного исполнения. Например, электромеханический робот модульного типа РПМ-25 состоит из группы модулей, включающих стационарное и подвижное основание в напольном или подвесном исполнении, модули сдвига, подъёма, одинарного и двойного качания, радиального хода, руки трех модификаций (с одной, двумя и тремя степенями подвижности). Путем комбинации модулей можно получить 95 модификаций ПР. В стационарном исполнении все модули ПР монтируются на неподвижном основании, а в подвижном на тележке, перемещающейся по напольным или подвесным направляющим.

Монтаж ПР, поставляемых в разобранном виде, необходимо начинать установки основания, которая осуществляется аналогично, как при монтаже ПР, монтируемых в собранном виде. После выверки

основания и проверки правильности его установки производят затяжку фундаментных болтов и монтаж остальных модулей ПР (Рис.2.2).

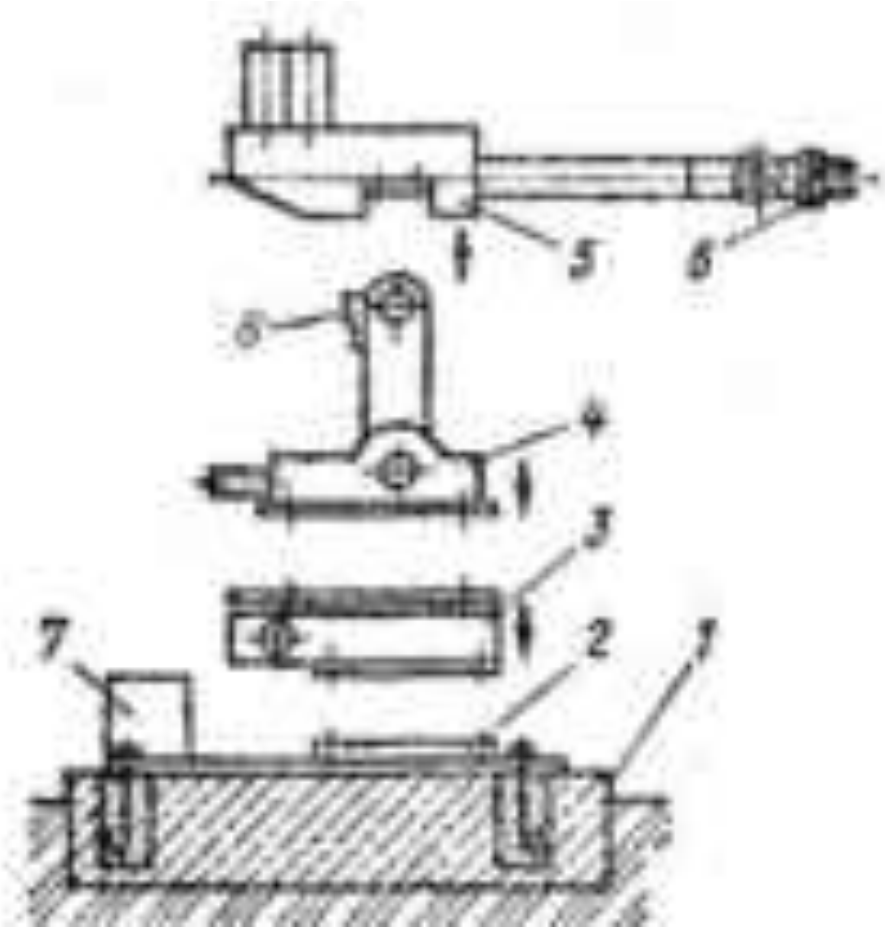


Рис. 2.2. Порядок монтажа модулей манипулятора РПМ-25

Модуль «основание неподвижное» 2 представляет собой плиту с приваренными к ней платиками для установки последующих модулей. На плите установлена система подготовки воздуха 7, обеспечивающая питание сжатым воздухом всех модулей ПР. Необходимо отметить, что в роботе РПМ-25 предусмотрена транзитная передача сжатого воздуха и сигналов между модулями.

Вначале на фундаменте 1 монтируют основание 2, которое через отверстие в плите закрепляют анкерными болтами. Правильность установки основания контролируют уровнем. Затем с помощью мостового крана или тали на основание 2 устанавливают модуль поворота 3. Модуль содержит неподвижную и подвижную части, кинематически свя-

занные через червячный редуктор. Неподвижной частью модуль устанавливают на платики основания, при этом необходимо обеспечить совпадение осей крепежных отверстий. Особое внимание следует уделять наличию резиновых уплотнений в канале воздухопровода между основанием и неподвижной частью (корпусом) модуля поворота. После затяжки крепежных болтов внутреннюю часть модуля поворота закрывают ограждением. Контроль параллельности подвижной части (стола) модуля поворота 3 осуществляется с помощью уровня во взаимно-перпендикулярных направлениях.

На подвижной части модуля поворота 3 устанавливается модуль двойного качания 4, который имеет два исполнительных звена, вращающихся относительно параллельных горизонтальных осей. Модуль качания 4 также обеспечивает транзитную передачу сжатого воздуха к последующим модулям. Для этого на стыковочной поверхности модуля имеется подводное отверстие. При установке модуля необходимо убедиться в наличии резинового уплотнения между отводным отверстием стола 3 и подводным отверстием модуля 4, совместить оси крепежных отверстий и закрепить модуль 4 на столе модуля 3 болтами. Рука 5 манипулятора РПМ-25 устанавливается в расположенной в верхней части стойки модуля двойного качания 4 люльке 8. Для этого базовый корпус руки имеет стыковочные поверхности и крепёжные отверстия. При установке руки также необходимо следить за наличием и правильностью установки резинового уплотнения воздухопровода между отводным отверстием люльки и подводным отверстием руки. Крепление руки 5 к люльке 8 осуществляется четырьмя болтами.

Последним устанавливается захватное устройство 6. Торцевая стыковочная поверхность ориентирующей головки руки 5 и стыковочная поверхность захвата 6 выполнены таким образом, что при подаче сжатого воздуха обеспечивается автоматическое крепление захвата к руке с помощью замка с шариками. Сигнал о наличии захвата снимается с конечного выключателя и подаётся в систему управления ПР.

После монтажа манипулятора производятся установка системы управления, подключение сжатого воздуха, электропитания и осуществляется наладка и опробование работы ПР на холостом ходу.

Специфические требования, связанные с порядком установки опорной системы, предъявляются к монтажу портальных и мостовых

ПР. Как правило, опорная система должна устанавливаться с повышенной точностью. Так, опорные колонны устанавливаются в вертикальной плоскости по отвесу или уровню (цена деления шкалы уровня 0,05 мм; погрешность установки не более трех делений), а в горизонтальной плоскости по струне (отклонения от струны не более 0,5 мм на длине 1 м). Монорельсы монтируют таким образом, чтобы погрешность их установки в вертикальной плоскости не превышала 0,1 мм. Погрешность установки в горизонтальной плоскости измеряют посредине пролета монорельса; она не должна превышать 1 мм на длине 1 м. Если монорельс составной, то после завершения его монтажа не допускаются перекосы направляющих в месте стыков. Системы программного управления ПР проверяют в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемого устройства.

Последовательность монтажа станков в станочных системах следующая:

• разметка и изготовление фундамента под станок в соответствии с чертежом проекта;

• завоз оборудования и предварительная расстановка его на фундаментах; завозят и монтируют основное технологическое оборудование, контрольные и транспортные устройства, магазины, стеллажи и др. его распаковка, технический осмотр и составление акта техосмотра;

• удаление с оборудования средств противокоррозионной защиты (керосином или бензином) и покрытие его тонким слоем чистого масла;

• установка оборудования в горизонтальной и вертикальной плоскостях с «привязкой» к колоннам (установить на фундамент станину станка и выверить уровнем ее положение);

• закладка в отверстия фундамента фундаментных болтов, их заливка цементным раствором и (после его затвердевания) затяжка болтов;

• установка на фундамент станины станка и выверка уровнем ее положения;

• монтаж станка и окончательная выверка его положения;

• заливка бетоном фундаментных болтов, выдержка бетона и затяжка гаек фундаментных болтов;

• установка гидростанций, воздухоочистительных станций, шкафов электрооборудования, стендов и аналогичного оборудования согласно указаниям в фундаментном чертеже;

• укладка в полу коммуникаций, присоединение их к оборудованию;

• разводка коробов, трубопроводов, гидросистем, электропитания, сжатого воздуха и прочих коммуникаций, размещаемых над полом;

• закладка в короба трубопроводов, электропроводки и соединение их с оборудованием, шкафами электрооборудования и пультами; прозванивание (проверка правильности соединения); выполнение работ по заземлению оборудования.

• обкатка станка вхолостую, испытания под нагрузкой и проверка на точность;

• смазка станка и его пробный пуск при соблюдении правил техники безопасности;

• составление акта испытания и акта на приемку из монтажа и сдачу в эксплуатацию оборудования.

Перед установкой станка смывают антикоррозийное покрытие, пыль и грязь керосином. Механизмы станка промывают бензином, насухо вытирают и покрывают тонким слоем машинного масла. Точность и долговечность станков зависят от правильности установки их на фундаменты. Для руководства при установке станка служит установочный чертеж, на котором указаны размеры наибольшей площади для установки и обслуживания. Эти размеры обеспечивают свободное пространство для выступающих частей; станка и для того, чтобы движущиеся части (суппорты, ползуны, столы) в своих крайних положениях не упирались в станину соседнего станка. Следует сохранять межстаночные проходы, установленные правилами техники безопасности. В бетонном полу, опирающемся на грунт, должны быть предварительно пробиты колодцы для фундаментных болтов. При установке станка на бетонном полу междуэтажного перекрытия для фундаментных болтов пробивают сквозные отверстия. Положение станка выверяют уровнем. Для изменения положения станка применяют стальные клинья, укладываемые под подошву станины станка. После предварительной выверки станка поверхности колодцев фундаментных болтов увлажняют и заливают цементным раствором. После затвердевания раствора гайки

фундаментных болтов плавно и равномерно затягивают, производят повторную выверку положения станка и подливают цементный раствор под подошву станины станка.

Тяжелые крупные станки, имеющие недостаточно жесткую станину или составленную из отдельных частей, соединенных болтами, как, например, горизонтальный станок для расточки длинных цилиндров, устанавливаются на отдельных прочных фундаментах. Фундамент как бы дополняет станину станка и придает ей дополнительную жесткость и массу. Подливку цементного раствора под подошву длинной недостаточно жесткой станины тяжелого станка, имеющего точные направляющие, производят только в средней части, а концы станины опирают на регулируемые клинья или башмаки. Это позволяет при эксплуатации станка периодически выверять и регулировать положение его станины. До начала монтажа следует ознакомиться с конструкцией станка по сборочным чертежам и описаниям, прилагаемым к станку. Перед монтажом станка нужно освободить части его от упаковки и очистить от пыли и грязи. Покрытия, предохраняющие обработанные и неокрашенные наружные поверхности деталей станка при транспортировке, следует смыть скипидаром. •Механизмы станка, находящиеся в закрытых коробках (шпиндельная бабка и др.), не следует разбирать и промывать. Смазку, покрывающую их детали, оставлять для использования при работе механизмов.

2.3. Монтаж пневмогидрооборудования

Движение звеньев манипулятора ПР осуществляется исполнительными устройствами. В ПР с пневматическим приводом в качестве исполнительных устройств используются пневмоцилиндры, а в ПР с гидравлическим приводом – гидроцилиндры или гидромоторы. Для обеспечения работы приводов ПР применяются различные блоки и устройства: вентили, влагоотделители, пневмоклапаны, маслораспылители, пневмораспределители, пневмодроссели, гидростанции, масляные фильтры, гидрораспреде- лители, гидроклапаны, гидроаккумуляторы, дроссели с регуляторами потока, пневмогидролинии и т. п. Гидро и пневмо приводы используются в металлорежущих станках для вспомогательных движений.

Порядок монтажа пневмогидрооборудования ПР регламентируется технической документацией заводов-изготовителей. Широкая номенклатура ПР с пневматическим и гидравлическим приводами определяет конкретные виды и объем выполняемых монтажных работ. Так, например, для введения ПР типа МП-9С в режим эксплуатации достаточно только подсоединить узел подготовки воздуха к цеховой магистрали и подключить устройство управления ЭЦПУ-6030, ПР типа СМ40.Ф2.80.01 требует предварительного монтажа гидростанции, соединения ее с аппаратурой гидроуправления и гидроприводами. Несмотря на различие объемов монтажных работ ПР конкретных типов существует ряд общих правил и требований, которые заключаются в предварительной подготовке пневмогидроаппаратуры к монтажу, проведении непосредственно монтажных работ, наладке и сдаче в эксплуатацию. Элементы пневмогидрооборудования поступают к потребителю в законсервированном и упакованном виде. В качестве консервирующих веществ применяют гидравлические масла, минеральные масла с антикоррозионными присадками. Упаковку производят в парафинированную или водонепроницаемую бумагу, полиэтиленовую или полихлорвиниловую пленку. При расконсервации изделий необходимо снять внутреннюю упаковку (чехол, бумагу и т. д.). Мелкие изделия следует промыть в уайт-спирите или моечном растворе с добавкой соды кальцинированной или каустиковой, эмульгатора ОП-7, жидкого стекла, Наружные законсервированные поверхности крупногабаритных изделий протирают чистыми салфетками, смоченными в Уайт спирте или бензине. Из внутренних полостей изделий необходимо полностью удалить консервационную жидкость. Не разрешается пользоваться хлопчатобумажными концами, ворс которых может попасть в капиллярные отверстия устройств. После проведения работ по расконсервации элементы пневмогидрооборудования необходимо подвергнуть проверке на работоспособность. Проверку производят на испытательных стендах при рабочем давлении сжатого воздуха или масла. Все обнаруженные неисправности устраняют до монтажа. Трубные проводки, используемые при монтаже, также требуется подвергнуть предварительной обработке. При наружном осмотре отбраковывают трубы, имеющие свищи, рванины, вмятины глубиной более 0,5 мм и овальность свыше 10 % диаметра, Пригодные для монтажа трубы очищают снаружи и внутри и продувают сжатым воздухом.

На металлические трубы должно быть нанесено покрытие, предохраняющее от коррозии. Перед покрытием наружные и внутренние поверхности труб очищают от ржавчины, краски, жира и пыли. Жировые загрязнения удаляют ветошью или кистью, смоченными органическими растворителями. Можно применять и химический способ, который заключается в обработке поверхности труб водными растворами минеральных кислот: серной, соляной, фосфорной и в отдельных случаях азотной. После обработки растворами кислот трубы необходимо промыть водой, обработать 5 %-ным раствором кальцинированной соды, а затем вновь 2-3 раза промыть водой. После сушки поверхности труб грунтуют, а затем покрывают 3 -5 слоями эмали и 2-3 слоями покровного лака. Допускается обработка внутренних поверхностей труб минеральным маслом, используемым в гидросистеме ПРИ. Трубы из красной меди, используемые при монтаже, необходимо отжечь путем нагревания до вишневого цвета с последующим резким охлаждением в воде. После отжига трубы необходимо выпрямить, для чего рекомендуется использовать лебедку и выпрямление производить натягиванием трубы.

Правильный монтаж пневмоцилиндров и гидроцилиндров в значительной степени определяет срок их службы. Цилиндры могут устанавливаться на лапах, фланце (на передней или задней крышке), проушине, цапфе и удлиненных стяжках. Способ монтажа определяется условиями использования цилиндра. Необходимо отметить, что цилиндры, установочная плоскость которых расположена у основания параллельно оси штока, под действием рабочих усилий могут деформироваться. Это приводит к увеличению трения и повышенному износу деталей. Цилиндры должны быть доступны для обслуживания и демонтажа, за исключением тех случаев, когда они выполнены вместе с опорной конструкцией ПР или оборудования. Крепление цилиндров должно быть достаточно прочным и жестким. Соединение штока с приводом желательно осуществлять через шарнир. Затяжка регулируемых уплотнений штока должна обеспечивать герметизацию при допустимых потерях на трение. При монтаже цилиндров на цапфах должно обеспечиваться беспрепятственное качание в пределах заданного угла поворота. Во избежание появления значительных изгибающих нагрузок на штоке и резкого ухудшения условий работы цилиндра

необходимо обеспечить соосность или параллельность штока цилиндра и соединяющегося с ним вала или направляющих ведомого механизма. Погрешность установки в этих случаях не должна превышать 0,05 мм на длине 1 м. При монтаже пневмоцилиндров их рекомендуется располагать вниз отверстиями для подвода воздуха, чтобы исключить возможность сбора конденсата в полостях цилиндра, Гидроцилиндры можно монтировать в любом положении, необходимо лишь обеспечить удобство доступа к устройствам стравливания воздуха. Гидромоторы также могут быть установлены в любом положении: вертикально, горизонтально, наклонно, Вал гидромотора должен соединяться с ведомым механизмом с помощью эластичной муфты, компенсирующей смещение осей. Допустимое радиальное смещение соединяемых осей валов не должно превышать (например, для гидромоторов типа Г16) 0,1 мм и максимальный угол перекоса осей 1°. Дренажный трубопровод должен быть выведен выше вертикального габарита мотора и обеспечивать свободный, без давления, слив масла в бак. Гидромоторы крепят, как правило, к фланцам с помощью винтов. Монтаж направляющей и регулирующей пневмогидроаппаратуры. К этой аппаратуре относятся пневмо- и гидрораспределители, клапаны, дроссели и регуляторы потока. Для управления всеми звеньями ПР, а также перемещения узлов околороботного и технологического оборудования, входящих в состав РТК, используется от одного до нескольких десятков распределителей и дросселей. В последнем случае распределители целесообразно монтировать на панелях. Монтаж должен обеспечивать легкий доступ к пневмогидроаппаратуре для регулирования и технического обслуживания в процессе эксплуатации. Аппаратура, как правило, может монтироваться в любом пространственном положении, Специальные требования на установку оговариваются в руководствах по монтажу и эксплуатации. При монтаже двухпозиционных распределителей с двусторонним электрическим управлением без пружинного возврата необходимо обеспечить горизонтальное положение их продольной оси. Это предотвращает самопроизвольное перемещение золотников при обесточенных катушках электромагнитов и нарушение последовательности цикла работы ПР и РТК в момент пуска. Крановые распределители на вертикальной или наклонной плоскости необходимо монтировать в таком положении, при котором исключается самопроизвольное их переключение под действием веса рукоятки. Пневмо-

и гидрораспределители с резьбовым присоединением монтируют при помощи трубопроводной арматуры с конической резьбой, Распределители со стыковым присоединением монтируют с помощью винтов непосредственно на панельной плоскости или на промежуточных плитах. Монтажная поверхность панелей должна иметь шероховатость менее 1,25 мкм и неплоскостность не более 0,01-0,05 мм на длине 100 мм. Винты для крепления распределителей должны быть изготовлены из сталей с пределом прочности на растяжение не менее 1000 МПа (в комплект поставки распределителей не входят). Во избежание деформации корпусов распределителей затяжка крепежных винтов должна производиться без особых усилий. Герметичность стыкового соединения обеспечивается за счет уплотнений, выполненных в виде резиновых колец и прокладок. Дроссели, пневмо- и гидроклапаны можно монтировать в различных местах системы (непосредственно у исполнительных механизмов, распределителей, на трубопроводной магистрали). При их монтаже необходимо обеспечить удобство доступа для регулировки и возможность визуального наблюдения при ее выполнении за действиями исполнительных механизмов. При монтаже регулирующей пневмогидроаппаратуры необходимо следить за совпадением направлений движения рабочего тела в системе и установочной стрелки на корпусе прибора.

При монтаже пневмогидропанелей, поступающих с заводов-изготовителей с готовой внутренней разводкой, производится лишь подключение их к исполнительным механизмам с помощью внешних трубопроводных магистралей.

Располагать пневмогидропанели с пускорегулирующей аппаратурой следует группами, вблизи исполнительных механизмов, но вне рабочего пространства ПР. Если панели содержат большое число пускорегулирующей аппаратуры и требуют подключения множества исполнительных механизмов, то разъемные стыки подводящих и отводящих трубопроводов следует располагать в нескольких плоскостях. Трубные проводки при этом рекомендуется подсоединять на резьбах или зажимных кольцах, а шланги на ниппелях с обжатием хомутом.

Высокую производительность и качество проведения монтажных работ можно обеспечить при использовании пускорегулирующей аппаратуры модульного исполнения. В отличие от аппаратуры стыкового

монтажа с одной стыковой плоскостью, эта аппаратура имеет две стыковые плоскости с одинаковыми координатами присоединительных отверстий, расположенных на корпусе сверху и снизу. Это позволяет устанавливать различные аппараты один на другой в вертикальный столбик (пакет), замыкаемый сверху распределителем, плитой связи или плитой-заглушкой. Пакеты могут наращиваться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях (рис. 2.3). Уплотнение соединений плит и аппаратуры обеспечивается резиновыми кольцами, а крепление пакетов к монтажной плите и плит между собой осуществляется с помощью сквозных стяжек или винтов. Монтаж устройств подготовки рабочего тела. В ПР с пневматическим приводом обязательным блоком является блок подготовки воздуха. В одних конструкциях такой блок предусматривается для каждого ПР, в других – для группы ПР. Блок подготовки воздуха монтируется, как правило, на элементах конструкций (корпусе, станине) ПР. При монтаже необходимо убедиться в правильности установки влагоотделителя, редукционного клапана и маслораспылителя (указательные стрелки по направлению движения сжатого воздуха).

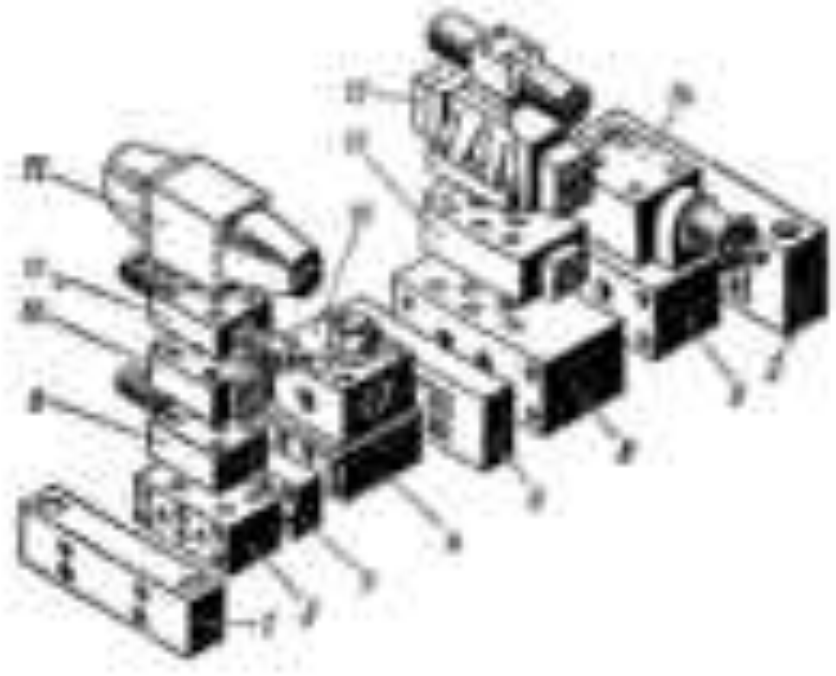


Рис. 2.3. Модульный монтаж пневмогидроаппаратуры:
1, 2 – крепежные плиты; 3-6 – монтажные плиты;
7,8 – переходные плиты; 9-16 – элементы пневмогидроаппаратуры
(распределители, дроссели, клапаны; регуляторы потока и т.п.)]

Стеклянные колпаки влагоотделителя и маслораспределителя должны быть направлены вертикально вниз; место их установки должно обеспечивать удобство слива влаги, залива свежего масла и наблюдения за уровнем масла в процессе работы ПР. В ПР с гидравлическим приводом питание гидросистемы осуществляется от насосной установки (гидростанции), обеспечивающей очистку рабочей жидкости от твердых частиц и влаги, создание и поддержание заданного давления жидкости в напорной магистрали, охлаждение или нагрев жидкости до рабочей температуры.

ПР комплектуются гидростанциями в собранном виде. Монтаж таких гидростанций заключается в выставке на подкладках и закреплении анкерными или крепежными болтами бака-отстойника со смонтированным на нём оборудованием. При монтаже необходимо предусмотреть удобство доступа к фильтрам и горловине для заливки масла, сливному отверстию, смотровым люкам, а также удобство наблюдения за приборами-указателями давления и уровня масла. Защитные кожухи не должны препятствовать циркуляции воздуха для охлаждения.

В системах пневматического и гидравлического приводов ПР исполнительные механизмы, аппаратура управления и регулирования, вспомогательная аппаратура соединяются между собой с помощью металлических трубопроводов, резиновых рукавов, гибких металлических рукавов, шлангов и полиэтиленовых труб. Выбор типа проводок зависит от рабочего давления и температуры, агрессивности рабочего тела и внешней среды, вида соединения стыков, условий гибки и монтажа. Так, например, трубы из углеродистых сталей применяются в неагрессивных средах при температуре до 250 °С. Трубы из нержавеющих сталей применяются при температурах до 500 °С и обладают повышенными по сравнению с трубами из углеродистых сталей прочностью и коррозийной стойкостью в агрессивных средах. Трубы из меди используются при температурах до 150 °С и давлениях до 25 МПа. Они устойчивы к воздействиям атмосферы и морской воды. Трубы из меди отличаются высокой гибкостью, удобны для применения на коротких участках со сложными изгибами и при необходимости подгонки в процессе монтажа.

Жесткие трубные проводки применяются для монтажа неподвижной аппаратуры. Наиболее рационально применение цельных трубопроводов с минимальным числом соединений.

Гибкие проводки применяются в тех случаях, когда необходимо подвести сжатый воздух или рабочую жидкость к устройствам, закрепленным на узлах и механизмах, имеющих относительное перемещение, или поочередно к различным потребителям от одного источника. Гибкие проводки обеспечивают удобство монтажа, особенно в труднодоступных местах.

Внутренний диаметр канала, трубы или рукава пневмогидропроводок определяется по формуле $d = \sqrt{4Q/\pi\upsilon} = 1{,}13\sqrt{Q/\upsilon}$, где Q – расход рабочего тела (воздуха, жидкости), $м^3/с$; υ – скорость потока рабочего тела, м/с.

Оптимальные скорости движения воздуха или потока жидкости зависят от многих факторов. На основании практических данных рекомендуются следующие величины скоростей, м/с:

Воздуха

В магистральных трубопроводах … 6 – 12

В подводящих трубопроводах … 16 – 40

Рабочей жидкости

В напорных гидролиниях … 5 – 10

В сливных гидролиниях … 2 – 2,5

Во всасывающих гидролиниях … 0,5 – 1,5

Толщина стенки труб определяется по формуле $\delta = p_{max}D/2\sigma_{доп} = p_{max}D_n/2\sigma_в$, где p_{max} – максимальное давление рабочего тела, Па; D – наружный диаметр трубы, м; $\sigma_{доп}$ – допустимое напряжение материала трубы, Па; $\sigma_в$ – предел прочности материала трубы, Па (для труб из стали 20 $\sigma_в$ = 140 МПа); n – коэффициент запаса прочности (n = 3÷6).

Разметку и разрезку труб на нужные длины обычно производят в монтажно-заготовительных мастерских. Для этого используется разметочно-отрезной агрегат, позволяющий получать детали трубопроводов с точностью ± 1 мм. Затем производится гибка труб. Трубы изгибают по шаблонам, изготовленным из стальной проволоки по месту установки трубопровода, либо по монтажным чертежам. Гибку можно производить как в холодном, так и в горячем состоянии. Нагрев труб на монтажно-заготовительном участке осуществляют на стыковых электросварочных машинах, а в монтажной зоне – с помощью газосварочных горелок. Трубы диаметром до 1 ½″ гнутся, как правило, с помощью ручных трубогибов, а 2″ и более – на трубогибочных станках.

Радиусы изгиба труб, работающих под давлением, ограничиваются значениями, при которых не происходит существенного сниже-

ния их статической и усталостной прочности. Минимальный допустимый радиус внутренней кривой изгиба труб должен быть для:

– медных труб – не менее 2D (D – наружный диаметр);

– стальных и полиэтиленовых труб, изгибаемых в горячем состоянии, отожженных труб из алюминия и алюминиевых сплавов, для полихлорвиниловых труб – не менее 3D;

– остальных труб, изгибаемых в холодном состоянии, – не менее 4D;

– полиэтиленовых труб, изгибаемых в холодном состоянии, – не менее 6D.

При монтаже труб необходимо соблюдать следующие требования: трубы, прокладываемые вдоль корпусных деталей, должны следовать их контуру; трубы не должны закрывать съемные детали, крышки, окна для транспортирования, карманы для болтов в станине и т.п.; трубы необходимо устанавливать с небольшим уклоном в сторону устройств подготовки рабочей среды для обеспечения возможности удаления конденсата; при использовании ресиверов подсоединение трубопровода необходимо производить в верхней точке ресивера; при скрытой прокладке труб в бетонных каналах заглубление должно быть не менее 20 мм от поверхности пола.

Крепление труб к опорным конструкциям производят с помощью скоб или колодок (рис. 2.4).

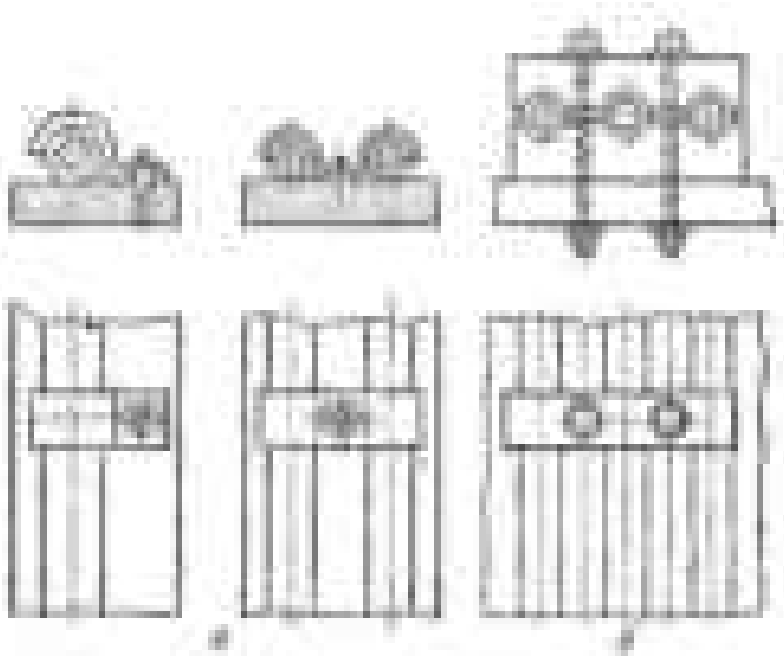


Рис. 2.4. Крепление трубопроводов:
а – с помощью скоб; б – с помощью колодок

Расстояние между крепежными элементами трубных проводок должно быть для:

– трубопроводов из цветных металлов на горизонтальных участках 0,6 – 0,8 м, на вертикальных 1 м;

– стальных трубопроводов диаметром 8 – 14 мм на горизонтальных участках 0,75 м, на вертикальных – 1 – 1,5 м;

– стальных трубопроводов диаметром 22 – 60 мм на горизонтальных участках 2 – 4 м, на вертикальных – 3 – 5 м;

– пластмассовых трубопроводов диаметром 6 – 10 мм на горизонтальных участках 0,3 м, на вертикальных – 0,5 м.

Расстояния между опорными конструкциями трубных проводок (полками, кронштейнами, консолями, пакетными скобами и т.п.) должны быть такие же, как и между крепежными элементами для одиночных труб и могут быть несколько больше для групповых (блочных) проводок.

Соединения трубных проводок могут быть неразъемными и разъемными.

Неразъемные соединения (рис.2.5) применяются для трубопроводов, не требующих демонтажа. Их выполняют сваркой встык, в раструб и с применением безрезьбовых муфт. Соединение трубопроводов встык требует обязательного провара кромок на всю толщину. Для этого на торцах свариваемых труб делают фаску под углом 60 – 70 °. Стыковой способ сварки не гарантирует отсутствия шлака на внутренней поверхности трубы в месте сварки.

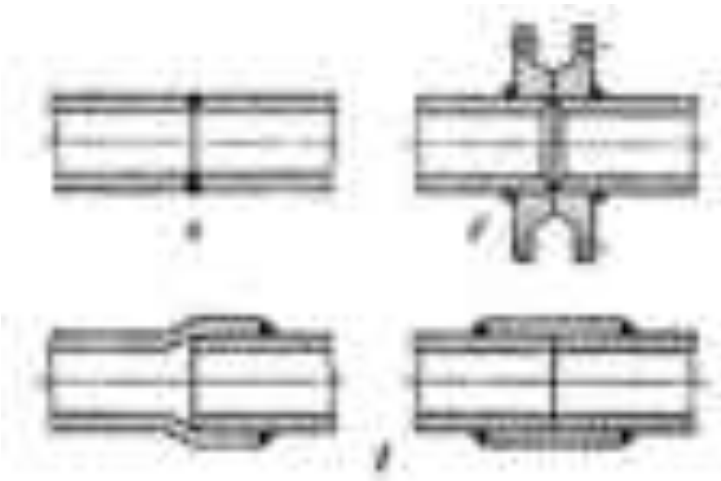


Рис. 2.5. Неразъемные соединения трубопроводов:
а – встык; б – при помощи безрезьбовой муфты; в - враструб

Полностью исключается попадание шлака на внутренние поверхности труб при сварке их враструб или с применением безрезьбовых муфт. При этом также облегчается процесс сварки. Неразъемные соединения полиэтиленовых труб так же выполняют сваркой встык или в раструб. Для образования раструба используют нагретую металлическую оправку соответствующего диаметра. Длина раструба должна быть примерно равна наружному диаметру соединяемых труб. Затем внутреннюю поверхность раструба и наружную поверхность конца трубы оплавляют на специальном металлическом блоке, нагретом предварительно до 220–260 °С, и производят соединение. Сварка встык выполняется путем предварительного нагрева и оплавления на длине 3-4 мм концов труб при температуре 250-300°С с последующим их прижатием и выдержкой для охлаждения не менее 2 мин. Неразъемные соединения полихлорвиниловых труб выполняют склеиванием. Для этой цели применяют 20 % - ный раствор поливинилхлоридной смолы в обезжиренном ацетоне. На одном конце трубы делается раструб. После обезжиривания склеиваемых поверхностей ацетоном тонким слоем наносят клей, дают подсохнуть в течение 25–30 мин, затем наносят еще один слой и соединяют. Для схватывания склеиваемые трубы выдерживают без нагрузки в течение 2,5–3 ч. При выполнении неразъемных соединений медных или латунных труб сварку заменяют пайкой. К разъемным относятся соединения, позволяющие производить разборку без нарушения целостности соединяемых труб или без их вращения. Применяется четыре основных вида соединения труб: по наружному и внутреннему конусам, с уплотнительным кольцом и фланцевые (рис. 2.6).

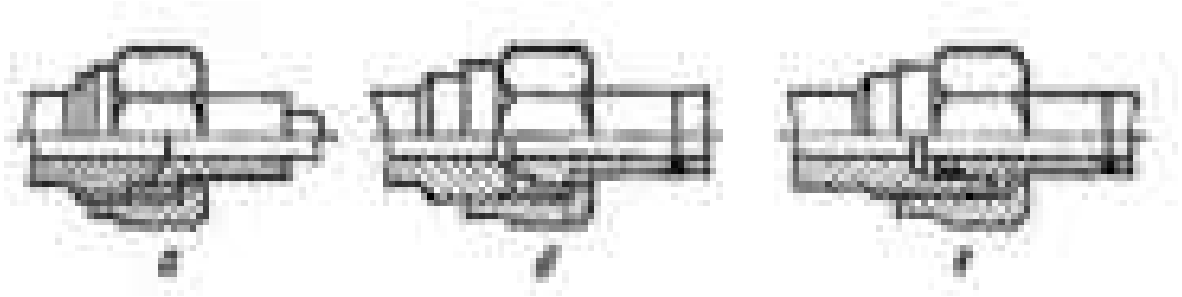


Рис. 2.6. Разъемные соединения трубопроводов:
а – по наружному конусу; б – по внутреннему конусу;
в – с уплотнительным кольцом

Первые три вида соединений обеспечивают герметичность за счет обжатия или прижатия конца трубы или полусферического ниппеля к штуцеру с помощью накидной гайки. Фланцевое соединение применяется для труб диаметром более 40 мм и обеспечивает герметичность за счет стягивания болтами двух фланцев, приваренных к концам труб. Между торцевыми поверхностями фланцев помещается прокладка из резины или паронита. Для монтажа разъемных соединений стальных тонкостенных труб применяются присоединения (рис. 2.7): прямые концевые, угловые концевые, тройниковые концевые, медных или также промежуточные (прямые и тройниковые).

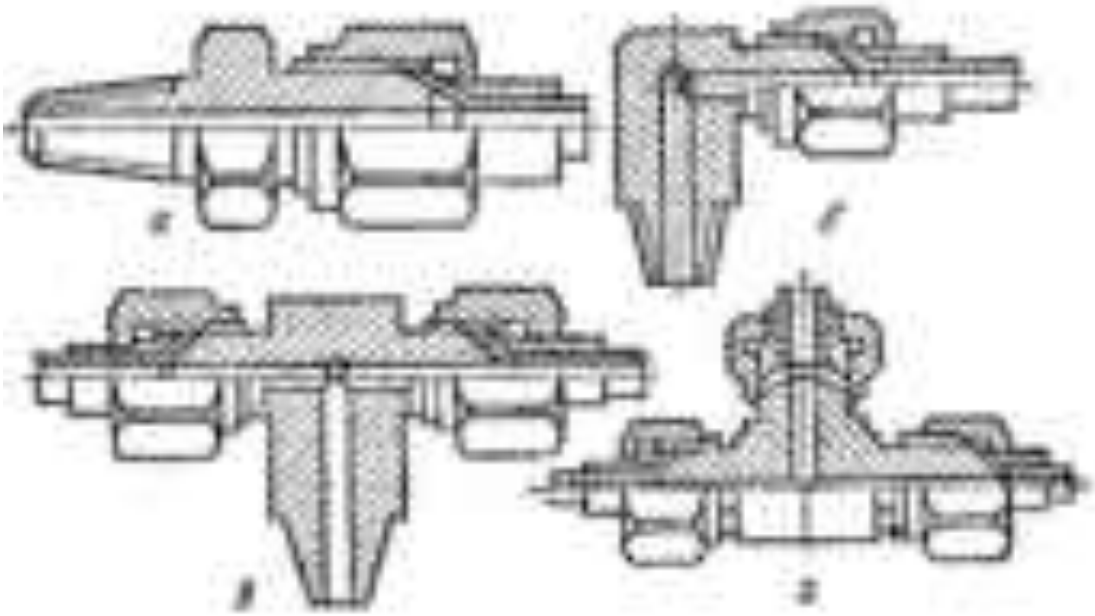


Рис. 2.7. Конструкция присоединений:
а – прямое концевое; б – угловое концевое; в – тройниковое концевое; промежуточное

Данные соединения рассчитаны на номинальное давление до 6,3 МПа (для медных труб) и до 12,5 МПа (для стальных труб). При затяжке гайки ниппель прижимает развальцованный конец трубопровода к конусной поверхности штуцера, обеспечивая герметичность соединения. Шланги и рукава, используемые для подвода сжатого воздуха к подвижным исполнительным и устройствам, монтируют на ниппеле с кольцевыми проточками и обжимают хомутами, Такие соединения используются для давлений до 0,5 МПа. При больших давлениях рукава

зажимаются между ниппелем и резьбовой муфтой. Для систем гидравлики и давлений до 30 МПа применяются гибкие металлические рукава высокого давления, которые поставляются с резьбовой фланцевой или специальной арматурой.

Техника безопасности при монтаже пневмогидрооборудования ПР

При подготовке пневмогидрооборудования к монтажу, чистке и промывке бензином или уайт-спиритом необходимо обеспечить соответствующую вентиляцию. Обтирочный материал после употребления следует убрать в металлический ящик с крышкой. Запрещается производить работы с применением открытого огня (сварка, резка и пр.) вблизи оборудования в период расконсервации (обработка бензином, уайт-спиртом).

При работе с отрезными и шлифовальными кругами необходимо убедиться в надежности их закрепления и наличии ограждающего кожуха. При гибке труб должна быть очищена поверхность (пол). Используемые стационарные или передвижные трубогибочные и другие приспособления должны иметь предохранительные отключающие устройства, а также заземление и зануление.

При работе с кислотами и щелочами опасные зоны должны быть ограждены. Рабочие, занятые на химической обработке трубопроводов, должны пройти специальное обучение и иметь защитную одежду (очки или маску, резиновые рукавицы и сапоги, шерстяные куртки и брюки). Необходимо соблюдать особую осторожность при сливе или выдувании кислоты из трубопроводов, так как при этом возможно разбрызгивание кислоты и попадание е на открытые участки тела.

При производстве электросварочных работ сварочные кабели должны находиться в технически исправном состоянии н не иметь оголенных частей. Обратный кабель от сварочного агрегата должен подсоединяться непосредственно к свариваемому предмету.

При использовании газосварочных аппаратов необходимо надежно закрепить баллоны с кислородом и ацетиленом. Шланги должны соответствовать назначению и их соединение между собой н аппаратурой должно производиться инвентарными хомутами. Особо опасно соприкосновение кислорода с маслом, поэтому пользоваться промасленными рукавицами и спецодеждой при работе с кислородными баллонами запрещается.

Соединение трубопроводов, подтяжка и обтяжка аппаратуры и шлангов должны производиться при полностью снятом давлении. Торцовые и гаечные ключи, используемые при установке аппаратуры и соединений, должны быть исправны и соответствовать по размеру.

2.4. Монтаж устройств управления и электрооборудования роботов и мехатронных систем

Устройства (системы) управления ПР и мехатронных модулей в зависимости от конструкции могут быть встраиваемые и выносные. Наибольшее распространение получили выносные устройства управления, выполненные в виде отдельного приборного шкафа, внутри которого расположены элементы и аппаратура силового питания приводов ПР, блоки управления, памяти, преобразования информации. В верхней части шкафа располагается пульт оператора с выведенными на него органами включения-выключения питания, выбора режима работы, набора отрыто проложенные заземляющие проводники в местах, где возможно их механическое повреждение, должны быть защищены. Защита может быть осуществлена стальной трубой, плетеным чехлом и др. Присоединение заземляющих проводников к заземляемым элементам должно быть выполнено надежным болтовым или винтовым соединением с принятием мер против ослабления контакта (установка контргаек, пружинных шайб и т. д.). Заземление оборудования, подвергающегося частому демонтажу, следует выполнять при помощи гибких медных заземляющих проводников сечением не менее 4 мм^2 (для малогабаритного оборудования допускается 1,5 мм^2). Оконцовывание медных заземляющих проводников должно выполнено с помощью привариваемых к ним кабельных наконечников. Ответвления к однофазным электроприемникам для их заземления должно осуществляться отдельным (третьим) проводником. Использование для этой цели нулевого (рабочего) провода ответвления запрещается. В целом система заземления ПР должна быть выполнена таким образом, чтобы при снятии любого из заземляемых элементов не нарушалась целость всего заземления.

Техника безопасности. Монтаж электрооборудования ПР и мехатронных систем должен производиться только при отключенном пи-

тающем напряжении. Электрифицированный инструмент, используемый при монтаже, должен быть заземлен. Крепление электрических аппаратов на несущих конструкциях (панелях, пультах и т. д.) должно производиться стационарными крепежными изделиями без сорванных резьб, шлицев и граней с необходимой затяжкой резьбовых соединений и принятием мер от самопроизвольного развинчивания. При затяжке проводов в трубы стальная проволока не должна иметь заломов и сростков и должна иметь надежное соединение со всеми затягиваемыми проводами. При продувке защитных труб нельзя стоять против открытых концов труб и протяжных или соединительных коробок. Во время затягивания проводов в трубы необходимо предусмотреть меры против падения рабочего в случае отрыва натянутой проволоки. Направлять затягиваемые провода в защитные трубы необходимо таким образом, чтобы не произошло захвата пальцев рук проводами и затяжки их в трубу. Затяжку проводов в трубы на высоте нельзя производить стоя на приставной лестнице или стремянке; для этой цели следует пользоваться лесами, специальными настилами или площадками. Перед прокладкой кабеля по кабельным конструкциям в помещении каналах, кабельных сооружениях должны быть тщательно проверены прочность крепления и устойчивость этих конструкций. Кабель при этом предварительно раскатывают по полу или по дну кабельного канала.

Монтаж информационных систем

Информационные системы по назначению делятся на три группы: внутренней информации ПР, восприятия внешней среды и обеспечения техники безопасности. **Система внутренней информации ПР** содержит датчики оценки положения и скорости перемещения звеньев ПР, а также датчики, обеспечивающие блокировку движения ПР при появлении случайных сбоев. Для цикловых ПР наибольшее распространение получили путевые конечные выключатели типов ВК-200, ВК-300, ВКП-1000, ВКП-2000, ВКП-4000, а также бесконтактные конечные выключатели типов БВК, У143 и У511. Для определения величины линейных или угловых перемещений звеньев манипулятора используется потенциометры, вращающиеся трансформаторы, индуктосины, цифровые датчики типа перемещение – фаза – код.

Контактные выключатели срабатывают в результате непосредственного механического воздействия упора управления на приводной

элемент выключателя (рычаг с роликом, толкатель и др.), поэтому необходимо, чтобы ход упора был несколько больше рабочего хода выключателя, но вместе с тем не превышал бы величины полного хода, допустимого для данного выключателя.

Контактные или путевые выключатели обычно монтируют вблизи рабочих зон перемещаемых механизмов и крепят винтами через крепежные отверстия к неподвижной части узлов ПР. Если контактный выключатель используется для фиксации определенной точки при движении звеньев ПР, например, точки синхронизации, то в этом случае взаимодействующий с выключателем упор имеет конструкцию, обеспечивающую прохождение его по обе стороны от выключателя (рис 2.8). Для обеспечения возможности подстройки положения упора он должен иметь продольные пазы длиной 15-20мм.

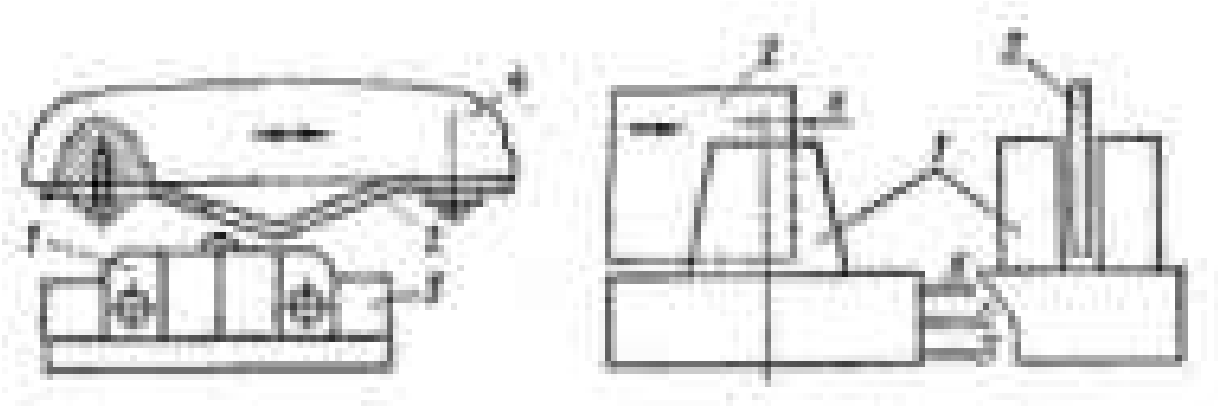


Рис. 2.8. Монтаж конечного выключателя

Бесконтактные конечные выключатели типа БВК также монтируют на неподвижных узлах ПР и оборудования с помощью винтов. Они имеют щелевидную рабочую зону, поэтому на подвижном элементе или звене ПР с помощью винтов закрепляют алюминиевую пластину толщиной 3 мм и шириной 30 мм. Срабатывание датчика происходит при переходе кромки пластины за центр рабочей зоны на величину от 0 до 4 мм (в зависимости от характеристики выключателя).

Наибольшее распространение в робототехнике получили бесконтактные конечные выключатели пальчикового типа. На рис. 2.9 представлена конструкция индуктивного бесконтактного переключателя фирмы “Баллуфф” (ФРГ).

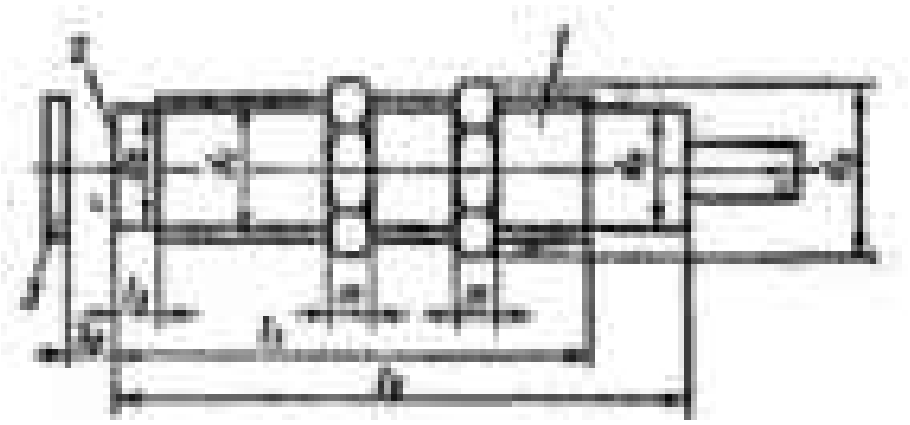


Рис. 2.9. Конструкция индуктивного бесконтактного переключателя фирмы “Баллуфф” (ФРГ)

Они имеют цилиндрическую конструкцию с металлическим или пластмассовым корпусом 1 и могут устанавливаться на специальных кронштейнах, либо встраиваются в металл заподлицо или незаподлицо. Срабатывание датчика происходит при приближении к его активной поверхности 2 измерительной пластинки 3 из стали толщиной 1 мм квадратной формы со стороны квадрата, равной диаметру датчика. Рабочий зазор переключения S_p=2/20 мм (в зависимости от типа датчика). При использовании латунной измерительной пластинки рабочий зазор уменьшается вдвое.Отечественная промышленность выпускает аналогичные датчики типа У551 с рабочим зазором 1, 2, 4 мм и ДКП с рабочим зазором 1 и 2 мм. При монтаже датчиков на кронштейне с помощью крепежных гаек выставляется номинальный рабочий зазор от торцевой поверхности датчика до измерительной пластинки, наклеенной на подвижное звено. Датчики пальчикового типа могут быть встроены в металл. Если необходимо расположить рядом два датчика, то расстояние между их центрами должно быть равно или больше двух их диаметров. Если датчики не позволяет встраивать его в металл до уровня активной поверхности то для обеспечения его работоспособности с заданными параметрами должна быть обеспечена свободная от металла зона. Соединительные провода от датчиков при монтаже рекомендуется прокладывать в резиновых патрубках соответствующего диаметра с нахлестом на корпус датчика. При монтаже датчиков, регистрирующих перемещение звеньев манипулятора, их скорости и ускорения, необходимо обеспечить кинематическую связь перемещаемого звена с датчиком.

Основные варианты конструктивных схем связи датчика со звеном манипулятора приведены на рис. 2.10.

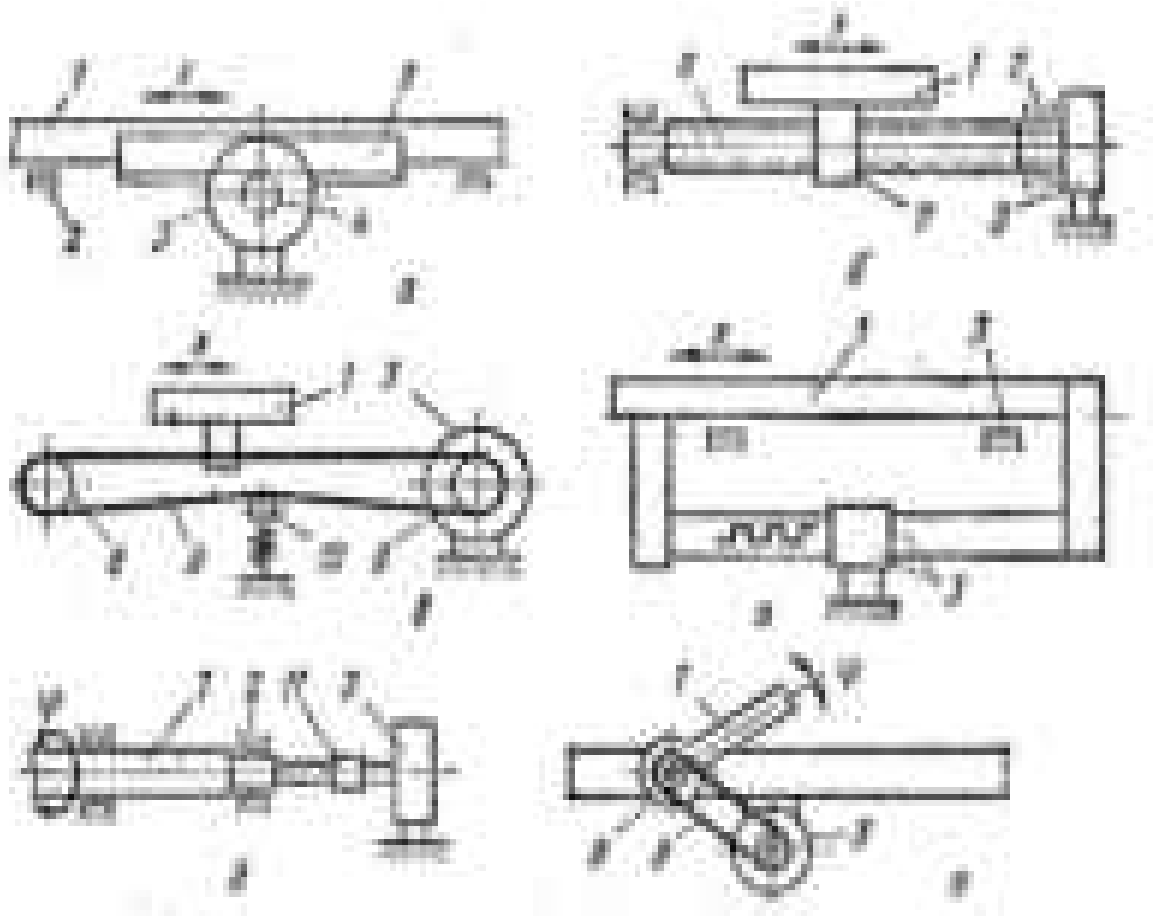


Рис. 2.10. Основные варианты конструктивных схем связи датчика со звеном манипулятора

На практике обычно отдается предпочтение вращательным датчикам перемещений, так как они более технологичны, отличаются относительной легкостью подсоединения к измеряемому звену и обеспечивают хорошую разрешающую способность. Датчики перемещения либо непосредственно подсоединяются к подвижному элементу, либо соединяются с ним посредством механической передачи того или иного типа. На рис. 2.10, а приведен вариант связи поступательно перемещающегося звена 1 с вращательным датчиком 3 с помощью зубчатого колеса 4 и зубчатой рейки 5. Точность измерений перемещения x определяется в первую очередь погрешностью зубчатого зацепления и качеством механической обработки.

В схеме, приведенной на рис 2.10, б, вращение ходового винта 6 вызывает линейное перемещение х гайки 7, к которой крепится подвижное звено 1. С ходовым винтом связан вал вращательного датчика 3, измеряющего угол поворота ходового винта 6, а следовательно, и перемещение х звена 1. Погрешность измерения этой схемы зависит от механического преобразователя вращательного движения в линейное, что определяется точностью ходового винта, гайки, опорных подшипников 2 и качеством сборки механической передачи. Более точную передачу движения на вращательный датчик 3 можно обеспечить (Рис. 2.10, в) с помощью гибкого тросика 9, шкивов 8 и устройства натяга 10. Следует отметить, что при измерении линейного перемещения подвижного звена наибольшую результирующую точность обеспечивает вариант с непосредственным подсоединением к подвижному звену линейного датчика перемещения (рис. 2.10, г), так как механическая передача между подвижным звеном 1 и датчиком 3 лишь увеличивает погрешность измерения перемещения. Аналогично при измерении углового перемещения подвижного звена 1 предпочтителен вариант подсоединения к нему вращательного датчика 3 либо непосредственно, либо с помощью соединительной муфты 11(рис. 2.10, д). Если конструкция манипулятора не позволяет осуществлять такой вариант, то ось подвижного звена 1 можно связать с входным валом вращательного датчика 3 механической передачей, в частности, в виде шкивов 8 и гибкого тросика 9 (2.10, е).

В системах восприятия внешней среды наибольшее применение находят системы технического зрения. В качестве датчиков в таких системах используют телевизионные передающие трубки (видиконы) либо полупроводниковые матричные формирователи сигналов изображения на основе фотодиодных матриц. Монтаж датчиков систем технического зрения производят преимущественно на конце руки или рабочих органах ПР. При этом необходимо обеспечить надежное крепление датчиков и одновременно создать условия для возможности обзора области захвата объектов манипулирования. Видиконы и матричные формирователи не должны мешать работе рабочих органов ПР и не должны быть повреждены объектами манипулирования в любых рабочих ситуациях. На рис. 2.11 показан пример установки видикона 2 на фланце руки ПР 1. К этому же фланцу посредством разъема крепится рабочий орган 3 с матрицей пневматических присосок 4.

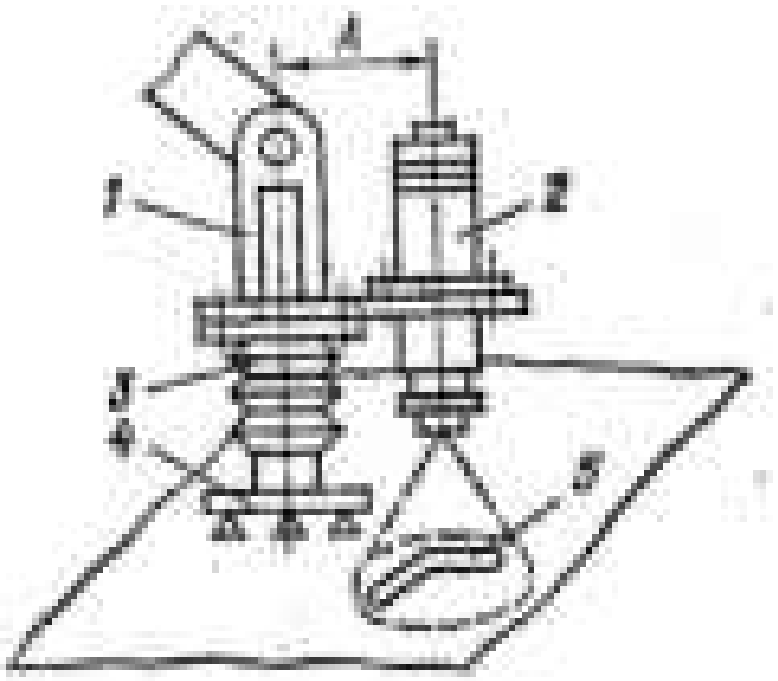


Рис. 2.11. Монтаж видеокамеры на руке робота

Оси руки ПР и видикона смещены в горизонтальной плоскости на расстояние А, определяемое конструктивными размерами элементов. В процессе работы ПР с помощью видикона осуществляет поиск объекта 5 на плоскости захвата. Затем координаты объекта переносятся в память устройства управления и ПР перемещается в направлении центра объекта на величину фиксированного расстояния А для захвата.

Электрические машины и аппараты в зависимости от их веса и габаритов поступают на монтаж от заводов-изготовителей в собранном или разобранном виде в соответствующей упаковке. Выгружают их с транспортных средств кранами и в исключительных случаях на катках по наклонным настилам, хранят в сухих вентилируемых помещениях. Части машин, подверженные коррозии, покрывают слоем технического вазелина или какой-либо другой смазки. Шейки валов покрывают антикоррозионной смазкой, обертывают влагонепроницаемым материалом и защищают от механических повреждений. При приемке электрических машин и аппаратов под монтаж проверяют их целостность, соответствие заводских характеристик проектным и комплектность. Во избежание повреждения машин и аппаратов их распаковывают осторожно в закрытом, сухом и чистом помещении, недоступном для посторонних лиц. Помещения для установки электрических машин

и аппаратов принимают от строительных организаций под монтаж в состоянии, годном для нормального ведения работ, и с готовыми фундаментами для машин.

Помещения должны иметь проемы в стенах и перекрытиях для транспортирования тяжелого и крупногабаритного электрооборудования. Если проектом предусмотрена закладка в фундаменты стальных труб, предназначенных для прокладки в них проводов или кабелей, электромонтажная организация укладывает их еще до бетонирования фундамента, одновременно с вязкой арматуры.

Размеры помещений, основные размеры фундаментов, размещение и размеры колодцев под анкерные болты, проемов и ниш, размещение осей фундаментов проверяют по данным чертежей проекта.

Непосредственно перед началом монтажа производят ревизию и регулировку электрических машин и аппаратов. При ревизии проверяют крепление обмоток, наличие доски с выводными зажимами, исправность активной стали, отсутствие вмятин, задиров, ржавчины, состояние выводов обмоток, коллектора и щеточных устройств у машин постоянного тока и контактных колец у машин переменного тока, шеек валов, правильность соединений обмоток, величины зазоров, сопротивление изоляции обмоток. У электрических аппаратов проверяют и регулируют одновременность включения контактов, раствор контактов, работу механизмов зацепления и срабатывания и др.

Обнаруженные мелкие дефекты устраняют собственными силами. Для устранения серьезных дефектов аппараты отправляют на завод-изготовитель или в специальные ремонтные мастерские. Машины и аппараты, прибывающие на монтаж в собранном виде, разбирают только в том случае, если возникают сомнения в их исправности после транспортировки и хранения. Разборку и последующую сборку машин и аппаратов производят так, как это указано в инструкции завода изготовителя. На первой стадии монтажа низковольтной пускорегулирующей аппаратуры, приборов контроля и защиты в соответствии с общим принципом организации электромонтажных работ размечают и пробивают гнезда, проемы и отверстия в строительных основаниях для крепления и заделки в них опорных конструкций или крепежных деталей.

Разметку ведут по отметкам чистого пола, наносимым на стенах или перегородках (представителями строительной организации) чер-

ной краской в виде полос шириной 10 и длиной 100–150 мм, в соответствии с данными чертежей проекта или по размерам, снятым с натуры, пользуясь шаблонами для ускорения этой операции. (Последнее особенно целесообразно при установке большого количества однотипного оборудования.) Разметку начинают с нанесения основных вертикальных и горизонтальных осей мест установки оборудования, а затем размечают места заделки опорных конструкций или крепежных деталей (болтов, шпилек, дюбелей и т. п.). На металлических опорных поверхностях оборудование крепят или непосредственно винтами и болтами, или с помощью конструкций, привариваемых электросваркой к металлическим опорным поверхностям. Крепежные детали и опорные конструкции, если они не выпускаются заводами, изготовляют в мастерской по эскизам группы подготовки производства или чертежам проекта. В мастерской выполняют также ревизию низковольтных аппаратов и подготовку их к установке.

2.5. Монтаж роботизированных технологических комплексов

При монтаже роботизированного технологического комплекса особое внимание нужно уделять системе обеспечения техники безопасности. Системы обеспечения техники безопасности осуществляют аварийную блокировку работы ПР при воздействии на отдельные его части и узлы предельных усилий, а также при попадании в рабочую зону ПР людей. Ограждение рабочей зоны ПР может выполнено на базе устройств с контактными, силовыми, ультразвуковыми, индукционными, светолокационными и другими датчиками. К числу таких устройств относятся трапики, переходные мостики, буфера, чувствительные матрицы.

Система светозащиты рабочей зоны ПР, выполненная по модульному принципу и обеспечивающая эффективную защиту человека при любых конфигурациях РТК. В состав системы входят стойки светоизлучателей и фотоприемников, применяемых попарно, а также блок логических преобразователей. В состав стойки светоизлучателя входят излучатель, сигнальный светофор и кнопка сброса, а в состав стойки фотоприемника - приемник, сигнальный светофор, кнопка сброса и плата усиления выходного сигнала фотоприемника. Стойки излучате-

лей и фотоприемников предназначены для регистрации момента появления человека в соответствующей зоне рабочего пространства ПР. На рис.2.12 приведены типовые конфигурации РТК и места монтажа светолокацнонных стоек. Светоизлучатели и фотоприемники рекомендуется крепить на стойках на высоте 0,8 – 1 м от уровня пола.

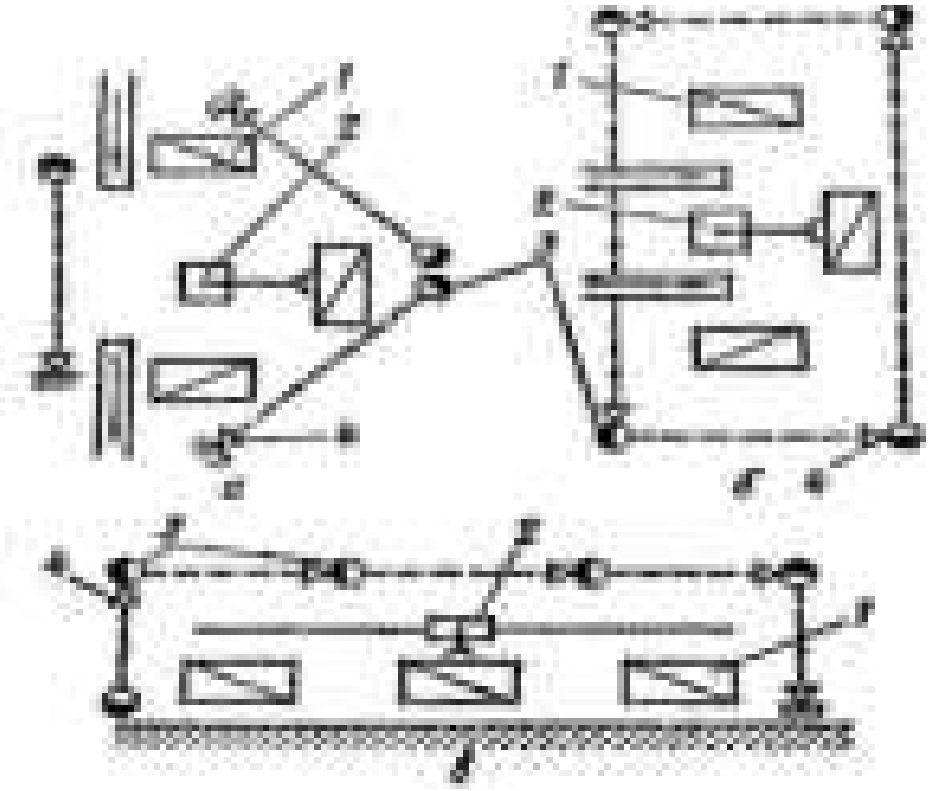


Рис. 2.12. Типовые конфигурации РТК
1 – технологическое оборудование, 2 – ПР,
3 – светоизлучатель, 4 – фотоприемник

Луч света должен быть сфокусирован и освещать поверхность фотоприемника, работающего в паре со светоизлучателем. На этих же стойках размещаются кнопки сброса аварийной блокировки.

Пересечение светового луча при входе человека в зону рабочего пространства приводит к включению всех лампочек-светофоров стоек, ограничивающих эту зону. Таким образом, осуществляется сигнализация запрещенной для работы ПР зоны рабочего пространства (рис 2.12, а). Если ПР находится в этой зоне, либо входит в нее, что регистрируется соответствующими бесконтактными выключателями, то формируется команда на аварийное торможение и выключение движения робота (рис. 2.12, б). При необходимости может быть вновь дано

разрешение на одну из кнопок «Сброс», находящихся на стойках, ограничивающих запрещенную зону работы ПР (рис. 2.12, в).

В целях большей безопасности обслуживающего персонала помимо светозащиты предусматривают монтаж дополнительных устройств, одним из которых являются выдвижные упоры, расположенные в местах, ограничивающих работу зоны ПР. При появлении в этой зоне человека упоры выдвигаются (как по команде оператора, так и по сигналу устройства светозащиты) и препятствует перемещению ПР в эту зону.

Если РТК имеет круговое ограждение с одной или несколькими калитками, то в поверхность пола на входе калиток можно вмонтировать гравитационные трапы, верхняя горизонтальная поверхность которых должна быть на уровне пола. Длина трапа не должна быть меньше 1 м, с тем чтобы человек при нормальном шаге хотя бы одной ногой обязательно наступил на трап. Это вызывает блокировку движений ПР и элементов РТК. После монтажа датчиков информационных систем всех видов осуществляется подключение их к информационным магистралям в соответствии с проектом, и передача в комплексе с другим оборудованием в наладку.

Планировка участков и линий ПР, РТК должна обеспечивать свободный, удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к ПР, основному и вспомогательному технологическому оборудованию, к органам управления и аварийного отключения всех видов оборудования и механизмов, входящих в их состав. Например, требованиям обеспечения свободного доступа к оборудованию и его осмотра в большей степени соответствуют подвесные передвижные ПР, рабочие зоны которых не совмещены с рабочими зонами операторов. Планировка зоны РТК должна проводиться в зависимости от типа используемого технологического оборудования, его компоновки, формы, размеров и расположения рабочих зон, уровня автоматизации оборудования, надежности его работы и степени информационного обеспечения, а также от компоновки и структурно-кинематической схемы ПР с учетом действующих норм технологического проектирования соответствующего производства. При манипулировании и перемещении заготовок, готовых изделий и т. п. над проходами, проездами и рабочими местами под зоной движения исполнительных устройств ПР устанавливают за-

щитные сетки и другие устройства, исключающие травмирование персонала при случайном падении предметов манипулирования. Пульт управления РТК по ГОСТ 22269–76, как правило, размещается за пределами зоны ограждения с обеспечением оператору возможности хорошего обзора за работой ПР, технологического оборудования, входящего в состав комплекса, и окружающего его пространства. Освещенность пультов управления РТК должна составлять по ГОСТ 12.2.072–82* не менее 400 лк. Освещенность в рабочей зоне устанавливается СНиП II-4–79 и отраслевыми нормами соответствующих производств. Так, роботизированные комплексы для обработки отливок (ТУ 2-043-862–88) имеют освещенность площадок обслуживания 400 лк, а отраслевые нормы (ОСТ 5.9854–80) устанавливают общую освещенность рабочих мест на поточно-механизированных сварочных линиях 300 лк при использовании газоразрядных ламп и 200 лк – при лампах накаливания. Шумовые и вибрационные характеристики РТК должны соответствовать ГОСТ 12.1.003–83. При размещении постов управления РТК, участками или линиями в закрытых кабинах минимальные внутренние размеры кабины по ГОСТ 12.2.072–82* должны составлять: высота – 2100 мм, ширина – 1700 мм, длина – 2000 мм, ширина дверного проема – 600 мм. Температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе кабины или помещения, откуда ведется управление комплексом, устанавливают по ГОСТ 12.1.005–76. Количество подаваемого в кабину воздуха определяют по СН 245–71. Интенсивность лучистого потока, поступающего через смотровые окна кабины, не должна превышать 1200 кДж/(м2ч), а уровень звука – до 80 дБА. Зоны размещения органов управления на пультах и средства отображения информации выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 23000–78, ГОСТ 22269–76, ОСТ 12.2.033–78, ГОСТ 12.4.040–78*. Оснащение РТК, участков, линий унифицированными комплектами средств для диагностирования состояния оборудования в процессе эксплуатации и оценки состояния внешней среды с выводом оперативной информации на дисплеи пультов управления позволяет значительно повысить уровень безопасности производственных процессов, обслуживающего персонала и безаварийной работы оборудования в составе РТК.

В общем случае монтаж РТК производят в следующей последовательности:

1. В соответствии со строительным заданием изготавливают фундаменты под ПР, технологическое и околороботное оборудование, каналы для кабельных и трубопроводных магистралей.

2. Производят установку ПР на фундаменте, методы его выверки и крепления описаны выше. Затем устанавливают шкаф управления ПР, соединяют ПР со шкафом информационными и силовыми кабелями, прокладываемыми без крепления в каналах, и подают на шкаф управления временное питание.

3. При включенном питании проверяют отработку движений ПР по степеням подвижности при управлении с выносного пульта управления, а также уточняют направление оси синхронизации ПР и границы его рабочей зоны, особенно по углу поворота основания.

4. Производят установку технологического оборудования.

5. Далее устанавливают магазины выдачи заготовок.

6. Устанавливают шкаф пневмооборудования, производят прокладку трубных проводок к прессам, магазинам и соединение трубных проводок с элементами пневмооборудования согласно проекту.

7. Монтируют шкаф электрооборудования, датчики положений механизмов, осуществляют прокладку силовых и информационных кабелей и подключение их к элементам электрооборудования.

8. Монтируют элементы информационной системы обеспечения техники безопасности (выключатель открывания входа в ограждение, световой барьер) и вводят блокировки в системы управления ПР и околороботного оборудования.

9. Производят закрепление трубных проводок, силовых и информационных кабелей в каналах и закрывание их крышками.

10. РТК по акту сдают в наладку.

Вопросы для самопроверки

1. Каким образом производится закрепление на площадке монтажных осей и отметок?

2. Назовите способы установки и крепления в фундаменте фундаментных болтов.

3. Порядок монтажа ПР, поставляемых в разобранном виде.

4. Как производится выверка ПР и оборудования?

5. Назовите способы установки пневмо- и гидроцилиндров.

6. Из каких соображений определяются внутренний диаметр пневмогидропроводок и допустимый радиус внутренней кривой изгиба труб?

7. Назовите основные способы монтажа шкафов устройств управления ПР?

8. Основные способы монтажа соединительных проводов на панелях.

9. Как выполняется электропроводка при монтаже электрооборудования непосредственно на исполнительном устройстве ПР?

10. Правила заземления электрооборудования ПР.

11. Назовите основные варианты конструктивных схем связи датчиков информационных систем с звеном манипулятора.

12. На базе каких датчиков и устройств может быть выполнено ограждение рабочей зоны ПР?

13. Назовите рекомендуемую последовательность монтажа элементов РТК.

Глава 3. НАЛАДКА И НАСТРОЙКА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Различают три вида наладки технологического оборудования: первичную – перед проведением приемочных испытаний и сдачей на заводе-изготовителе; контрольную – перед сдачей в эксплуатацию после монтажа на предприятии-потребителе; вторичную – после планового ремонта или восстановления работоспособности при поломках и отказах. Наладка производственных систем на заводах-изготовителях проводится в соответствии с технической документацией и техническими условиями.

Контрольная наладка, которая выполняется, как правило, силами специалистов завода-изготовителя либо специализированной пусконаладочной организации, предназначена для проверки и обеспечения (при необходимости) характеристик оборудования, указанных в документации изготовителем. Контрольная наладка предусматривает проверку и обеспечение характеристик оборудования и организацию вза-

имодействия всех составных частей РТК в соответствии с требованиями технологического процесса. При этом каждая единица оборудования должны быть проверены при максимальных нагрузке и скоростных режимах. При вторичной наладке производят настройку всех систем с целью восстановления их первоначальных (паспортных) характеристик. Она производится силами предприятия-потребителя.

3.1. Наладка механических устройств ПР и мехатронных систем

Наладка механических устройств проводится с целью достижения основных механических и кинематических характеристик ПР и мехатронных систем. К таким характеристикам относятся: максимальные или требуемое перемещения звеньев, их скорости, время перемещения захватного устройства из одной точки в другую, точность позиционирования рабочего инструмента при максимальной скорости.

Наладку механических устройств ПР и мехатронных систем следует начинать с изучения кинематической схемы. Это дает возможность разбить всю систему на узлы и механизмы и определить порядок их взаимодействия.

ПР состоят из соединенных в той или иной последовательности опорных систем, оснований, механизмов поворота, подъема, выдвижения руки, захватного устройства и т. п. В зависимости от грузоподъемности ПР, типа привода и системы координат, в которых они работают, механизмы ПР имеют различную конструкцию. Однако это не мешает выработке ряда общих правил и приемов, используемых при наладке.

Для проведения наладочных работ необходимо пользоваться общими видами ПР и его узлов, схемами размещения узлов и оборудования, техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, картой смазки. Вся документация перед наладкой должна быть тщательно изучена.

Внешним осмотром должны быть проверены правильность выполнения монтажных работ, качество сборки узлов и элементов робота. Все крепежные болты должны быть затянуты, соединения должны быть надежными. Учитывая, что механическая система ПР представляет собой разомкнутую кинематическую цепь, наладку целесообразно выполнять последовательно каждого отдельного механизма (например, основания, механизма поворота, механизма подъема и т.

д.), используя уже налаженные механизмы для наладки последующих. В процессе наладки каждого механизма необходимо многократно повторять его движения, наблюдая при этом за его работой. В случае обнаружения отказов наладчик должен выяснить причину отказа, устранить ее и вновь испытать механизм в работе. В ПР с цикловым управлением и пневматическими приводами звеньев выход объекта манипулирования в заданную точку осуществляется по регулируемым жестким упорам. Плавная остановка по упорам выполняется демпферами, а выход в заданные точки контролируется микровыключателями. Основной объем работ по настройке механических систем таких ПР заключается в регулировке плавности хода механизмов и выставлении упоров, ограничивающих движение звеньев. Регулировка скорости перемещения штоков пневмоцилиндров производится при помощи дросселей с обратными клапанами. В ПР с контурным управлением и электромеханическим приводом используется следящий принцип управления с обратной связью по положению звеньев манипулятора и наладку приводов производят путем настройки параметров регуляторов на заданные технические характеристики. Наладку и программирование робота следует начинать при остановленном обслуживаемом оборудовании и при отключённом электропитании робота. Вначале необходимо задать требуемые перемещения робота (крайние точки по каждой координате). При этом проверяют отсутствие заеданий, особенно в конце хода.

Наладка подшипниковых узлов

В процессе наладки механической части ПР и мехатронных систем важно проверить отсутствие люфтов и создание натяга заданной величины в подшипниковых узлах. Подшипники используются в конструкциях фиксирующих либо плавающих опор. Для плавающих опор применяют посадку подшипника с зазором, обеспечивающим подвижность внешнего кольца подшипника в осевом направлении (схемы Рис.3.1а, б). Обычно плавающей делают опору, которая несёт меньшую часть радиальной нагрузки. При создании фиксирующей опоры длинного вала часто используют два подшипника для увеличения жёсткости (схема б). Температурное перемещение обеспечивается посадкой радиального шарикоподшипника с зазором (внешнее кольцо подвижно) либо применением радиального роликоподшипника с цилиндрическими роликами.

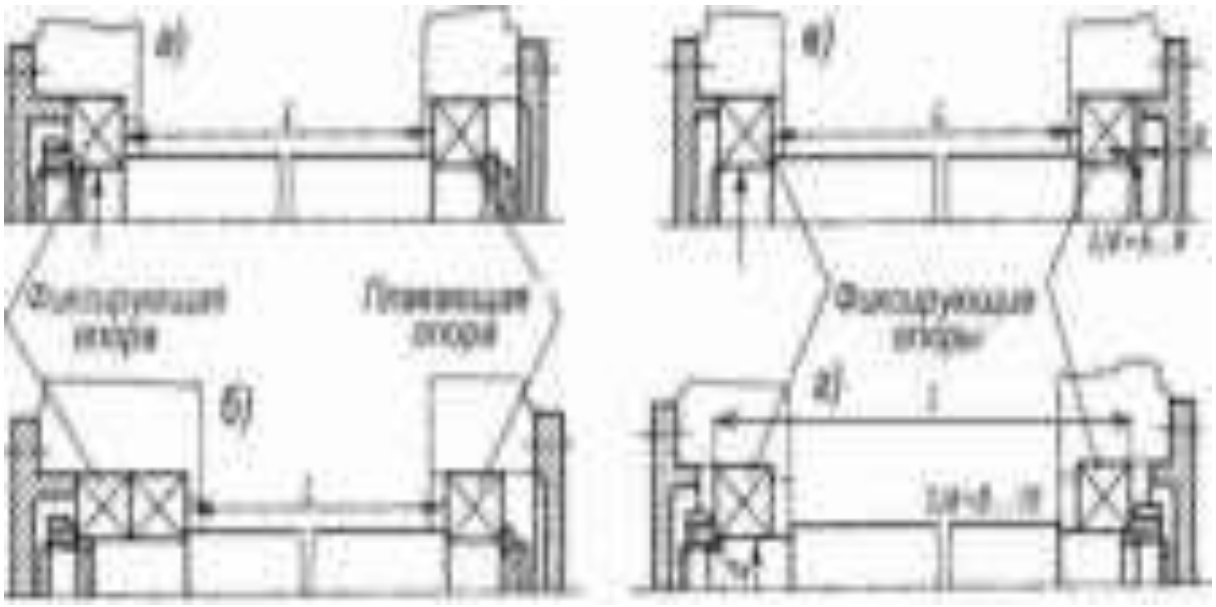


Рис. 3.1. Схемы установки подшипников

Наружные и внутренние кольца фиксирующих опор неподвижны (схема в, г) в осевом направлении и препятствуют смещению вала в ту или в другую сторону. Применение фиксирующих опор допустимо при установке коротких валов враспор в условиях незначительного нагрева. Вал с фиксирующими опорами удобен при монтаже, но требует контроля линейных допусков и учёта теплового расширения, чтобы предотвратить заклинивание тел качения. Для радиально-упорных подшипников установка враспор должна включать возможность осевой регулировки. Величина внутреннего зазора определяет взаимное расположение пары однорядных радиально-упорных шарикоподшипников. Внутренний зазор выставляют после их монтажа, причём осевую фиксацию обеспечивает второй подшипник. Для повышения точности и жёсткости подшипниковых узлов, устранения люфтов и улучшения виброакустических параметров, рекомендуют установку подшипников с предварительным натягом. Преднатяг, т.е. заданная осевая нагрузка, компенсирует зазоры подшипника, создаёт упругую деформацию между максимально возможным количеством тел качения подшипника и его кольцами, предотвращает их проскальзывание. Типичные примеры применения преднатяга - это небольшие быстроходные электродвигатели, шпиндели станков и т.п.

В случае возникновения проблем с подшипником или его установкой, или с тем и другим, температура подшипника не выравнивается, а

возрастает до аномального уровня. Температура насыщения подшипника варьируется в зависимости от теплоемкости, теплоотдачи, количества вращений и нагрузки самого станка. Как правило температура варьируется от 20°C до 30°C. Возможные причины постоянного роста температуры до аномальных пределов следующие: чрезмерная подача консистентной смазки или масла; непредусмотренная нагрузка на подшипник; чрезмерное трение уплотнений подшипника; неправильный контакт подшипника ввиду несоответствия вала, корпуса или заплечиков; недостаточный зазор подшипника; завышенная скорость по отношению к типу подшипника и способу смазки; неправильный контакт подшипника; дефекты подшипника и др. Более того, это могут быть случаи неправильной установки, неточного изготовления или неверного выбора подшипника. Звук подшипника можно проверить с помощью локатора шума или другого соответствующего устройства, приложив его к корпусу. Ненормальные звуки, такие как громкие звуки металла, странные необычные шумы, могут быть вызваны недостаточной смазкой, неподходящим выбором вала или корпуса, попаданием чужеродных частиц или соринок в подшипник, или наличием дефекта подшипника. Даже небольшое отслаивание подшипника создаст аномальный или неровный шум, который опытный работник с помощью локатора легко отличит от нормального шума. Несмотря на то, что температуру можно грубо определить, просто прикоснувшись к поверхности корпуса, все же рекомендуется вставить термометр в отверстие для смазки или в подобное отверстие для непосредственного измерения температуры. Подшипники для движущихся устройств, у которых невозможно проводить мониторинг шума или температуры во время функционирования, например, роликовые подшипники для транспортных средств, необходимо периодически проверять и смазывать свежей смазкой. Проверка состояния смазки во время работы также является полезным способом определения технического состояния подшипника. Техническое состояние может быть определено по количеству грязи и мелкого железного порошка, содержащегося в смазке, а также по любому признаку утечки или ухудшения качества смазки. Каждый раз при выявлении неисправностей или поломок подшипника в результате таких проверок подшипник необходимо разобрать для дальнейшего тщательного обследования и определения причин возникновения неполадок.

Регулировка зазора-натяга по нагреву опор

Температуру подшипников измеряют с помощью термопар, устанавливаемых в отверстиях корпуса шпиндельной бабки так, что они непосредственно касаются наружных колец подшипников, либо с помощью термометров, устанавливаемых в отверстиях в корпусе бабки (отверстия заполняют маслом). Нагрев опор не должен превышать известных границ, но и не должен быть ниже известного уровня. Если указанное условие не выполнено - проводится регулировка подшипников. Такой метод регулировки возможен лишь при том условии, что показатели точности подшипников и сопряженных сними деталей имеют малое рассеяние.

Регулировка зазора-натяга по моменту трения

По результатам исследования прототипа станка устанавливают допуск на величину момента трения покоя или движения (при медленном) вращении. Изменяют момент трения с помощью рычага с грузом, гибкой тяги с пружинным динамометром или с помощью рычага и манометра. Достоинство описанного метода - измерение очень простое и кратковременно. Однако еще в большей мере, чем при испытаниях на нагрев, стабильность регулировки подшипников зависит от постоянства точностных параметров подшипников.

Наладка устройств выборки люфта в механических передачах

Различают два способа выборки бокового зазора в винтовых механизмах – радиальное и осевое смещение гайки относительно винта. При радиальном способе осуществляют сжатие гайки в радиальном направлении, а при осевом способе – смещение гайки относительно винта в осевом направлении. Устройства, обеспечивающие выборку радиальной составляющей бокового зазора, представляют собой разрезные гайки. Конструкция люфтовыбирающего механизма с разрезной гайкой показана на рис. 3.2. Две половинки гайки 1 стягиваются винтами 3 и обжимают винт 2. При этом создается неравномерное обжатие винта, что вызывает неравномерный износ резьбы гайки. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют путем относительного осевого смещения части составной гайки. На рис. 3.2, а показана конструктивная схема

люфтовыбирающего механизма на основе гайки с жесткой регулировкой осевого зазора, в котором выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют поворотом гайки 1.

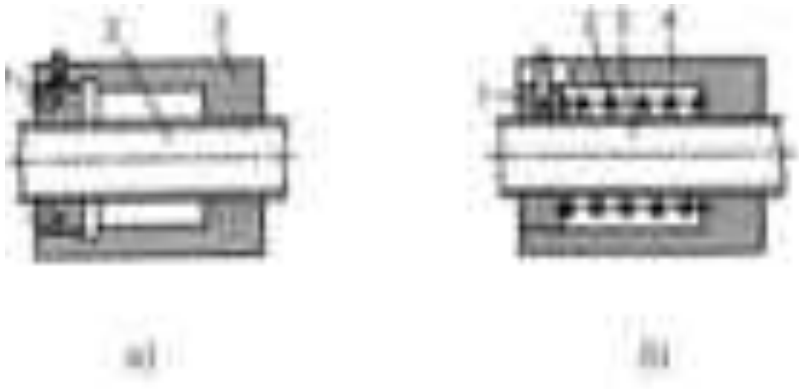


Рис. 3.2. Конструкция люфтовыбирающего механизма с разрезной гайкой

При этом обеспечивается одновременный контакт правых профилей резьбы винта 2 и левых профилей гайки 1, а также левых профилей резьбы винта 2 и правых профилей резьбы гайки 3 при сжатии витков винта. Люфтовыбирающий механизм на основе гайки с эластичной регулировкой осевого зазора показан на рис. 3.2, б. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляет пружина 2, отжимая гайку 1 от гайки 4, обеспечивая двухпрофильный контакт резьбы винта 3 с резьбами гаек 1 и 4. Расчет пружины проведен в разделе 9.2. Механизмы выборки мертвого хода на основе гаек с жесткой и эластичной регулировкой осевой составляющей бокового зазора обеспечивают высокую точность относительного перемещения винта и гайки при их движении как в прямом, так и в обратном направлениях. В мехатронных модулях используют механизмы выборки бокового зазора между зубьями колес зубчатых передач двух типов: автономные и с дополнительной кинематической цепью (замкнутым энергетическим потоком). В автономных механизмах выборки мертвого хода используют метод раздвоения ведомого колеса, где в качестве силовых элементов используют пружины.

На рис. 3.3 приведена конструктивная схема такого механизма. Основная половина 1 раздвоенного зубчатого колеса закреплена на валу, а вторая половина 2 образует с втулкой основной

половины 1 колеса подвижное соединение и ее фиксируют от осевого смещения шайбой 3. Под влиянием пружины 4, закрепленной одним концом на половине 1 колеса, другим – на половине 2, половинки колес поворачиваются относительно друг друга в разные стороны и выбирают боковой зазор между зубьями ведущего и ведомого колес.

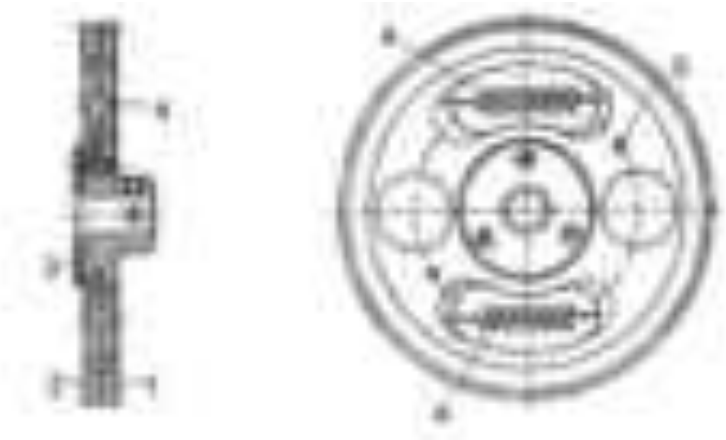


Рис. 3.3. Конструктивная схема выборки зазора

Пружину 4 устанавливают во время сборки механизма с предварительным натяжением, достаточным для выборки мертвого хода в данной зубчатой паре и передаче крутящего момента другого знака, т.е. при реверсе. При наличии мертвого хода необходимо установить пружину большей жесткости.

Кроме выборки зазора при помощи пружин используют жесткую фиксацию, заключающуюся в предварительном относительном смещении половинок раздвоенного зубчатого колеса и их жестком закреплении при помощи винтов, болтов, клеммовых соединений и т.д. Основными недостатками выборки мертвого хода методом раздвоения колеса являются: наличие большого числа дополнительных элементов (пружин, зубчатых колес, винтов и т.д.), увеличенные потери в зацеплении, обусловленные тем, что трение возникает не только на рабочей стороне зуба, но и на нерабочей. Это приводит к ускоренному износу зубьев. Указанные недостатки частично могут быть устранены в механизмах выборки

мертвого хода с дополнительной кинематической цепью (безлюфтовые механизмы с замкнутым энергетическим потоком). Они позволяют осуществить полный выбор люфтов во всех составляющих звеньях путем принудительного разворота в противоположные стороны двух соосно расположенных элементов одной из передач. На рис.3.4 приведена схема безлюфтового планетарного механизма.

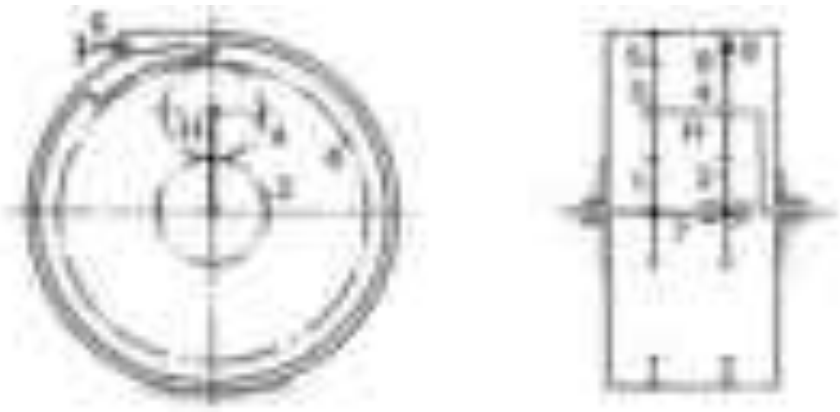


Рис. 3.4. Схема безлюфтового планетарного механизма

Обычно для образования замкнутого контура к исходной кинематической цепи добавляют точно такую же параллельно расположенную кинематическую цепь, однако это необязательно. Иногда замыкающая кинематическая цепь может представлять собой цепь иного рода, чем исходная. Исходная кинематическая цепь состоит из центрального колеса 1, сателлита 3, закрепленного на водиле *H* и неподвижного центрального колеса 5. Для выборки люфтов устанавливают дополнительную кинематическую цепь, состоящую из центрального колеса 2, соединенного с центральным колесом 1 при помощи упругого элемента (торсиона, пружины) 7, сателлита 4, подвижного центрального колеса 6 с внутренним зацеплением и винта 8.

При завинчивании винта 8 подвижное центральное колесо 6 поворачивается и выбирает зазор в паре зубчатых колес 6-4. Затем начинается поворот сателлита 4 и выбирается зазор в паре 4-2. Далее через торсион 7 поворот передается центральному колесу 1 и

выбирается зазор в паре 1-3 и далее поворот сателлита 3 приводит к выборке зазора в паре 3-5. После выборки всех зазоров во всей кинематической цепи происходит дополнительная закрутка торсиона 7, что обеспечивает постоянный натяг в цепи и исключает появление люфта при износе элементов отдельных передач.

3.2. Наладка пневмогидрооборудования ПР

Наладку пневмогидрооборудования ПР начинают с внешнего осмотра. При внешнем осмотре проверяют правильность сборки пневмо- или гидросистемы ПР по соответствующим схемам, обращая особое внимание на соответствие смонтированной аппаратуры, правильность ее установки и присоединения к трубопроводам. Затем трубные проводки пневмо- и гидросистем продувают сжатым воздухом или инертным газом. Данную операцию выполняют для удаления из трубопроводов твердых частиц и пыли, которые неизбежно попадают в них при проведении монтажных работ. Продувку ведут со стороны исполнительных механизмов в сторону блока подготовки воздуха или гидростанции. Сжатый воздух, используемый для продувки, должен быть осушен и очищен от масла и пыли. При продувке воздухом рекомендуется все сварные швы простукивать молотком. После продувки трубопроводов производят их соединение с аппаратами и проверяют герметичность и прочность пневмогидросистем. Для этого в систему подается пробное давление сжатого воздуха, которое для пневмосистем должно составлять 1,5, а для гидросистем 1,25 номинального давления. Поднимать давление в системах следует постепенно, делая выдержки при величинах 0,3; 0,6 и 1,0 пробного давления. Во время выдержек проверяют все сварные стыки, фланцевые и резьбовые соединения путем обмазки мест соединений мыльной водой и наблюдения за по-' явлением пузырей. Обнаруженные места утечек воздуха отмечают и после снятия давления производят подтяжку соединений. Для полного устранения всех утечек подобные операции повторяют 2–3 раза. При проверке пневмогидросистем на прочность их выдерживают при пробном давлении в течение 5 мин, затем плавно снижают давление и производят осмотр. Элементы пневмогидросистем не должны иметь вспучиваний, трещин, течей, запотеваний. Если в соответствии с ТУ на ПР или РТК проверку смонтированных пневмо- и гидросистем необхо-

димо проводить с отключением исполнительных механизмов, клапанов, то трубные проводки закольцовывают с помощью переходников. Следует помнить, что при первоначальном пуске ПР возможны любые случайные движения его исполнительных органов. Поэтому необходимо принять меры для исключения возможных аварийных ситуаций путем установки соответствующих упоров, тщательного наблюдения за движением рабочих органов в момент запуска. Наладку пневмогидрооборудования следует проводить в соответствии с рекомендациями, указанными в инструкциях к ПР. Рекомендуется дополнительно к инструктивному материалу прилагать паспорт типовых неполадок и способов их устранения, а все данные, полученные при наладке, заносить в паспорт наладки. Схему пневматической или гидравлической системы ПР рекомендует ся расчленять на структурные развертки в виде комплекта магистральных контуров типовой структуры, составленной по элементам рабочего цикла. Каждый магистральный контур обеспечивает выполнение только определенных функций, поэтому наладка, выполняемая по данной системе, становится более определенной, а все неполадки исключаются посредством последовательной проверки работы аппаратуры каждого магистрального контура. Магистральные контуры определяются схемами движения сжатого воздуха или рабочей жидкости.

Выделение магистральных контуров и схем движения потоков рабочего тела производят в следующей последовательности:

1) рабочий цикл ПР разбивают на такты, соответствующие движениям рабочего органа между точками позиционирования как основными, так и промежуточными '(например, исходное положение – опускание руки для захвата детали – подъем руки с деталью – поворот руки – выдвижение руки – опускание руки и освобождение детали – подъем руки – выдвижение руки – обратный поворот – исходное положение);

2) для каждого такта определяют перечень участвующих в работе клапанов, распределителей, дросселей, гидродвигателей и т. п.;

3) по принципиальной и монтажной схемам определяют каналы, соединяющие участвующие в работе аппараты;

4) выявляют магистрали подвода и отвода рабочего тела;

5) полученную развертку располагают между напорной и сливной (сбрасывающей) магистралями.

Перед пуском ПР с пневматическим приводом необходимо залить масло в маслораспределитель блока подготовки воздуха и проверить

затяжку винта сброса конденсата на фильтре-влагоотделителе. С целью предотвращения превышения давления в пневмосистеме ПР в первоначальный момент работы необходимо повернуть регулировочный винт редукционного пневмоклапана против часовой стрелки до упора. Затем необходимо открыть запорный вентиль подвода сжатого воздуха от внешней магистрали и с помощью редукционного пневмоклапана установить требуемое давление сжатого воздуха. Дальнейший пуск ПР осуществляется с пульта оператора устройства управления.

Перед пуском ПР с гидравлическим приводом в гидробак необходимо залить чистое масло, заполнить маслом трубопроводы и удалить из системы воздух. При этом пружины напорных гидроклапанов насосов должны быть полностью ослаблены. Краны или пробки для выпуска воздуха, установленные в наивысших точках гидросистем, открывают, накидные гайки на концах магистральных труб ослабляют. После того, как при включенных электромоторах из кранов и из-под гаек пойдет чистое масло, электродвигатели насосов отключают, краны закрывают, а напорные гидроклапаны насосов настраивают на рабочие давления, указанные в инструкциях. Необходимо также выпустить воздух из гидроцилиндров, для чего приоткрывают золотники в крышках гидроцилиндров, а поршни гидроцилиндров перемещают несколько раз на быстрых ходах из одного крайнего положения в другое. После полного удаления воздуха из гидросистемы необходимо долить масло в гидробак до верхнего уровня маслоуказателя.

Наладка отдельных элементов и аппаратуры пневмо-гидросистем производится следующим образом:

1. В пневматической системе настройка давления на выходе регулятора осуществляется при помощи регулировочного винта. При вращении винта по часовой стрелке давление на выходе регулятора повышается, а при вращении его против часовой стрелки понижается. При понижении давления рекомендуется вначале понизить его до величины, несколько меньшей требуемой, а затем плавно поднять до нужного значения.

2. Настройка реле давления производится в следующем порядке. К реле давления подводится сжатый воздух. Если при этом толкатель не подвинется в крайнее положение, то винт настройки пружины реле вывинчивается из корпуса до полного выдвижения толкателя.

Вывинчиванием установочного винта микропереключателя приближают его штифт к толкателю реле до момента переключения контактов. Этот момент контролируется либо электролампой, подключенной последовательно к электросети через нормально открытый контакт микропереключателя, либо на слух. После этого винт установки вывинчивается на 1/4 оборота и контрится. Снятие давления должно вызвать переключение контактов микропереключателя в обратном направлении.

3. Распределительные устройства проверяются путем поочередного ручного (путем воздействия на якорь) переключения электромагнитов. При переключении распределителей воздух должен подаваться в соответствующие полости пневмоцилиндров, обеспечивая движение звеньев манипулятора в соответствии с пневмосхемой. Затем при подключенной системе управления электромагниты включаются кнопками управления наладочного пульта. Звенья манипулятора должны двигаться в направлениях, указанных стрелками на фальшпанели пульта.

4. Настройку скорости перемещения поршня пневмо-цилиндра производят дросселированием выпуска воздуха из полостей цилиндра. При этом удается получить не только необходимую скорость движения, но и смягчить удары поршня о крышки цилиндра и обеспечить плавную работу ведомых механизмов. При этой настройке раздельно регулируют прямой и обратный ходы привода с помощью дросселей в сочетании с обратными клапанами, установленными на воздухопроводах каждой полости цилиндра. Такие устройства позволяют регулировать скорость на всем участке хода поршня. При наличии в цилиндре буферных устройств достигают замедления скорости поршня перед приходом его в крайние положения путем регулировки дросселирующих игл в буферном устройстве, что обеспечивает плавный останов механизма. Скорость поршня пневматического цилиндра изменяется при колебаниях внешней нагрузки, поэтому правильность произведенной регулировки проверяют при наибольшей и наименьшей нагрузке. По окончании регулировки величин давления, скоростей перемещения и длины ходов регулировочные винты должны быть законтрены.

5. Наладка гидрораспределители начинается с проверки правильности присоединения гидрокоммуникаций путем поочередного ручного включения электромагнитов. Затем следует путем включения электромагнитов с пульта управления проверить надежность перемещения (отсутствие зада-

ния) золотника управления и основного золотника направляющего распределителя, а также убедиться в отсутствии гидравлического удара (вызывающего шум и вибрации трубопровода) в момент переключения. Отсутствие заедания золотников проверяется при максимальном и минимальном (0,3–0,4 МПа) давлениях. При этом имеющиеся в распределительных гидропанелях дроссели должны быть полностью открыты, а клапаны затянуты до отказа. Если возникает гидравлический удар, то он должен быть ликвидирован путем регулирования дросселей, установленных в крышках распределителя.

Надежность переключения золотников распределителей определяется путем многократного включения электромагнитов. При этом электромагниты необходимо держать включенными не менее 5 мин. Не допускается гудение электромагнитов при их включении. Золотники управления распределителей должны иметь запас хода (после полного их перемещения) не менее 0,2–0,5 мм. Золотники управления с пружинами должны при обесточивании электромагнита четко и без задержки перемещаться своими пружинами в исходное положение после 2–5-минутной выдержки их под максимальным давлением. Золотники управления с фиксаторами должны быть проверены на надежность фиксации в каждом положении при отключенных электромагнитах и наименьшем давлении 0,3 МПа. При этом золотник управления должен перемещаться при силе не свыше 7 Н.

6. Наладка дросселей и регуляторов потока заключается в установлении с помощью лимба или стакана (для дросселей, встраиваемых непосредственно в трубопровод) подачи масла через дроссель, соответствующей заданной скорости перемещения звена ПР. Определение скорости перемещения звена производится с помощью электронного реле времени, управляемого от датчиков конечных положений с последующим пересчетом ее величины через пройденное звеном расстояние и время. При отсутствии электронного реле времени определение скорости звеньев можно производить с помощью секундомера. Для этого ПР программируется для выполнения одного повторяющегося движения. В момент пуска ПР включается секундомер и определяется время выполнения звеном ПР пяти или десяти двойных ходов. Скорость определяется по среднему времени выполнения одного хода и длине хода. Наладка путевых гидравлических дросселей заключается в подборе такого положения тормозного упора, при котором происходит плавное

торможение перемещающегося звена ПР. Если при любом положении тормозного упора не удается достичь плавного торможения, то следует установить упор с меньшим углом наклона рабочей грани, воздействующей на ролик путевого дросселя. При опробовании и наладке пневмоприводов часто случается, что поршень пневмопривода не в состоянии вести за собой ведомый механизм. Недостаточное усилие на штоке пневмопривода может быть вызвано различными причинами: чаще чрезмерным трением и заеданием вследствие неправильной сборки и монтажа, а иногда и недостаточной приработкой и обкаткой узлов ПР. В этом случае ведомые звенья ПР отсоединяют от привода, проверяют исправность работы каждого звена и устраняют выявленные дефекты. В случае надобности производят приработку и обкатку путем многократного повторения рабочих циклов механизма. Кроме того, может быть недостаточное давление в сети сжатого воздуха вследствие несоответствия производительности компрессора расходу сжатого воздуха потребителями и чрезмерных утечек. Понижение давления сжатого воздуха в сети имеет место также вследствие недостаточного сечения воздухопроводов, особенно при значительной длине их и неравномерном расходе воздуха потребителями. В этих случаях необходимо установить, какая из перечисленных причин имеет место.

3.3. Наладка электрооборудования и устройств управления

Работа электрооборудования в значительной степени зависит от четкости действия, входящих в его состав электрических устройств, которые должны быть исправными и соответствовать проектной документации. При наладке электрооборудования и устройств управления проводится следующий комплекс работ: проверка качества электромонтажных работ и соответствие их рабочим чертежам проекта; проверка установленной аппаратуры, ее настройка и регулировка; проверка состояния изоляции и заземляющих устройств; испытание электрооборудования и устройств управления в комплексе с другими системами в различных режимах работы, в том числе и под нагрузкой.

Учитывая, что для различных типов роботов и мехатронных устройств состав электрооборудования и сложность устройств управления также различны, невозможно выработать строго определенные

действия наладчика. Однако во всех случаях целесообразно использовать некоторые общие методы сокращения времени наладки и выявления неисправностей. Одним из наиболее простых и надежных методов является метод наблюдения. Он состоит в наблюдении за действием элементов схемы и оценке правильности их действия. Метод исключения или локализации проверяемого участка заключается в искусственном сокращении объема участка, содержащего необнаруженный неисправный элемент путем последовательного отключения до тех пор, пока не обнаружится неисправность. Под связями в данном случае понимают все виды связей, в том числе и механические. Например, проверка двигателя на холостом ходу позволяет установить, что именно неисправно – двигатель или механизм. Метод сравнения заключается в замене проверяемого элемента или узла схемы соответственно исправным элементом или узлом (панелью, блоком). Если после замены элемента или узла неисправность исчезнет, наладчик продолжает работу, оставляя неисправный элемент или узел в мастерской.

Метод обратной последовательности применяют при проверке схемы, состоящей из нескольких звеньев, связанных функциональной зависимостью. Он заключается в том, что проверку производят на выходе каждого звена последовательно, от последнего к первому. Если при этом какое-то промежуточное звено имеет нормальный выход, т. с. выполняет требуемую функцию, то сразу же после этого можно проверить выход предыдущего звена. Такой метод исключает лишние контрольные операции, и, следовательно, сокращает время наладки. Этот метод дает наибольший эффект в условиях серийного производства и эксплуатации.

При наладке электрооборудования возникает необходимость в определенном количестве электроизмерительных приборов, инструмента и приспособлений, номенклатуру и число которых определяют в зависимости от сложности схем, а также от типов применяемой электроаппаратуры и электронных приборов. Применяют как специальные, так и универсальные измерительные приборы. Универсальные многошкальные приборы обычно используют при наладке схем, содержащих одновременно элементы переменного и постоянного тока. Во избежание неправильных включений, приводящих к выходу из строя приборов, особенно электронных, проверка работоспособности электрических схем и их наладка должны осуществляться наладчиками,

имеющими определенные навыки и квалификацию. Оснащение участка наладки приборами, инструментом и соответствующими приспособлениями должно быть таким, чтобы способствовать обеспечению быстрого отыскания возможных неисправностей в схемах. Как показал опыт, большинство наладочных работ не требует высокой точности измерения, поэтому наибольшее применение находят более дешевые приборы классов 1,5 и 2,5, а также индикаторы напряжения. При наладке достаточно сложных устройств управления ПР следует пользоваться осциллографами, генераторами гармонических и периодических сигналов, частотомерами, логическими пробниками, пульсаторами и многоканальными логическими анализаторами.

Выдержку времени отключения электромагнитных реле постоянного тока в небольших пределах (до 0,5 с) регулируют: изменением толщины немагнитной прокладки (грубо); изменением натяжения пружины (более точно). Выдержку времени полупроводниковых и электронных реле, как правило, устанавливают на заданное значение по шкале реле путем поворота указательной рукоятки. Учитывая, что реле времени имеют определенную погрешность времени срабатывания, окончательно выдержку времени реле корректируют при испытаниях.

При наладке тепловых реле эксцентрик регулятора установки должен быть установлен в положение, указанное в конструкторской документации на монтаж электрооборудования. При отсутствии такого указания эксцентрик устанавливают в положение, при котором ток установки равен 1 –1,05 от номинального тока защищаемого двигателя. При регулировании величины уставки необходимо учитывать, что поворот эксцентрика вправо (к риске «+») ведет к загрублению защиты, т. е. увеличению минимального тока и времени срабатывания. Реле времени на заданную выдержку настраивают с помощью секундомера. В зависимости от необходимой точности замера величины выдержки времени применяют обычные и электрические секундомеры. Последние применяют для более точной настройки.

Наладка устройств управления ПР

Для управления движениями звеньев ПР используется множество различных систем управления - цикловых, позиционных, контурных, на базе микропроцессорных наборов. Если внимательно рассмотреть их структуру, то можно увидеть, что все они состоят из набора функ-

циональных блоков или модулей, например, управляющевы-числительных, программно-задающих, модулей сопряжения и т. п.

Первичная наладка устройств управления ПР производится на заводе-изготовителе перед проведением приемочных испытаний и сдачей ОТК. Работы по наладке производятся на специальных стендах с использованием контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры. Контрольная наладка устройств управления ПР производится после проведения монтажных работ перед сдачей в эксплуатацию оборудования на заводе-потребителе. Поэтому при наладочных работах основное внимание должно быть уделено проверке правильности распайки соединительных кабелей и подключения всех внешних элементов системы управления (катушек электромагнитов пневмо- и гидрораспределителей; датчиков контроля положения звеньев манипулятора; пусковой аппаратуры технологического оборудования и пр.). Контроль правильности подключения всех внешних элементов достаточно просто осуществляется при проверке отработки команд ПР с пульта ручного управления. При нажатии на кнопки пульта ПР должен отрабатывать движения, обозначенные мнемоническими символами (поворот, выдвижение руки, подъем и т. д.). С пульта управления также можно проверить срабатывание и состояние датчиков положения звеньев манипулятора. Если движение какого-либо звена не соответствует указанной мнемонике, то необходимо произвести переключение соединительных кабелей. Если при контроле отсутствует отработка манипулятором какой-либо команды, то при исправных внешних трассах, электромагнитах распределителей и датчиках, неполадки следует искать непосредственно в стойке управления. При этом необходимо вначале определить неисправный узел или модуль, а затем локализовать неисправность непосредственно на плате, выявив неисправный элемент.

Проверка работоспособности системы управления в комплексе со всеми узлами ПР может осуществляться по тестовой программе. Такая программа должна включать в себя произвольную последовательную отработку всех движений ПР, предусмотренных его степенями подвижности. Для ввода гест-программы необходимо переключатель номера кадра установить в нулевое положение, а манипулятор – в исходное положение. Нажав на пуль" те управления клавишу «Программа», необходимо набрать команду нулевого кадра и нажать кнопку «За-

пись». Далее набирается команда первого кадра программы и заносится в память. Аналогичным образом вводятся остальные команды тест-программы и в конце нажимается клавиша «Конец программы». Для проверки правильности ввода тест-программы система управления переводится в шаговый режим. Нажимая последовательно клавишу «Пуск», проверяется соответствие движений манипулятора программе, записанной в каждом кадре. Затем система управления переводится в цикловый режим и после нажатия клавиши «Пуск» проверяется правильность отработки одного цикла программы. Дальнейшая проверка осуществляется в автоматическом режиме с многократным повторением тест-программы и движений ПР. Наладчик должен внимательно следить за поведением ПР и в случае возникновения сбоев определить причину, устранить ее и произвести повторное включение.

Проверка работоспособности микропроцессорных систем управления. В состав любой микропроцессорной системы или контроллера входят модуль центрального процессора, модули оперативной и постоянной памяти, модули ввода-вывода для взаимодействия с периферийными устройствами, Проверка работоспособности модулей ввода-вывода осуществляется путем подачи на их входы последовательно по всем каналам сигналов «Установка в I» и «Установка в 0». Если модули оснащены светодиодами индикации состояния их выходов, то состояние светодиодов, не соответствующее входным сигналам, свидетельствует о наличии неисправности. Контроль состояния выходов модулей ввода-вывода при отсутствии светодиодной индикации может осуществляться тестером или логическим пробником.

Проверка работоспособности модулей оперативной памяти осуществляется путем записи нескольких команд по различным адресам с последующим просмотром содержимого на индикаторе пульта управления. Искажение информации свидетельствует о наличии неисправности. Проверка работоспособности модуля центрального процессора осуществляется значительно труднее. Дело в том, что правильная работа вычислительной системы требует исправных аппаратных средств и безошибочного программного обеспечения. Программа может работать правильно на конкретных тест-наборах, но отказывает при эксплуатации из-за получения непредвиденного набора кода, который она не может обработать. Такие ситуации возникают вследствие ввода инфор-

мации неопытным оператором, что приводит к кажущемуся отказу системы. Кроме отказов таких видов имеются и отказы, возникающие в системе после некоторого срока эксплуатации. Они вызываются электрическими отказами из-за неисправностей компонентов или, что происходит, гораздо реже, программными отказами, из-за искажения хранимых в памяти кодов команд. Двойственная природа вычислительной системы при возникновении отказа сразу же ставит следующую проблему. Если отказ не очевиден, оператор должен решить, скрыт отказ в аппаратных средствах или вызван ошибкой в программе. На этот вопрос часто ответить не так просто, так как характер отказа может препятствовать выполнению любой программы, а отказ в операционной системе может не допустить загрузку и выполнение любой тест-программы. Если тест-программы не работают, вероятно, имеет место отказ в аппаратных средствах, а вся тест-последовательность проверит главные функциональные блоки системы и покажет, не кроется ли отказ в прикладных программах.

Несмотря на наличие испытанных методов систематического контроля системы в случае отказа наиболее очевидным и часто игнорируемым первым действием еще до подключения какого-либо контрольно-измерительного прибора должен быть тщательный осмотр системы. Отказ может быть очевидным, например, «сгоревшая» микросхема, а состояние, в котором остановилась система, ' само может дать подсказку о месте возникновения отказа в системе. Необходимо проверить все встроенные в систему индикаторы, которые могут помочь в локализации отказа; кроме того, многие модульные системы имеют в подсистемах индикаторы типа «проходит/не проходит», которые идентифицируют неисправную подсистему. Принципы поиска неисправностей в системах с микропроцессорами в основном не отличаются от принципов тестирования обычных цифровых устройств. В соответствии со стандартной процедурой персонал должен Изучить проверяемую систему, определить состав требуемого контрольно-измерительного оборудования и составить логическую процедуру поиска неисправности.

Когда подозревается отказ, часто много информации о системе можно получить, не снимая крышек оборудования. В большинстве систем имеются какие-либо клавиши для ввода и индикаторы, которые

можно использовать для ввода данных и наблюдения реакций на индикаторах. Если, например, все индикаторы погашены, следует подозревать неисправность тумблера включения сети, обрыв в шнуре питания или неисправность в блоке питания. Если же не работает один из сегментов в 7-сегментном индикаторе, отказ, вероятно, возник в самом индикаторе или в схеме формирователя. Наблюдение даже за простейшими индикаторами может стать ключом к определению наиболее вероятного места отказа.

Наладка информационных систем начинается с проверки надежности крепления датчиков, а также правильности их подключения к информационным кабелям. Все подсоединения должны соответствовать принципиальным электрическим схемам соединений, маркировка выводов датчиков и соединительных проводов должна быть идентичной. При необходимости правильность подключения проверяют методам прозвонки.

Наладка конечных выключателей заключается в правильной настройке взаимодействующих с ними упоров (экранов) управления. Перед настройкой необходимо проверить четкость работы конечных выключателей. Проверка работы контактных выключателей осуществляется ручным воздействием на их приводные элементы, которые должны передвигаться без заеданий и повышенного сопротивления. Контроль работы бесконтактных конечных выключателей осуществляется при включенном напряжения питания цепей постоянного тока путем проверки срабатывания соединенных с выключателем реле. Если выходы датчиков подключаются непосредственно на входы логических элементов, то при срабатывании датчика уровень сигнала на его выходе должен соответствовать значению логической 1, либо логического 0.

Настройка упоров управления контактных конечных выключателей может быть выполнена при отключенном напряжении питания. С этой целью механизм устанавливается в требуемое положение, после чего упор, предварительно освобожденный от винтового зажима, плавно -перемещается навстречу приводному элементу выключателя до точки срабатывания последнего. Срабатывание выключателей мгновенного и полумгновенного действия фиксируется по характерному щелчку, сопровождающему срабатывание встроенных в них микровыключателей. Срабатывание выключателей прямого действия фиксируется

электрическим щупом, подсоединенным к замыкающим контактам выключателя. После этого управляющий упор должен быть перемещен за точку срабатывания на 1–2 мм, что обеспечивает надежность действия выключателя. В этом положении упор должен быть закреплен. Необходимо, чтобы при взаимодействии выключателя с упором управления ход приводного элемента выключателя был больше рабочего хода выключателя, но вместе с тем не превышал бы величины полного хода, допустимого для данного выключателя. При выполнении этого требования исключается возможность воздействия на приводной элемент силой, превышающей силу срабатывания выключателя. При отводе упора управления необходимо, чтобы приводной элемент выключателя возвращался в начальное положение, т.е. полностью освобождался от действия упора. В противном случае выключатель может остаться во включенном состоянии.

Настройка бесконтактных выключателей осуществляется путем регулировки величины рабочего зазора между торцевой поверхностью датчика и измерительной пластинкой либо (для датчиков типа БВК) введением пластины в рабочую зону выключателя. Надежность срабатывания проверяется путем многократного (не менее 10 раз) взаимодействия перемещаемого и неподвижного механизмов^ до конечного положения. В случае обнаружения эффекта «дребезга контактов» необходимо уменьшить рабочий зазор. Настройка датчиков определения текущей координаты звеньев манипулятора производится при крайних положениях звеньев. В одном из крайних положений звена подвижный элемент датчика должен быть установлен таким образом, чтобы его выходная величина (сопротивление, напряжение, частота и т. п.) соответствовала минимальному либо максимальному значению. При перемещении звена подвижный элемент должен приводиться во вращение без проскальзывания. Передаточное число кинематической пары должно быть таким, чтобы диапазон перемещения подвижного элемента датчика несколько (на 10%) превышал величину хода подвижного звена манипулятора. После настройки передаточных механизмов и датчиков регулировочные элементы должны быть надежно закреплены с помощью фиксирующих винтов.

Наладка информационных систем восприятия внешней среды – систем технического зрения (СТЗ) представляет собой достаточно

трудную задачу. Это обусловлено тем, что помимо датчиков (видиконов) СТЗ содержит блоки обработки информации, включающие зачастую микро ЭВМ. На работу СТЗ в значительной степени влияет контраст между объектом и фоном, а следовательно, и освещение объектов.

Работы по наладке СТЗ следует проводить строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации. В общем случае при наладке необходимо выставить оптическую систему на заданной высоте от поверхности захвата. Особое внимание при этом следует обращать на перпендикулярность оптической оси видикона рабочей плоскости. Далее необходимо выставить угловое положение видикона относительно системы координат ПР (совмещение главных осей). В режиме «настройка» производится тщательная фокусировка изображения и проверке восприятия информации по эталону с заданной конфигурацией. Если не удается сфокусировать изображение, необходимо проверить правильность установки оптических линз видикона. Если СТЗ правильно воспринимает информацию с эталонной детали, то процесс наладки можно.считать законченным.

Для проверки правильности настройки системы светозащиты необходимо последовательно перекрывать световой поток между парами светоизлучатель – приемник. При этом должно происходить отключение приводов и остановка ПР. Затем необходимо проверить снятие блокировки путем нажатия на кнопку «Сброс», находящуюся на стойке. ПР при этом должен продолжить выполнение прерванной программы.

Существенную помощь в наладке системы программного управления робототехнического устройства или комплекса может оказать моделирование с использованием виртуальных моделей рабочей среды и самих роботов. Использование моделирования снижает затраты, и роботов можно программировать в автономном режиме, что исключает время простоя оборудования. Действия роботов и сборочные детали можно визуализировать в трехмерной виртуальной среде за несколько месяцев до того, как будут созданы прототипы. Написать код для моделирования также проще, чем написать код для физического робота. Одним из известных технических решений создания виртуальной

среды является приложение FANUC ROBOGUIDE, которое выполняет симуляцию как движений робота, так и команд для конкретной сферы применения и обеспечивает значительную экономию времени при создании новых настроек движения. Чтобы гарантировать минимальное влияние на производство, модули можно разрабатывать, тестировать и изменять полностью автономно. Чтобы сократить время на трехмерное моделирование, модели деталей можно импортировать из ПК в виде данных САПР. Большая библиотека программного обеспечения для симуляции позволяет пользователям выбирать и изменять детали и размеры. Для работы с интуитивно-понятным и чрезвычайно простым в использовании приложением ROBOGUIDE требуется минимальное обучение. Оно также доступно со специализированными инструментальными средствами для конкретных сфер применения. Моделирование в среде Roboguide предоставляет возможность офлайн-программирования технологических процессов для роботов FANUC и включает 3D-моделирование комплекса, программное обучение манипуляторов и воспроизведение запрограммированных обучением траекторий и программ. Моделирование в пакете Roboguide основано на использовании виртуального контроллера FANUC Robotics Virtual Robot Controller, который обеспечивает точное обучение и выполнение программ в соответствии с информацией о времени цикла.

3.4. Настройка параметров регуляторов в электроприводах роботов и мехатронных систем

3.4.1. Настройка по компьютерной и математической моделям

В современных промышленных устройствах в качестве исполнительных двигателей используются, главным образом, синхронные и асинхронные двигатели переменного тока, динамика которых описывается сложными существенно нелинейными уравнениями. В то же время современные блоки управления (преобразователи) содержат математические модели двигателей, на базе которых в реальном мас-

штабе времени осуществляется линеаризация их нелинейных характеристик и указанные выше двигатели в целях аналитически с успехом описываются линейными зависимостями аналогично двигателям постоянного тока.

Типовой преобразователь в управляемом приводе содержит регуляторы скорости, тока, датчик тока. Регуляторы скорости и тока являются ПИД – регуляторами с изменяемой структурой, а обратная связь по скорости организуется путем подсчета числа импульсов с датчика угла поворота ротора в единицу времени.

На рис. 3.5 приведена типовая структурная схема привода включая двигатель, на которой обозначено: РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; k_u– коэффициент передачи инвертора; k_u , k_e , $T_э$, $k_м$, $J_{пр}$ - параметры двигателя; $k_{дт}$ - коэффициент передачи датчика тока; $k_{рп}$ – коэффициент передачи регулятора перемещения. Связь структурной схемы системы управления и её математической модели в виде дифференциальных уравнений или передаточных функций является вполне очевидной. Исходя из этого, ограничимся представлением математической модели привода в виде структурной схемы, приведенной на рис. 3.5. Синтез системы будет производиться с использованием пакета Matlab, ориентированного на представление исследуемой системы в виде структурной схемы. Динамические свойства системы во многом определяются качеством контура скорости. Поэтому необходимо и достаточно осуществить настройку регулятора скорости. Для этого воспользуемся стандартным инструментом настройки коэффициентов ПИД регулятора, входящим в комплект последней версии Matlab. Для вызова процедуры настройки необходимо дважды кликнуть на блоке ПИД регулятора и нажать в появившемся окне кнопку «Tune». Инструментальный пакет «PID tuner» предоставляет в распоряжение пользователя графический интерфейс для настройки коэффициентов ПИД регулятора, обеспечивающих желаемое качество переходных процессов.

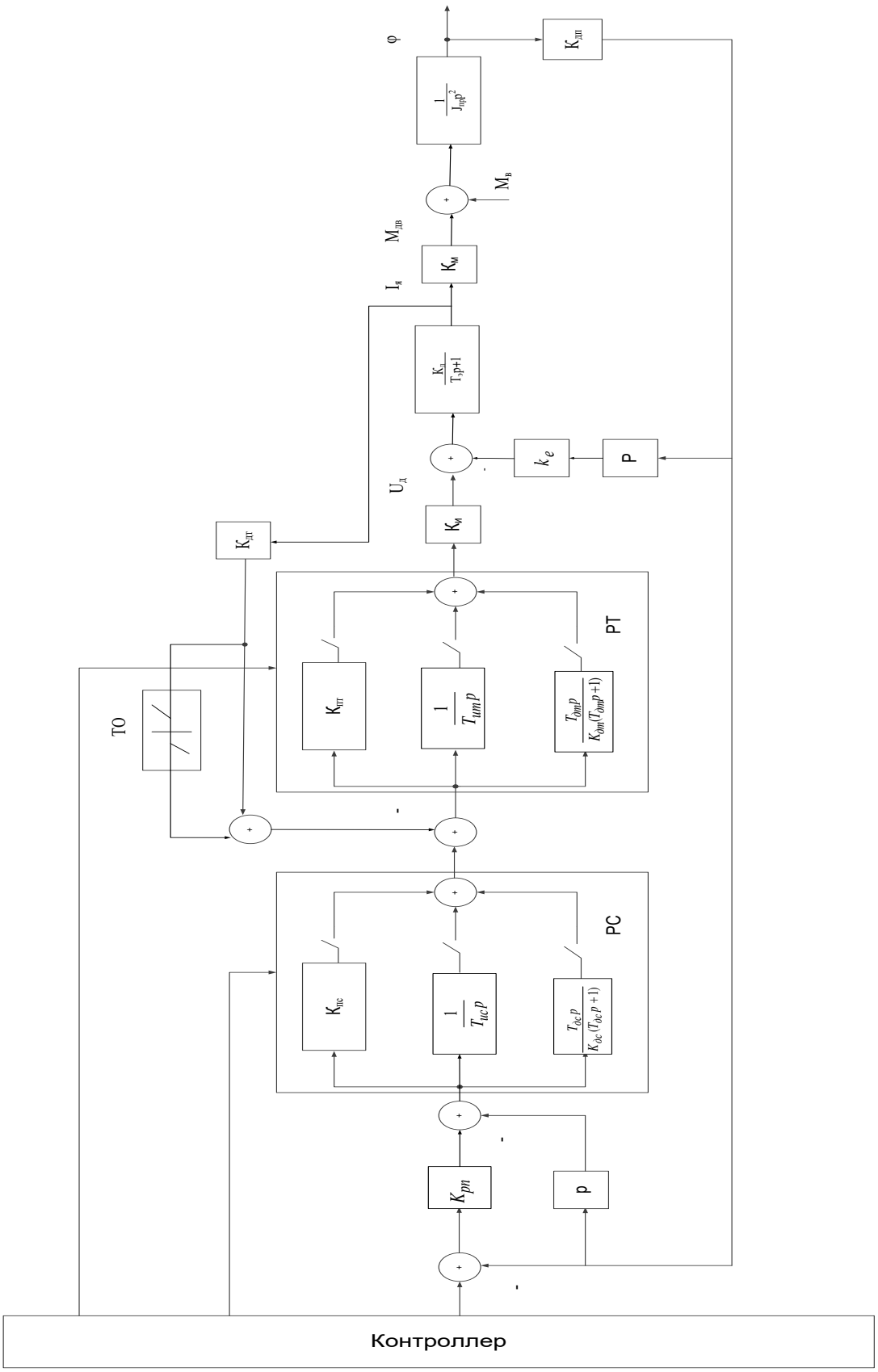


Рис. 3.5. Структурная схема привода

В качестве средства для достижения указанной цели принимается оптимизационный подход, обеспечивающий минимизацию функции штрафа за нарушение динамических ограничений. Особую значимость имеет то обстоятельство, что весь процесс настройки проходит в графическом режиме без необходимости проведения каких-либо вычислений. Окно пакета «PID tuner» представлено на рис. 3.6.

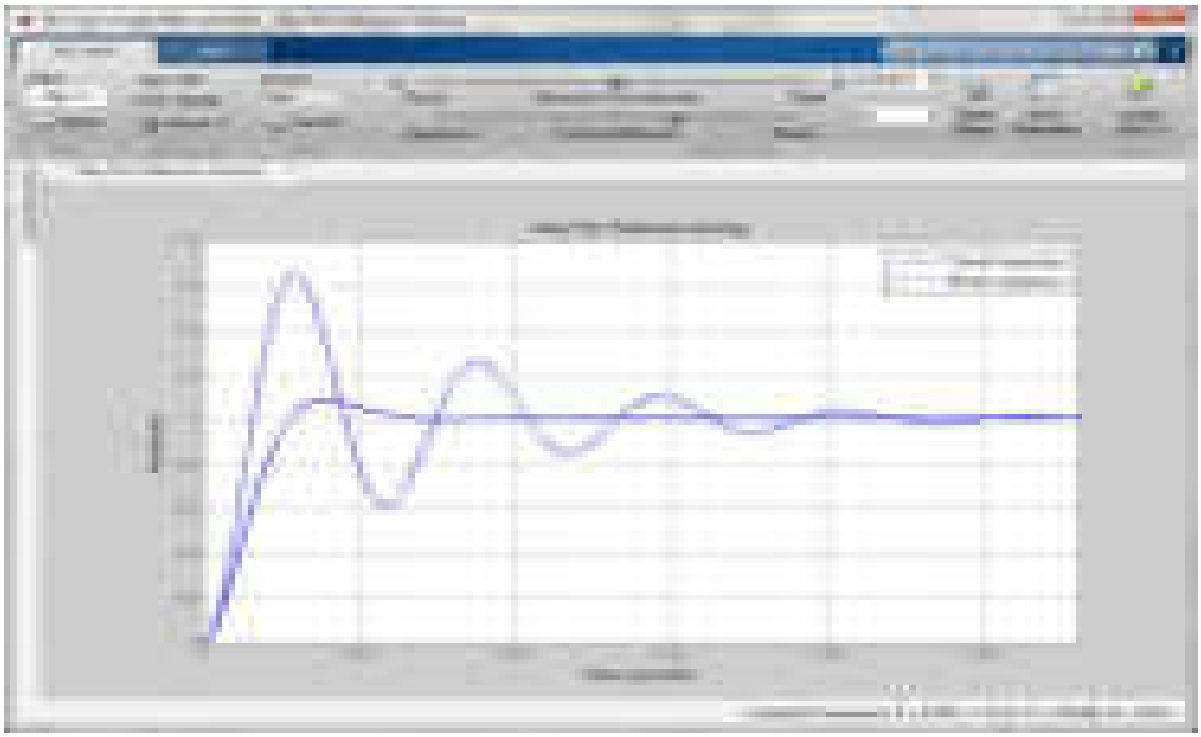


Рис. 3.6. Окно пакета «PID tuner»

Здесь пунктирной линией показан переходный процесс не настроенной системы, сплошной линией – результат настройки. При помощи ползунков «response time» (время отклика) и «transient behavior» (переходный режим) убираем колебательность и перерегулирование с сохранением оптимального быстродействия системы.

Вид настроенного переходного процесса показан на рис. 3.7.

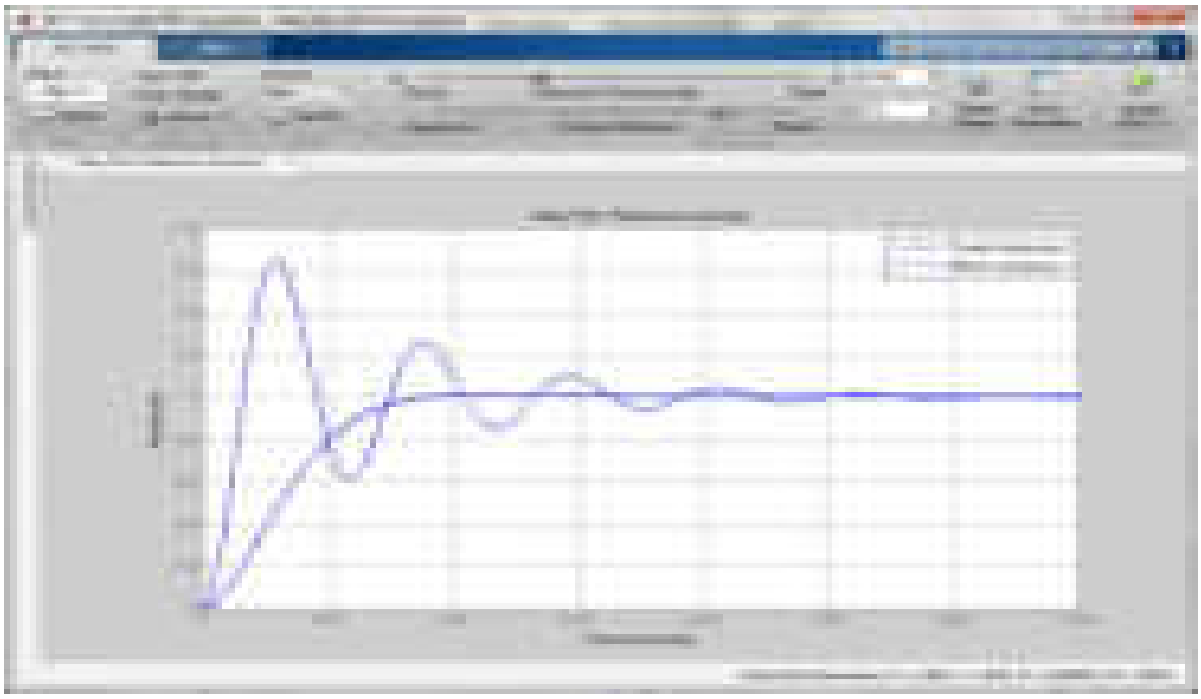


Рис. 3.7. Переходный процесс после настройки коэффициентов

Таблица с результатами выводится по нажатию на кнопку «Show parameters». Результаты настройки представлены на рис.3.8.

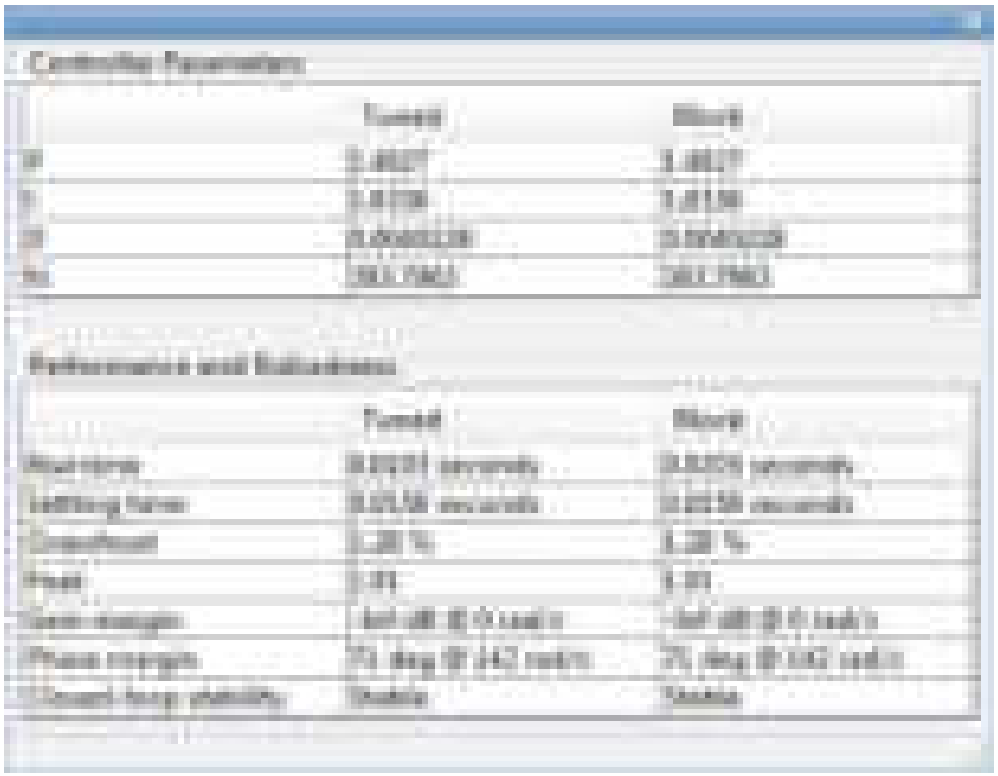


Рис. 3.8. Результаты настройки коэффициентов ПИД регулятора скорости

По завершении процесса настройки необходимо подтвердить результаты, нажав на кнопку «Update block».

Структурная схема контура регулирования тока при пренебрежении противо-ЭДС имеет вид, представленный на рис. 3.9.

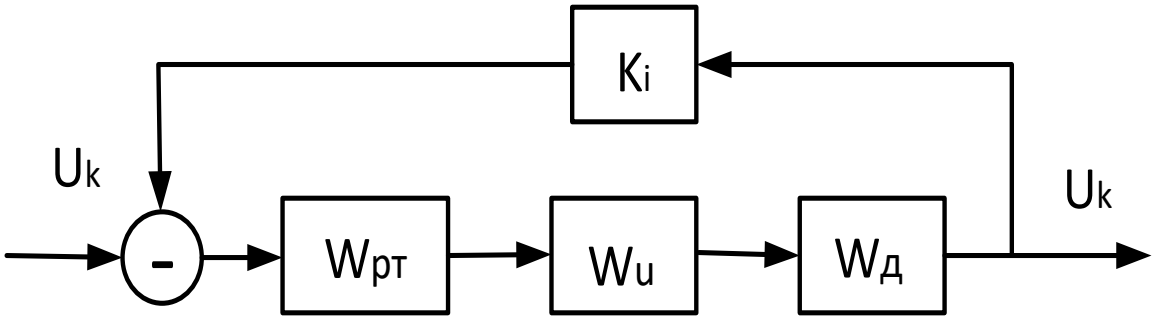


Рис. 3.9. Структурная схема контура тока

Здесь $U_{кт}$ – входное воздействие контура тока; K_I – коэффициент обратной связи по току; $W_{рт}$, W_u, $W_д$ – передаточные функции регулятора тока, инвертора и двигателя.

Передаточные функции компонентов контура тока имеют вид:

$$W_{pT} = k_T(T_T p + 1)p^{-1};\ W_U = k_u;\ W_д = k_д(T_э p + 1)^{-1}. \quad (3.1)$$

Передаточная функция замкнутой системы, полученная из условия компенсации электромагнитной постоянной времени двигателя будет иметь вид:

$$W_{кт} = \frac{k_I^{-1}}{(k_T k_u k_д k_I)^{-1} p + 1}. \quad (3.2)$$

Постоянная времени и коэффициент передачи апериодического звена (3.2) легко определяются исходя из требований к динамическим показателям привода.

3.4.2. Практическая настройка электропривода CSD-DH мехатронной системы металлорежущего станка

Первоначальный пуск электропривода

Перед проведением работ по настройке электропривода (ЭП) необходимо визуально проверить комплектность, монтаж и электропроводку согласно схемам электрическим принципиальным и соединений, прилагаемым к металлорежущему станку.

Затем необходимо проверить исправность составных частей станка перед пуском и определить готовности их к пуску согласно руководству по эксплуатации станка.

Произвести включение и выключения станка и проверить режим аварийного выключения от аварийных кнопок и при наезде на конечные выключатели (если они имеются). При проведением работ по настройке ЭП необходимо пользоваться измерительной аппаратурой:

• профессиональный мультиметр;

• ПК с установленной программой Servo Monitor, поставляемой с ЭП.

Ввод в эксплуатацию электропривода и электродвигателя

При первом включении электропривода необходимо следовать следующей процедуре:

1. Подать силовое питание на ЭП, сигналы разрешения работы и включения ЭП не подавать. Подключить ПК к ЭП и запустить программу Servo Monitor. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП.

2. Проконтролировать правильность установки параметров, определяющих тип ЭП (p3) и ЭД (p200) фактически уставленным на станке. При несоответствии следует выполнить процедуру "Установка конфигурации", но перед этим связаться с сотрудниками фирмы "Балт-Систем".

3. Записать версии ПрО в свидетельство о выходном контроле на станок.

Процедура "Установки конфигурации" ЭП (для ЭП "BSD-XX").

1. Подключить ПК к ЭП и запустить программу Servo Monitor. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП.

2. В диалоге "Служебные" выбрать "Установка конфигурации". В новом меню выбрать необходимый тип силовой части ЭП и ЭД. Нажать "Установка".

3. В диалоге "Файл" выбрать "Запись параметров в EEPROM". В диалоге "Служебные" выбрать "RESET".

4. Снять силовое питание и через паузу подать его вновь. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП. Проконтролировать правильность установки параметров, определяющих тип ЭП (p3) и ЭД (p200)

5. ЭП готов к настройке.

Циклограмма включения и выключения электропривода

ЭП имеет 4-е устойчивых состояния:

1. ЭП выключен (Drive OFF) – силовое напряжение на ЭП не подключено.

2. Готовность к включению (Ready to power up) - силовое напряжение на ЭП подключено, идет заряд звена постоянного тока =540 В.

3. Готовность к работе (Ready to operation) - силовое напряжение на ЭП подключено, отключение зарядных резисторов от звена постоянного тока =540 В.

4. ЭП в работе (In-operation) – включается ШИМ и подано разрешение ЭП.

При нормальном включении ЭП, он последовательно проходит эти 4-е состояния. Каждое состояние необходимо контролировать в логике контроллера и аппаратно в электрической схеме включения ЭП.

При нормальном выключении ЭП, он последовательно проходит эти 4-е состояния в обратной последовательности.

Возможны аварийные ситуации, когда эта последовательность может нарушаться. В этих случаях возможно аварийное, неконтролируемое торможение ЭП на свободном выбеге. Если такая ситуация недопустима, то необходимо предусмотреть дополнительное динамическое торможение ЭД, не зависящее от состояния ЭП. На рис. 3.10 приведена циклограмма включения и выключения ЭП.

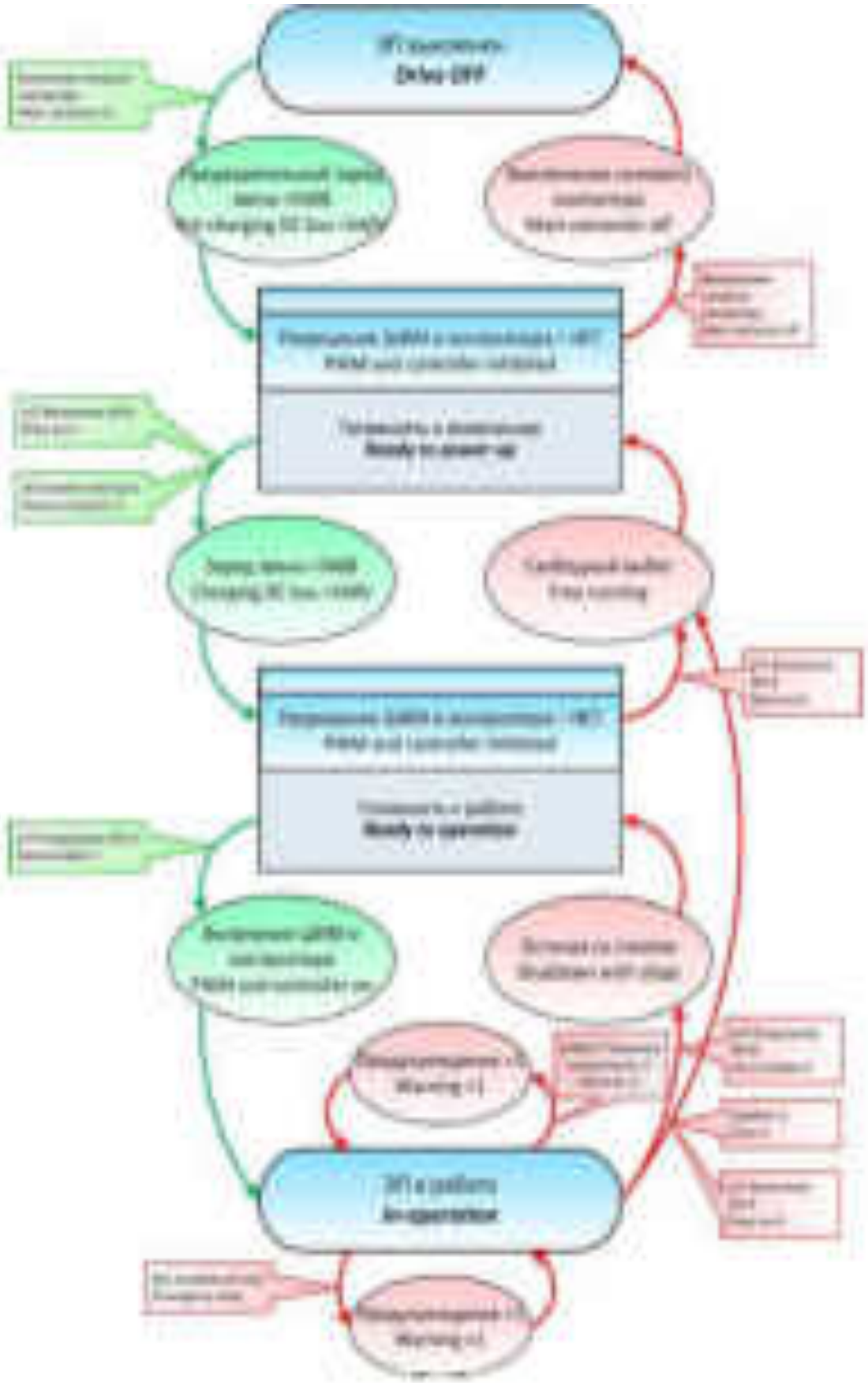


Рис. 3.10. Циклограмма включения и выключения ЭП

Настройка электропривода

Общие замечания.

• Если не указано дополнительно, то параметры ЭП и ЭД были установлены "по умолчанию", т.е. рекомендуемые изготовителем, без оптимизации настройки контуров регулирования.

• настоящая инструкция была написана на примере настройки ЭП CSD-DH16 и ЭД 215NYS-M-20

• последовательность настройки – в соответствии с данным документом, т.е. сначала настраивается регулятор тока, затем скорости и в конце - регулятор положения (если он имеется).

• настройка регуляторов тока и скорости ЭП производится при отключённом регуляторе положения (ЧПУ). Особенно внимательно необходимо быть при настройке неуравновешенных вертикальных осей и осей с механическим зажимом (тормозом).

• некоторые тесты предполагают большие скорости вращения ЭД, поэтому перед проведением настройки необходимо вывести контролируемые оси в безопасное положение, например, в середину хода.

Настройка регулятора тока (момента)

Параметры регулятора тока определяются электромеханическими данными ЭД и силовой частью ЭП. Поэтому обычно настройки не требуется, необходимо лишь проконтролировать окончательные ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора тока по умолчанию:

• Кр – пропорциональный коэффициент (параметр p304);

• Ki – интегральный коэффициент (p305);

• отключить фильтр сглаживания команды тока (p311=0);

k_p=12AV k_i=5$mmmm$ F_i=0.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

• наброс заданного тока в виде Чирп-сигнала Iqset, A;

• частота 0-2000 Гц;

• амплитуда – 50 % от номинального значения ЭД.

Время измерения:

• зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 512 мсек);

• период съема данных 0,25 ms.

Результат настройки: после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F=200 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-65˚=115˚.

На рис. 3.11 изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

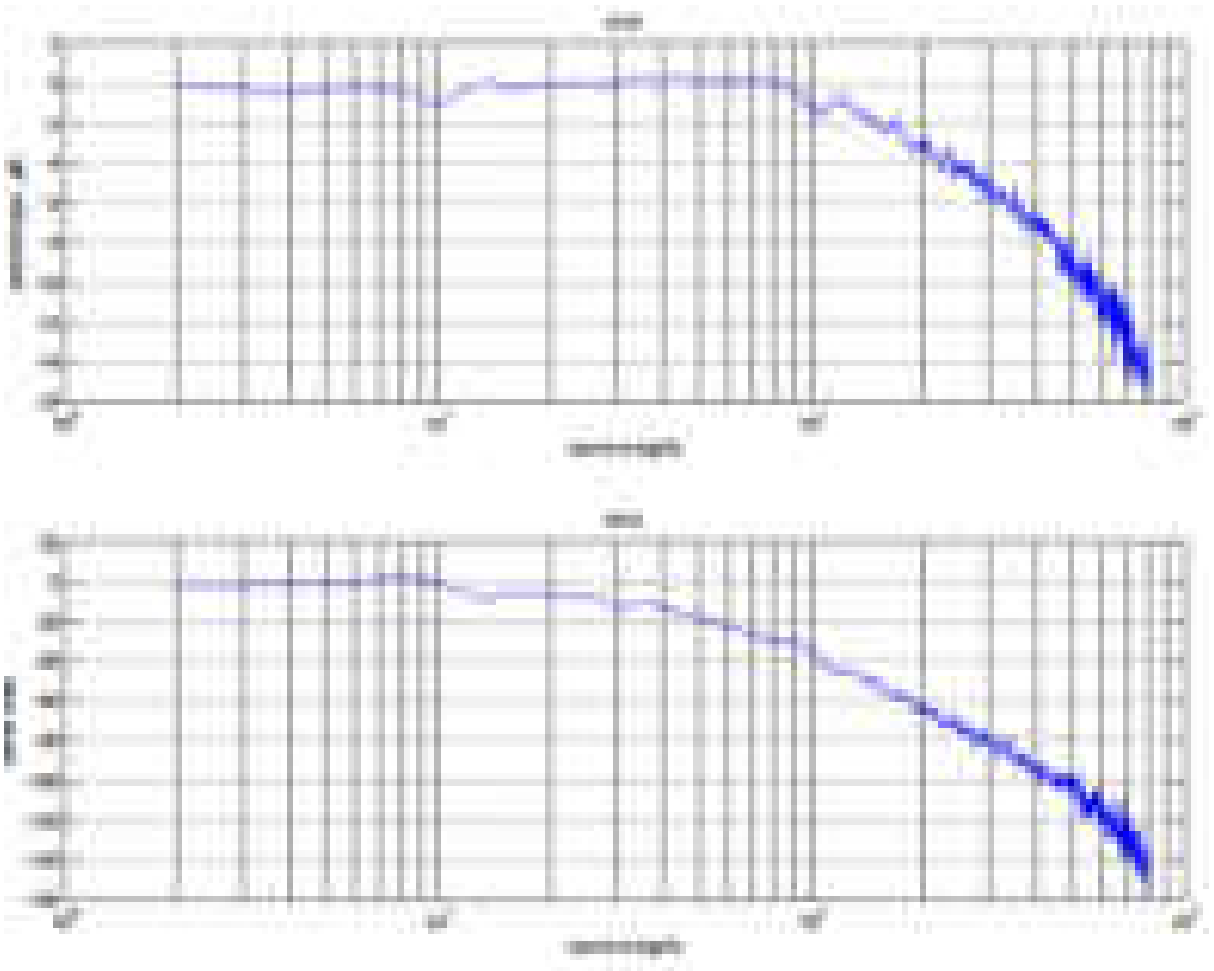


Рис. 3.11. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока

Настройка пропорциональной и интегральной составляющей

1-й шаг. Настройка пропорционального коэффициента.

Установить параметры регулятора тока по умолчанию (отключить фильтр сглаживания команды тока).

Установить интегральный коэффициент равный 0.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A;

• актуальное значение тока Idact, A;

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока Iqset , A;

• величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 50 мсек;

• длительность заданного значения – 25 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,25 мсек

Результат настройки:

• увеличивая пропорциональный коэффициент, можно добиться перерегулирования Iqact не более 5-10 %;

• контролировать отсутствие возбуждения тока Idact.

Данный тест необходим, если

• неизвестны параметры регулятора тока по умолчанию;

• ЭП пускается в первый раз.

Ниже приведены графики при:

$k_p = 12\frac{A}{V}$ $k_p = 25\frac{A}{V}$ $k_p = 35\frac{A}{V}$. Выбираем $k_p = 25\frac{A}{V}$.

На рис. 3.12. изображен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=12 A/V. На рис. 3.13. показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=25 A/V. На рис. 3.14. представлен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=35 A/V.

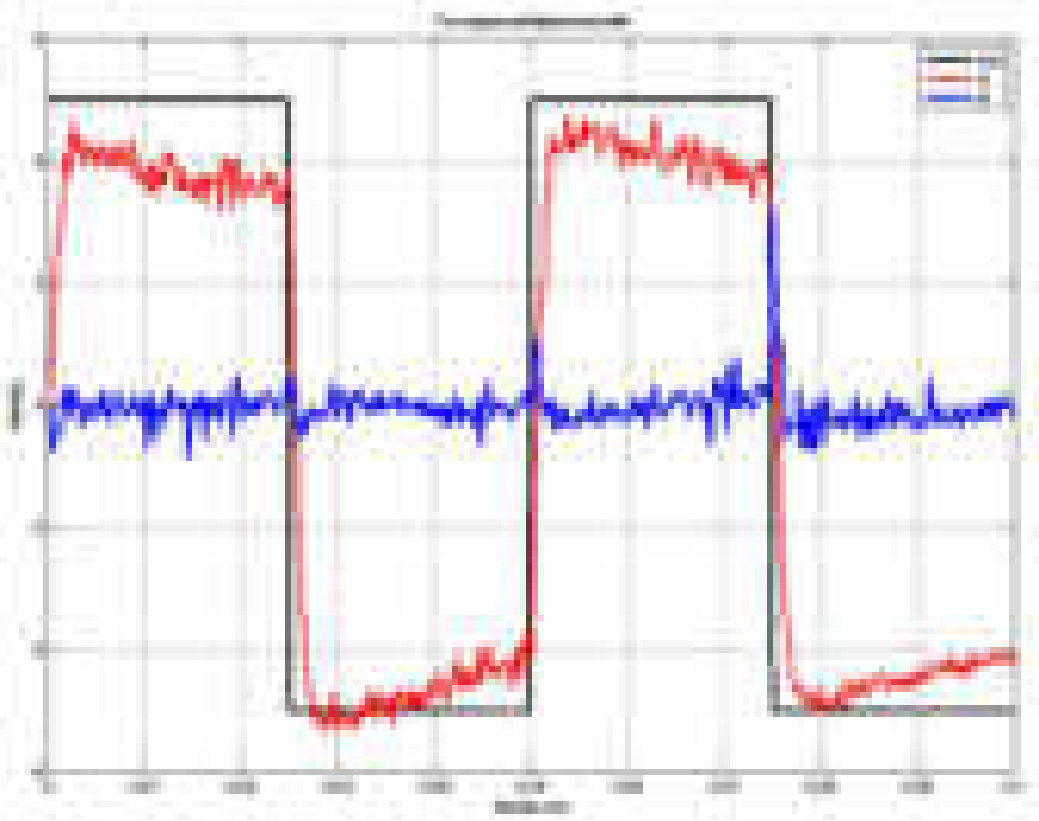


Рис. 3.12. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=12 A/V

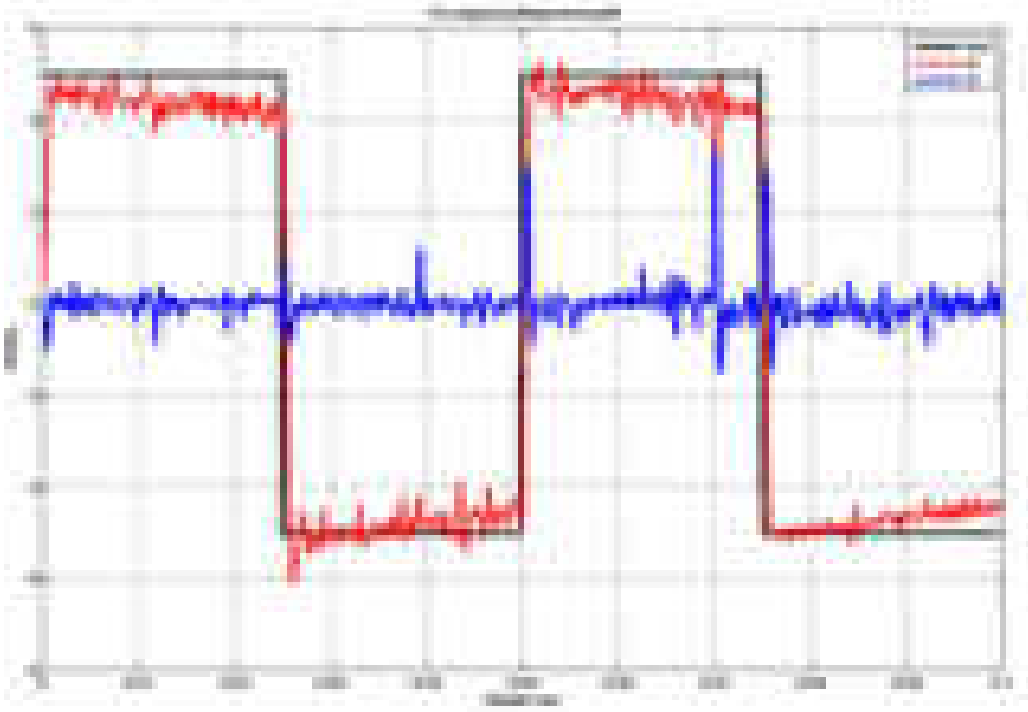


Рис. 3.13. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=25 A/V

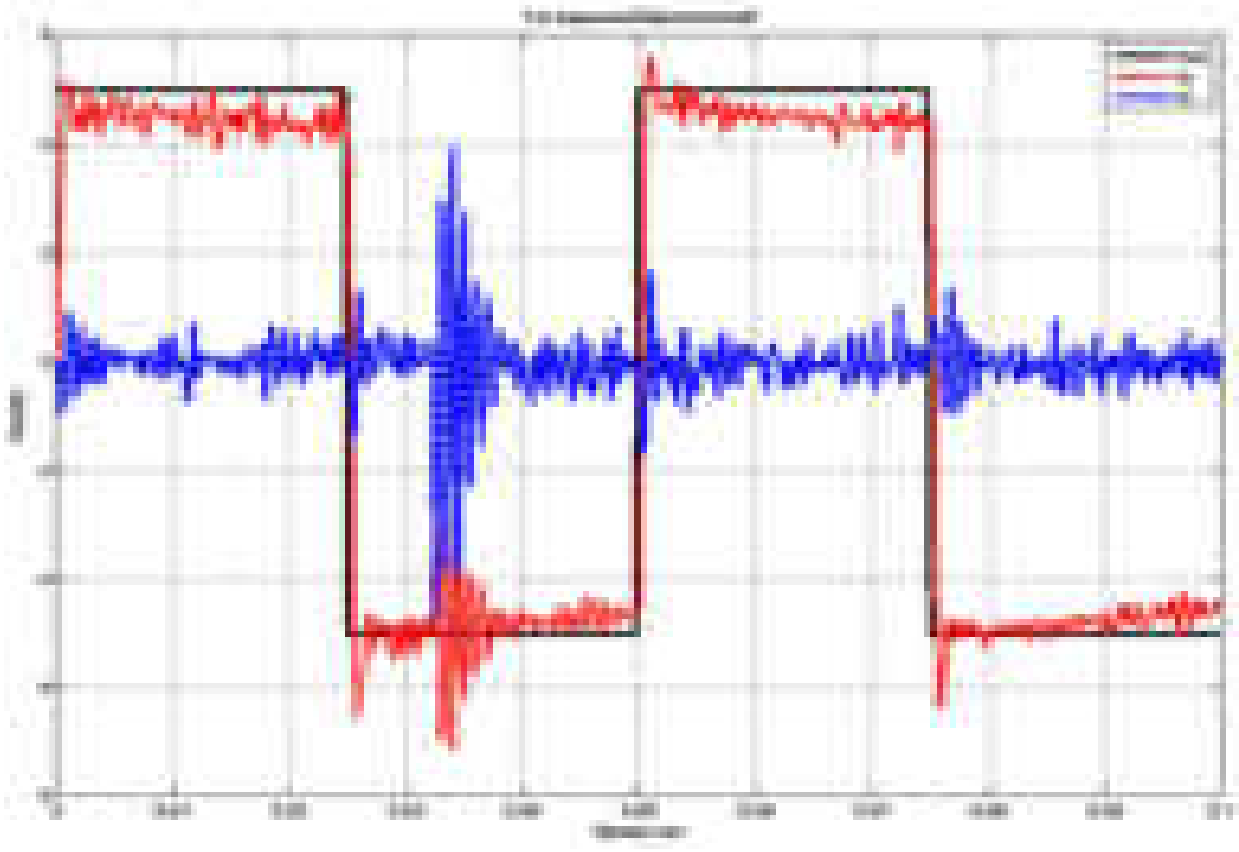


Рис. 3.14. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=35 A/V

2-й шаг. Настройка интегрального коэффициента.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($kkpp$=$25AAVV$). Установить интегральный коэффициент по умолчанию.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A;

• актуальное значение тока Idact, A.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока Iqset, A;

• величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 50 мсек;

• длительность заданного значения – 25 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,25 мсек.

Результат настройки:

• изменяя интегральный коэффициент, добиться перерегулирования Iq не более 5-10 %. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

• контролировать отсутствие возбуждения тока Idact.

Ниже приведены графики при: k_i=5ms, k_i=3ms и k_i=2ms.

Выбираем k_i=3ms. На рис. 3.15 изображен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Ki=5ms. На рис.3.16 показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Ki=3ms. На рис.3.17 представлен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Ki=2ms.

3-й шаг. Проверка работы сглаживающего фильтра заданного тока.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($kkpp$=25$AAVV$). Установить интегральный коэффициент, выбранный во 2-м шаге (k_i=3m).

Включить фильтр сглаживания команды тока (p311=1)

k_p=25AV k_i=3m F_i=1.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A;

• актуальное значение тока Idact, A.

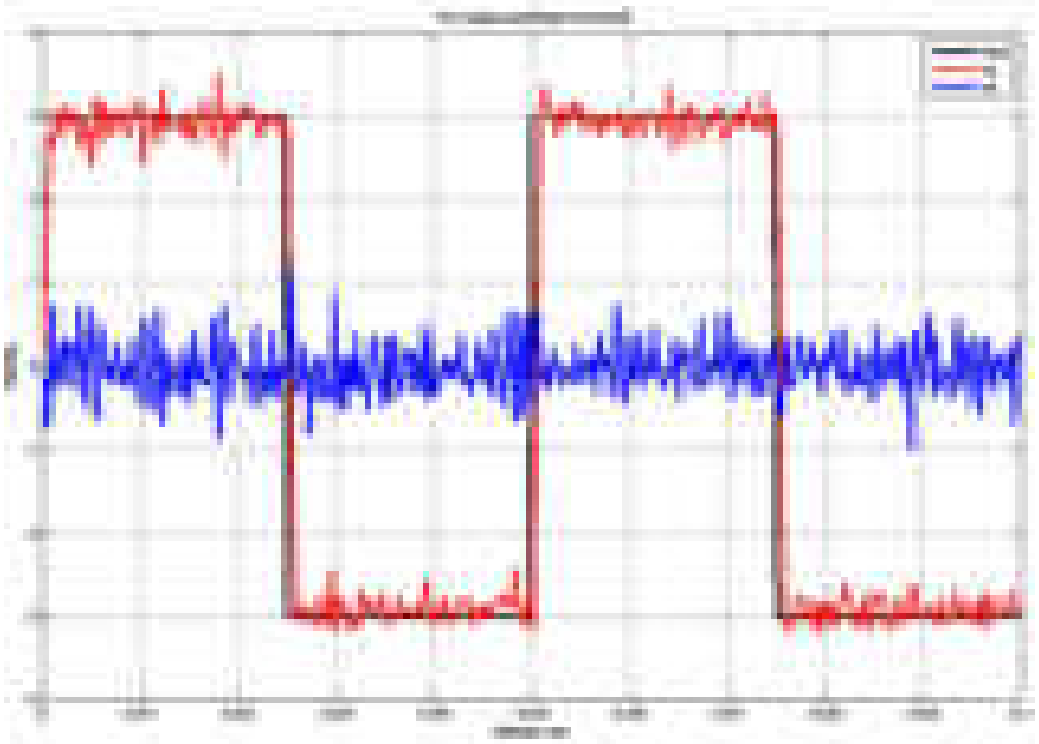


Рис. 3.15. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_i=5ms

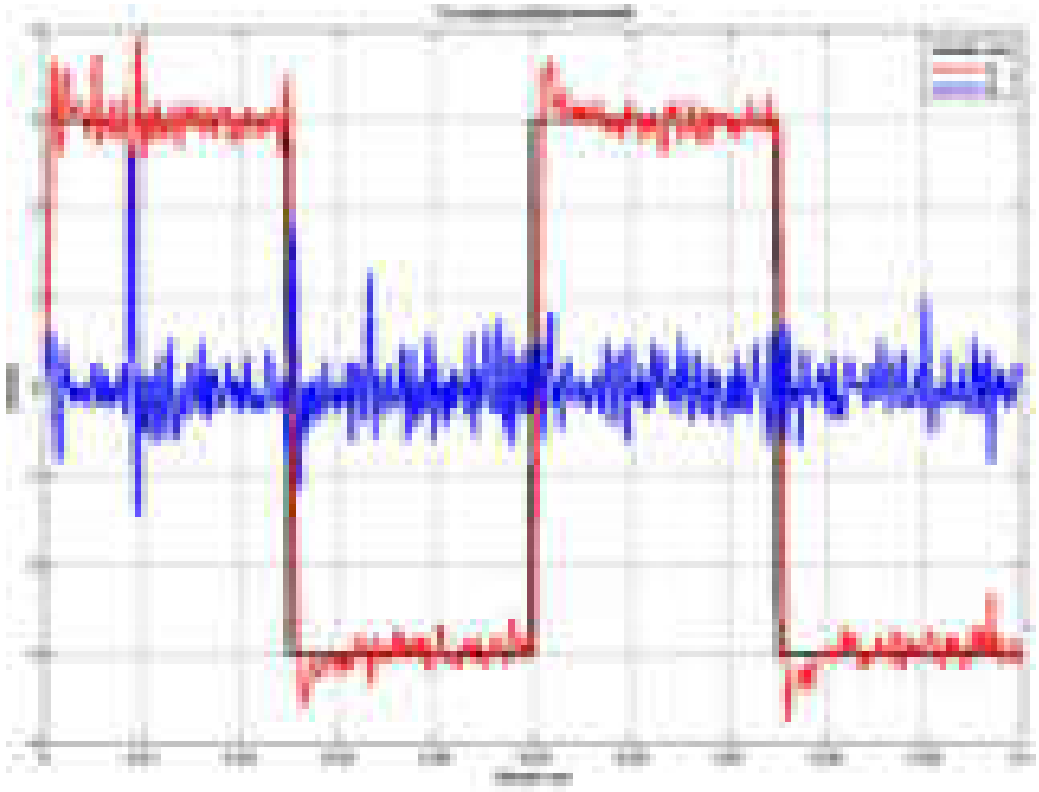


Рис. 3.16. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_i=3ms

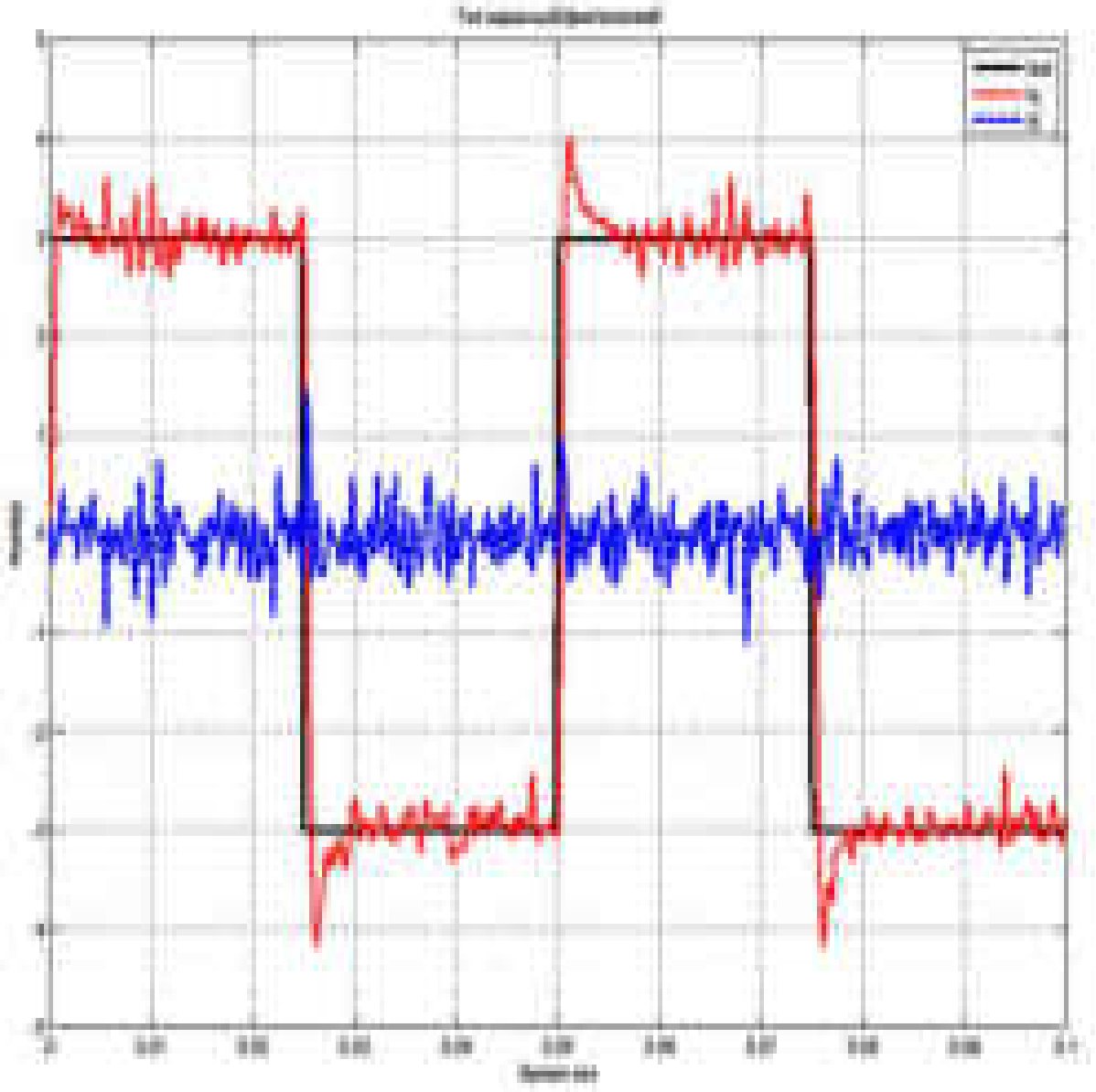


Рис. 3.17. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_i=2ms

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока Iqset, A;

• величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 50 мсек;

• длительность заданного значения – 25 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных:

• 0,25 мсек

Результат настройки:

• передний и задний фронт заданного значение тока на входе регулятора тока IqsetPI имеет сглаженный вид;

• переходный процесс должен быть аналогичен шагу 2;

• контролировать отсутствие возбуждения тока Idact.

На рис. 3.18 показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=25 A/V, Ki=3ms и Fi=1.

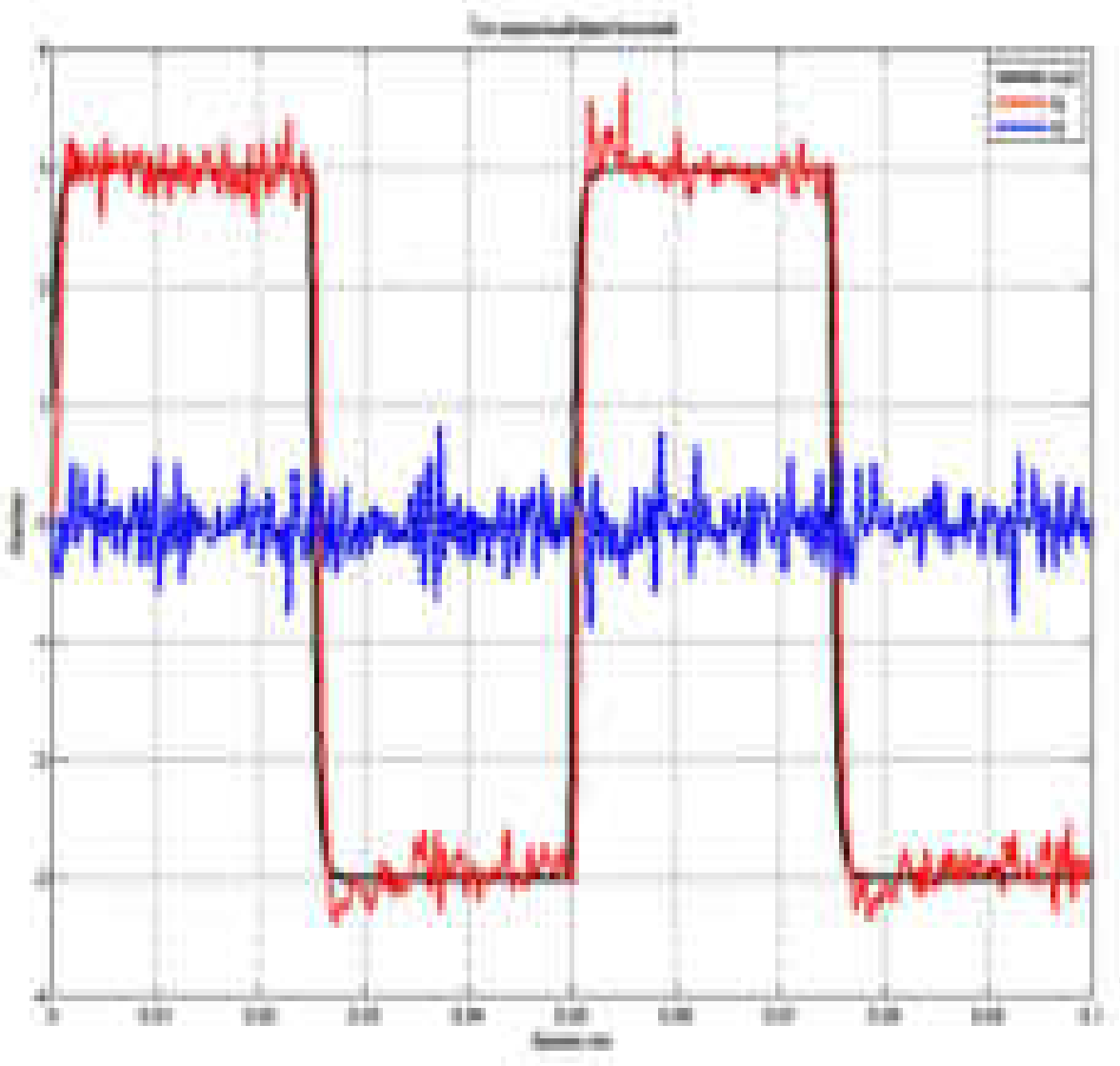


Рис. 3.18. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=25 A/V K_i=3ms F_i=1

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ

При изменении параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора тока:

• k_p=25AV k_i=3m F_i=1.

Результат настройки:

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F=650 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-120˚=60˚.

На рис. 3.19 показана окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

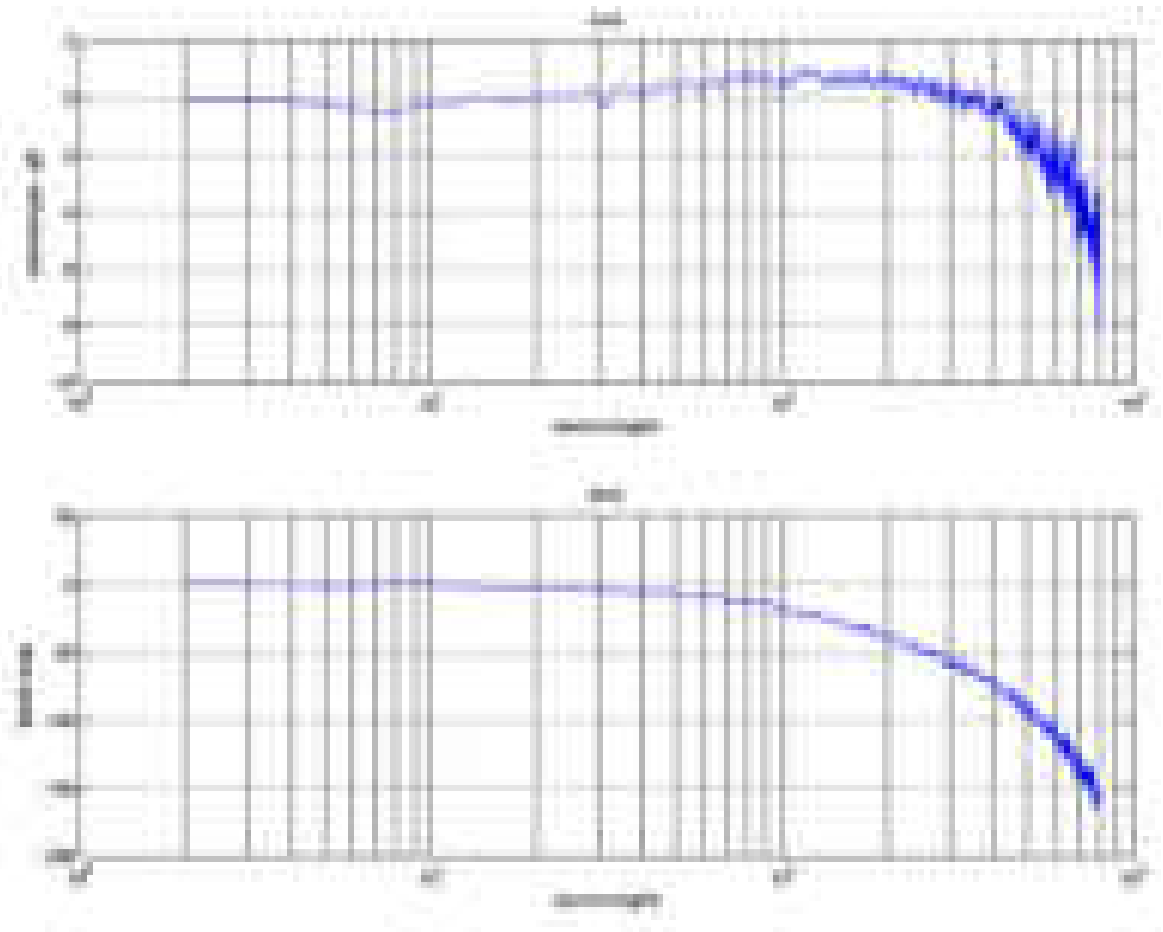


Рис. 3.19. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

Настройка регулятора скорости

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию:

• Кр – пропорциональный коэффициент (р404);

• Кi – интегральный коэффициент (р405);

• Kpd - Псевдо дифференциальная составляющая регулятора (р406);

• отключить фильтр обратной связи по скорости (р414=0);

k_p=600 s^{-1} k_i=10m k_p=100% F_n=0.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactBF, об/мин.

Заданное воздействие:

• наброс заданной скорости в виде Чирп-сигнала Nset, об/мин;

• частота 0-500 Гц;

• амплитуда – 2,5% от номинального значения ЭД.

Время измерения:

• зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 1024 мсек);

• период съема данных 0,5 ms;

Результат настройки:

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F=110 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-130˚=50˚.

Обращаем внимание на то, что имеется подъем ЛАЧХ на +2,6дБ на частоте 27 Гц. На рис.3.20 представлена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости.

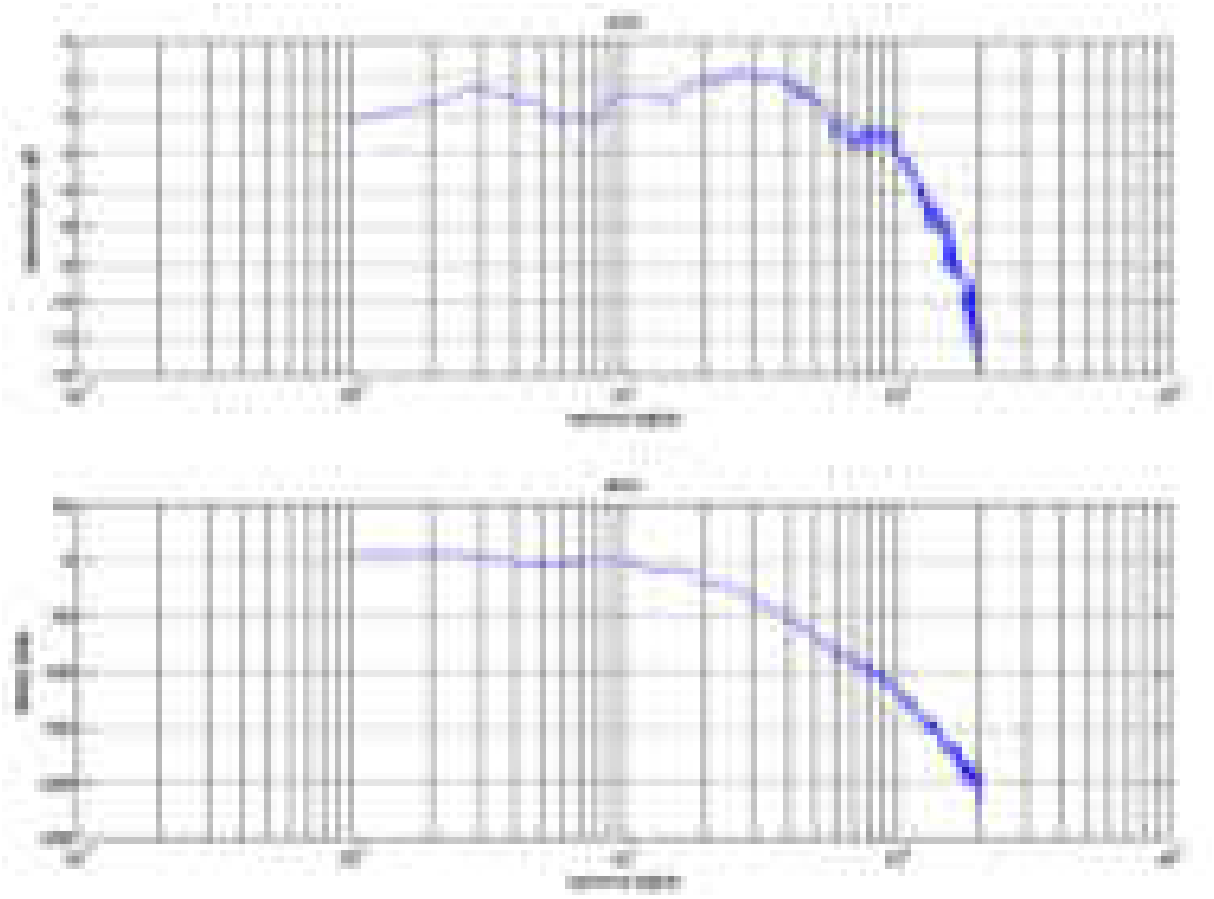


Рис. 3.20. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости

Настройка пропорциональной и интегральной составляющей

1-й шаг. Настройка пропорционального коэффициента.

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию (отключить фильтр обратной связи по скорости).

Установить интегральный коэффициент равный 0.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactBF, об/мин;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А;

• актуальное значение тока Iqact, А.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 200 мсек;

• длительность заданного значения – 100 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек.

Результат настройки:

• увеличивая пропорциональный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости;

• контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF и тока Iqact.

При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

Ниже приведены графики при: k_p=400 s^{-1} , k_p=500 s^{-1} и k_p=600 s^{-1}.

Выбираем k_p=500 s^{-1}.

На рис.3.21 показан ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp = 444\ s^{-11}}$. На рис.3.22. представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp = 544\ s^{-11}}$. На рис.3.23 изображен тупенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp = 644\ s^{-11}}$.

2-й шаг. Настройка интегрального коэффициента.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($k_p = 500\ s^{-1}$).

Установить интегральный коэффициент по умолчанию.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactBF, об/мин;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А;

• актуальное значение тока Iqact, А.

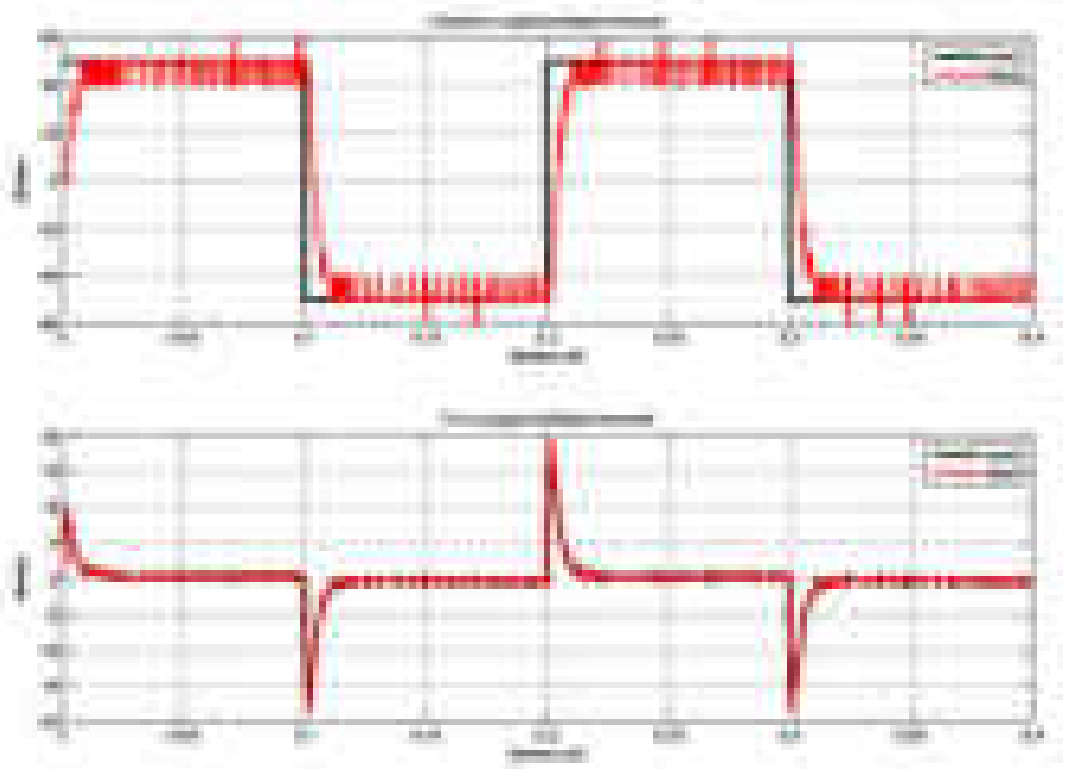


Рис. 3.21. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p = 444\ s^{-11}}$

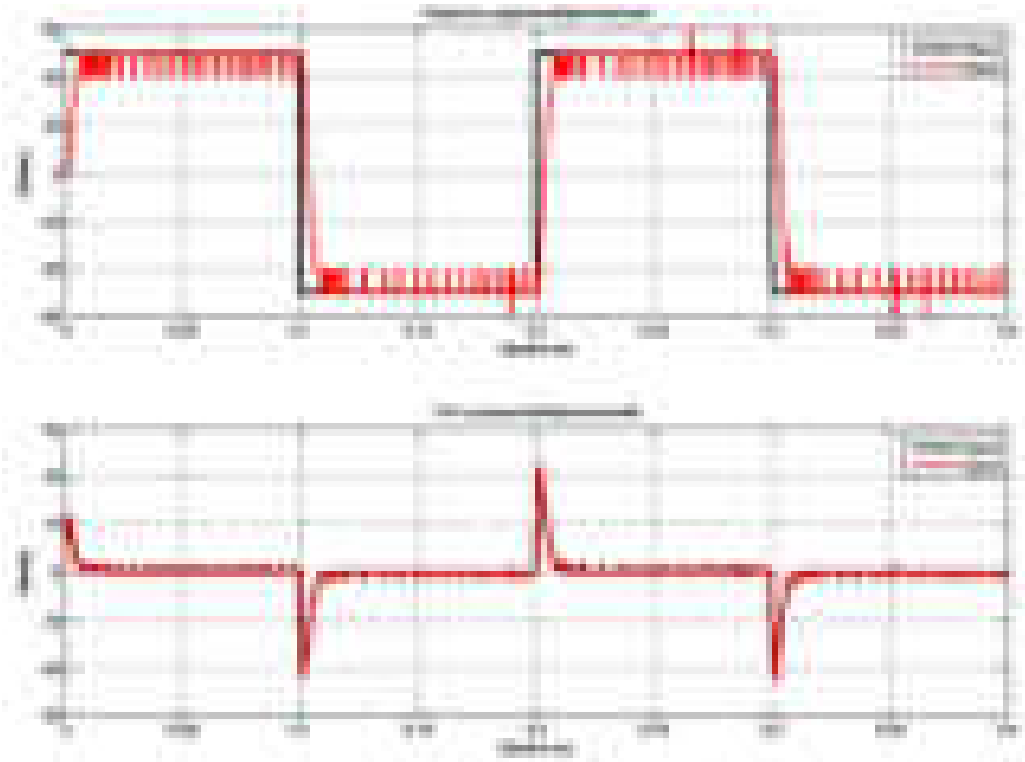


Рис. 3.22. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p = 544\ s^{-11}}$

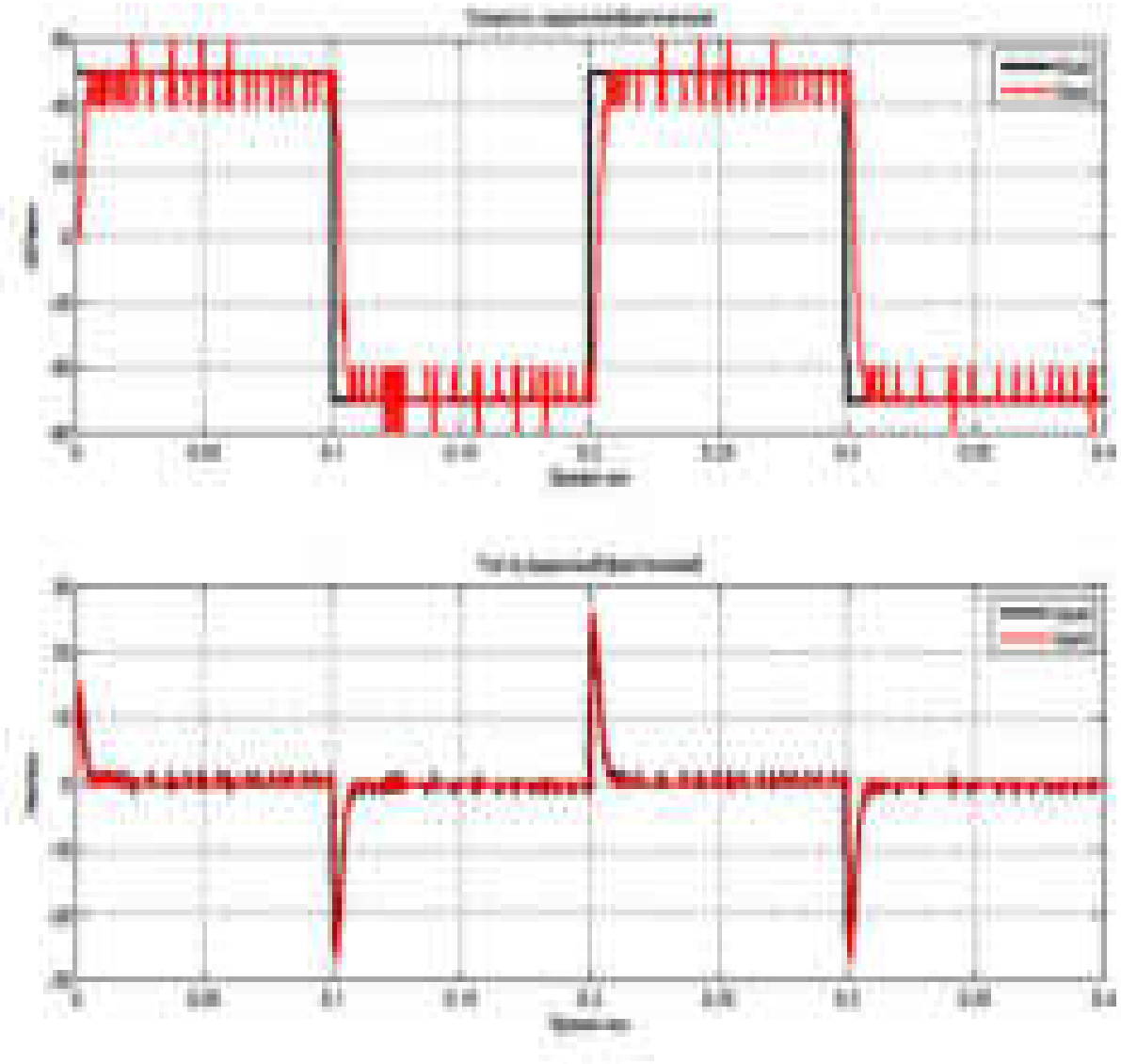


Рис. 3.23. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p = 644\ s^{-11}}$

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 200 мсек;

• длительность заданного значения – 100 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек

Результат настройки:

• изменяя интегральный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

• контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF и тока Iqact. При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

Ниже приведены графики при: $k_i = 10ms$, $k_i = 30ms$ и $k_i = 50ms$.

Выбираем $k_i = 50ms$. На рис. 3.24 изображен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{ki} = \mathbf{141}\boldsymbol{s}$. На рис. 3.25 показан ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{ki} = \mathbf{341}\boldsymbol{s}$. На рис. 3.26 представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{ki} = \mathbf{541}\boldsymbol{s}$.

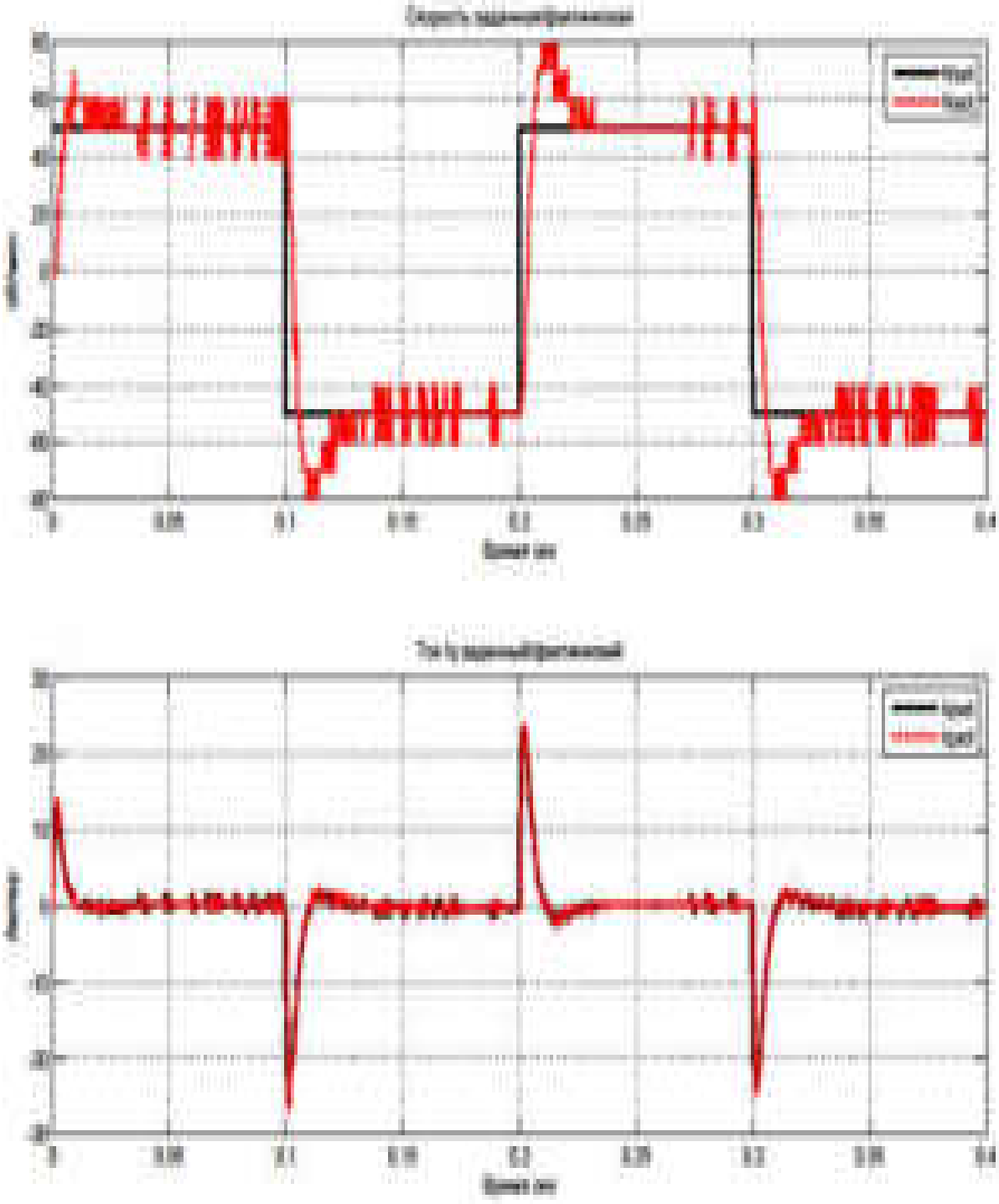


Рис. 3.24. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_i = 141s}$

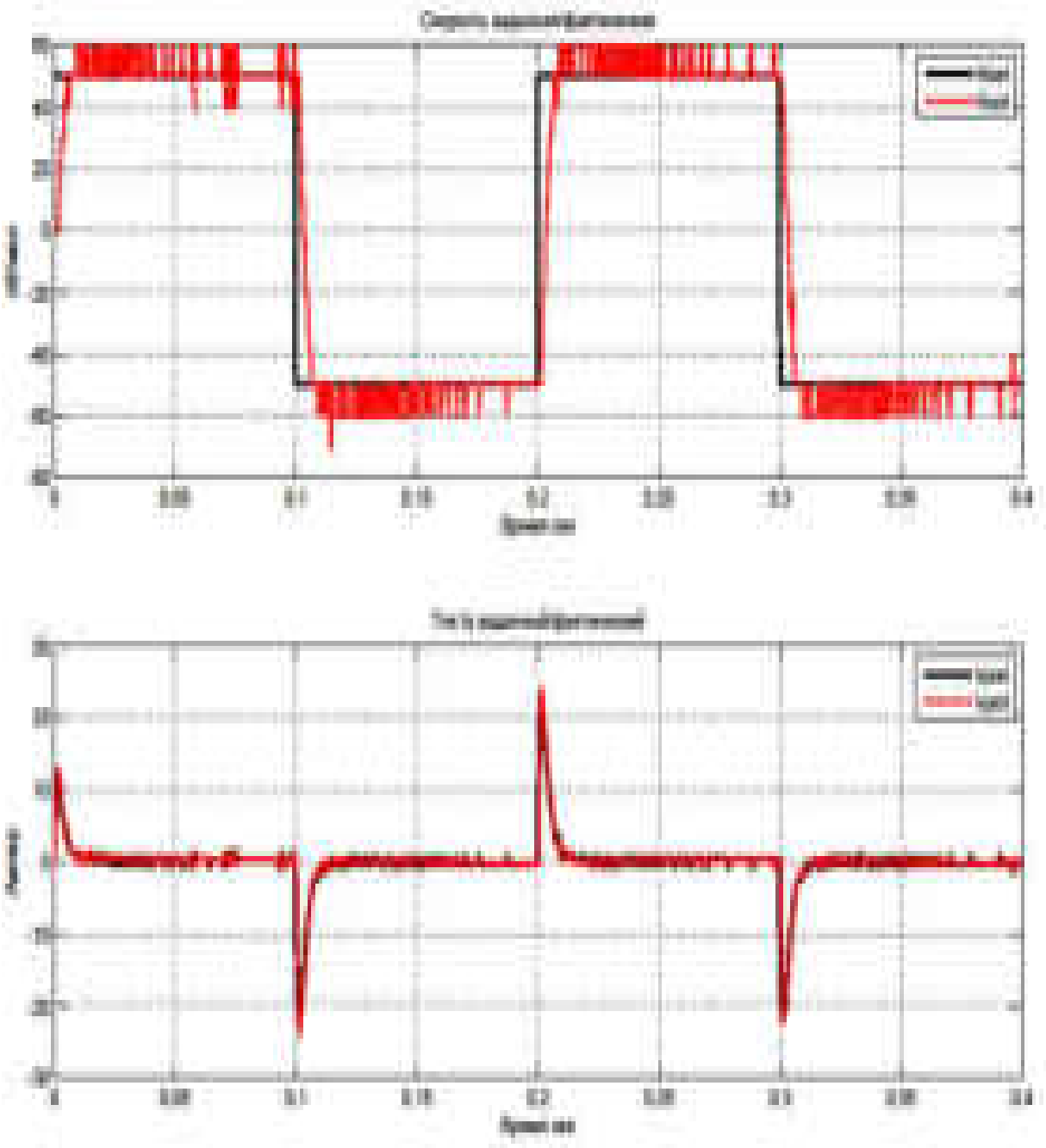


Рис. 3.25. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_i = 341s}$

3-й шаг. Проверка работы сглаживающего фильтра обратной связи по скорости.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($kp = 500\ s{-}1$). Установить интегральный коэффициент, выбранный во 2-м шаге ($kii = 50ms$).

Включить фильтр обратной связи по скорости (p311=1) и его параметры по умолчанию:

• p415 Частота среза фильтра обратной связи по скорости – 100 Гц

• p416 Уровень фильтра обратной связи по скорости – 40 об/мин.

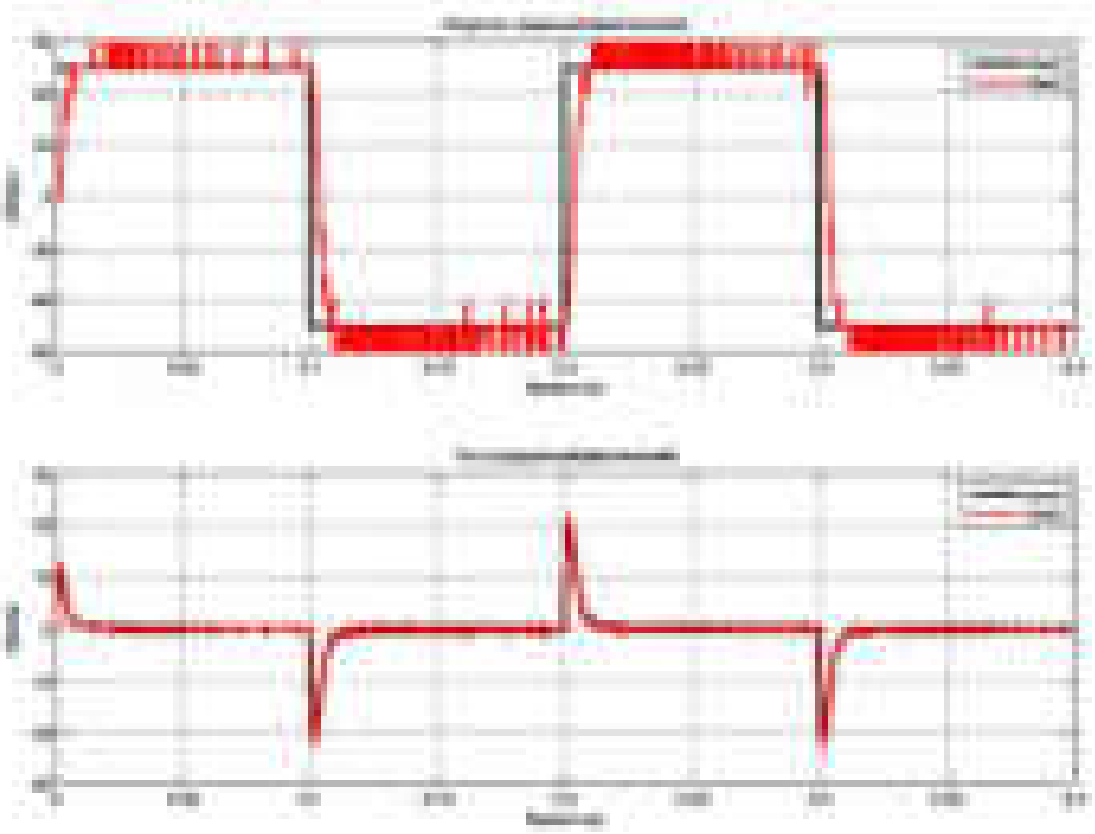


Рис. 3.26. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_i = 541s}$

Таким образом, имеем следующие значения параметров ЭП:

$k_p = 500\ s^{-1}\ k_i = 50ms\ Fn = 1\ F_n = 100\ Hz\ Fnlev = 40\ rpm.$

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости Nset PI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactAF, об/мин;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А;

• актуальное значение тока Iqact, А.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 200 мсек;

• длительность заданного значения – 100 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек.

Результат настройки:

• изменяя пропорциональный и интегральный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

• контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF и тока Iqact. При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

На рис 3.27 представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp = 544\ s{-}1\ ki = 541s\ Fn = 11\ FnF = 144\ Fnv = 44\ rp1}$.

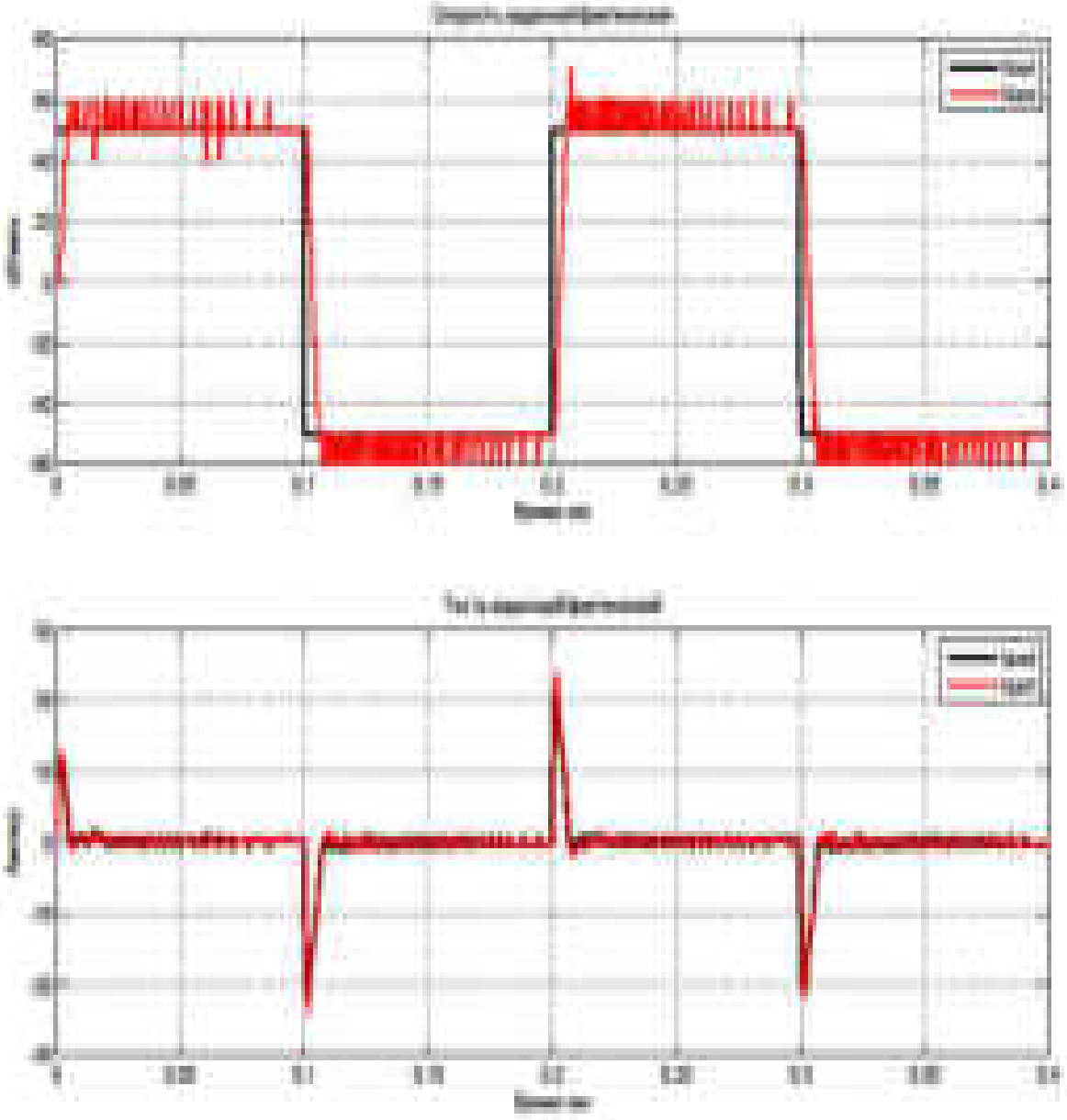


Рис. 3.27. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p = 544\ s^{-1}\ k_i = 541s\ F_n = 11\ F_{nF} = 144\ F_{nv} = 44\ rp1}$

4-й шаг. Проверка токоограничения на выходе регулятора скорости.

Установить параметры, как и в 3-м шаге:

$k_p = 500\ s^{-1}$, $k_i = 50ms$, $F_n = 1\ F_n = 100\ Hz$, $Fnlev = 40\ rpm$.

Проконтролировать установленные параметры регулятора тока по умолчанию:

• Iq_lim_cont - ограничение длительной команды тока (p300);

• Iq_lim_peak - ограничение максимальной команды тока (p301);

• T_lim_peak - время ограничения максимальной команды тока (p302);

• Mlim - максимальный момент ЭД (p206);

$Iq_\text{lim}\ _cont = 25A$; $Iq_\text{lim}\ _peak = 25A$; $T_\text{lim}\ _peak = 1s$, $Mlm = 125Nm$.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactAF, об/мин;

• выходное значение регулятора скорости (Mset), 0.01 Нм;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 100% от максимальной скорости оси, пересчитанной в об/мин ЭД;

• период наброса заданного значения – 1000 мсек;

• длительность заданного значения – 500 мсек;

• количество повторений – 1.

Период съема данных: 1 мсек.

Результат настройки:

• контролировать время ограничения (насыщения) выходного значения регулятора скорости (Mset) и заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF. Для станков с моментом инерции нагрузки, приведенной к валу ЭД, равной 2-5 момента инерции ЭД это время составляет 400-800 мсек. Если момент инерции нагрузки имеет большую величину, необходимо увеличить параметр T_lim_peak;

• величина ограничения момента (Mset) должна бать равна M_lllm, а ограничения тока Iq set AF - $Iq_\text{lim}\ _cont * \sqrt{2}$.

Ниже (рис. 3.28) приведены графики при вышеуказанных параметрах.

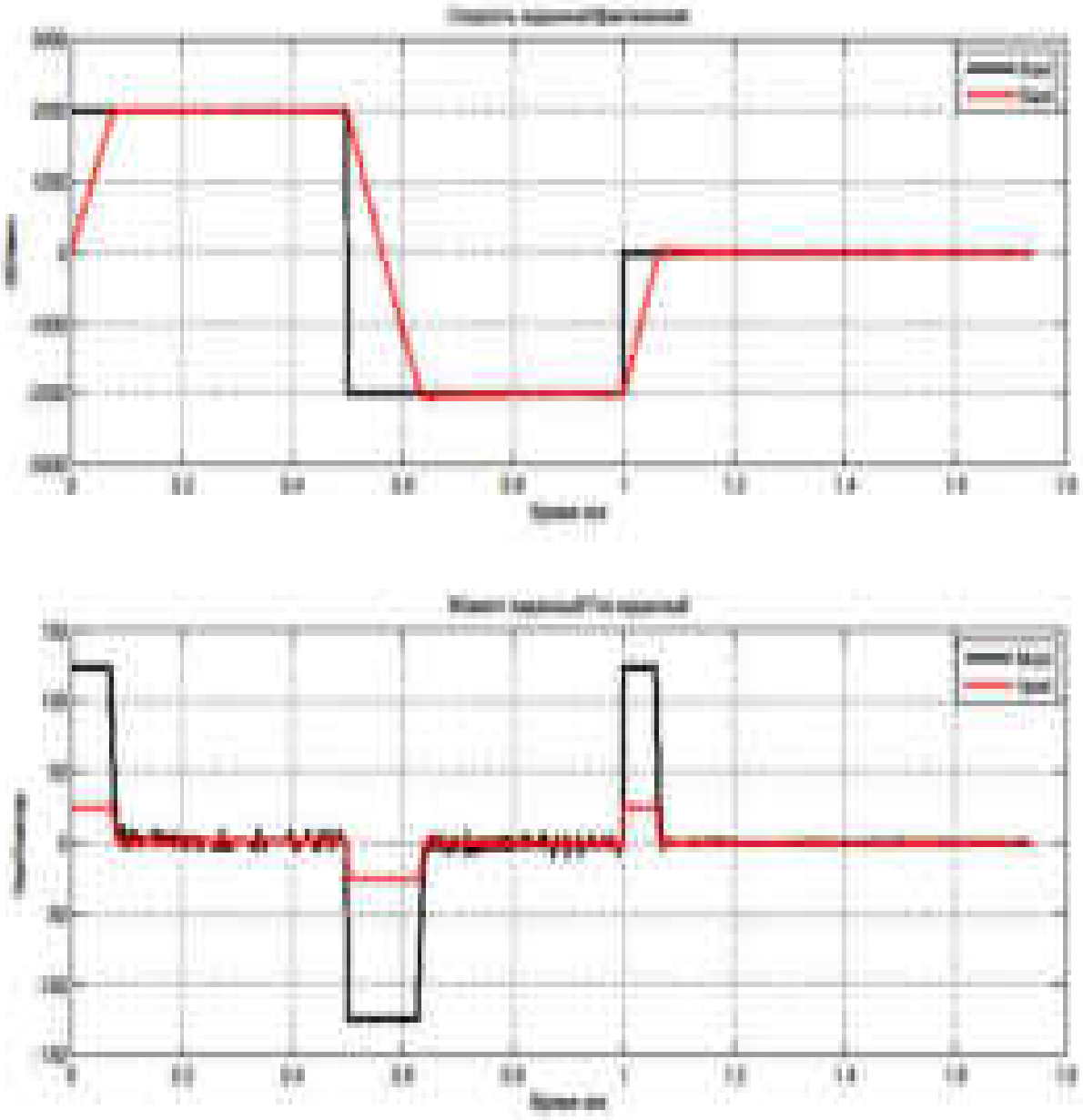


Рис. 3.28. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при проверке токоограничения на выходе регулятора скорости

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ

После изменения параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора тока:

• $k_p = 500\ s^{-1}\ k_{ii} = 50ms\ F_n = 1\ F_{nbnn} = 100\ Hz\ F_{nlev} = 40\ rpm.$

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ, $F = 95$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-115˚=65˚.

На рис. 3.29 показана окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости.

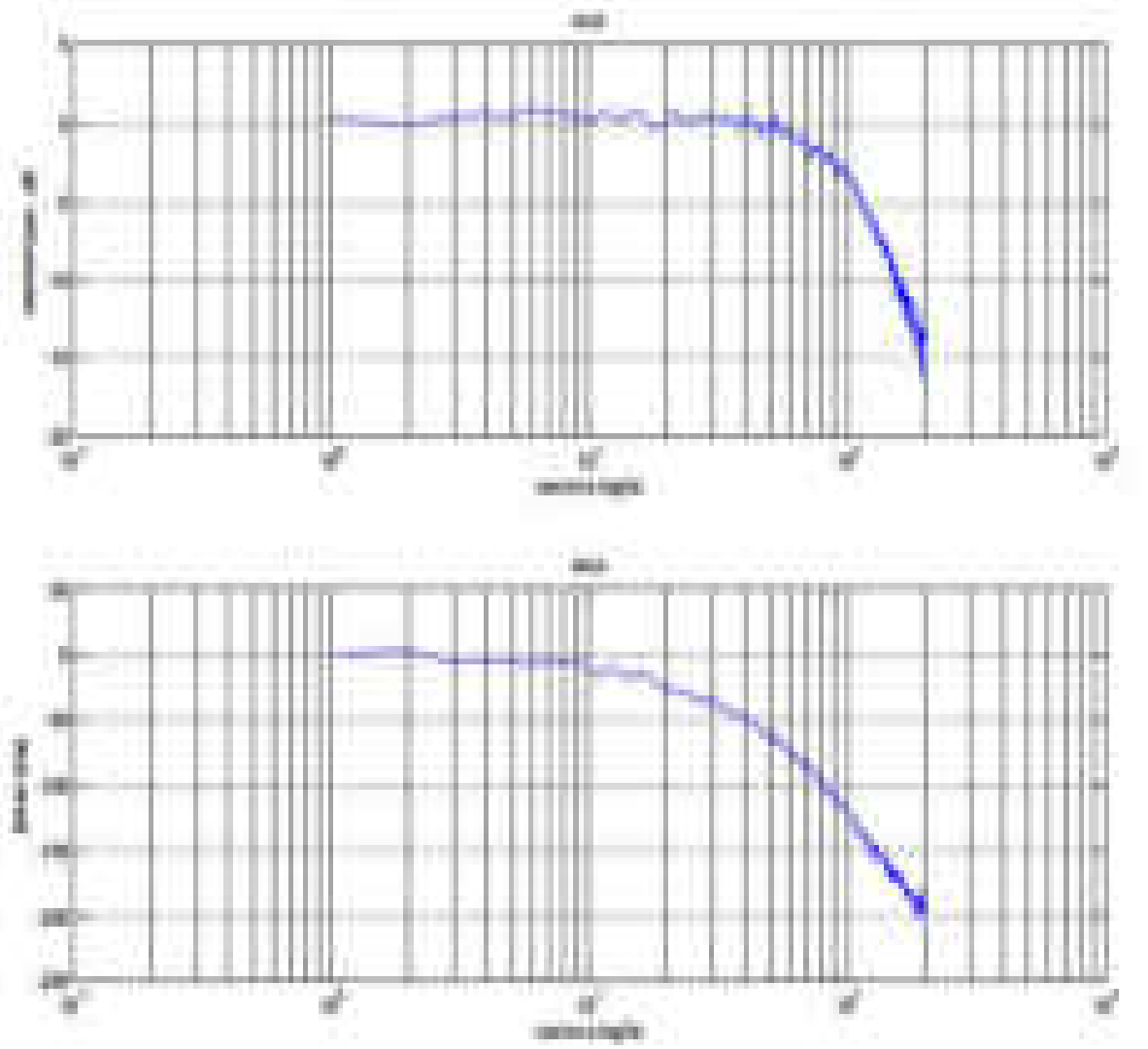


Рис. 3.29. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости

Настройка регулятора положения ЭП

Регулятор положения ЭП может быть использоваться, например, в случае, если в качестве ЧПУ используется NC-202/220/302 ф. Балт-Систем с цифро-импульсным преобразователем (ЦИП).

При значении 3-го параметра в инструкции CAS=1, параметр p505=1, а при значении 3-го параметра в инструкции CAS=2, параметр p505=2.

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

• K_v – пропорциональный коэффициент (p502);

• K_i – интегральный коэффициент (p503);

• K_{ffw} - Коэффициент предуправления (p504).

$k_v = 30\ s^{-1}, k_i = 0ms, \quad k_{fn} = 100\%$.

Контролируемые данные:

• заданное значение входе регулятора положения (CNTSsetPI), cnts/ms;

• актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;

• актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

• заданное значение на регуляторе положения в виде Чирп-сигнала (CNTSset), cnts/ms;

• частота 0-250 Гц;

• амплитуда – 2,5% от номинального значения скорости ЭД.

Время измерения:

• зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 2048 мсек);

• период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

• контролировать актуальное значение тока Iqact, чтобы он не превышал максимального значения тока ЭД;

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ, $F =$ 100 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-140˚=40˚.

Обращаем внимание на то, что имеется подъем ЛАЧХ на +1,7дБ в диапазоне частот 1-40 Гц.

На рис.3.30. изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП. Предварительная настройка Kv-фактора без предуправления.

Установить параметры регулятора положения:

• Kv – пропорциональный коэффициент (p502);

• Ki – интегральный коэффициент (p503);

• Kffw - Коэффициент предуправления (p504);

$k_v = 30\ s^{-1}, k_i = 0ms, \quad k_{fn} = 0\%$.

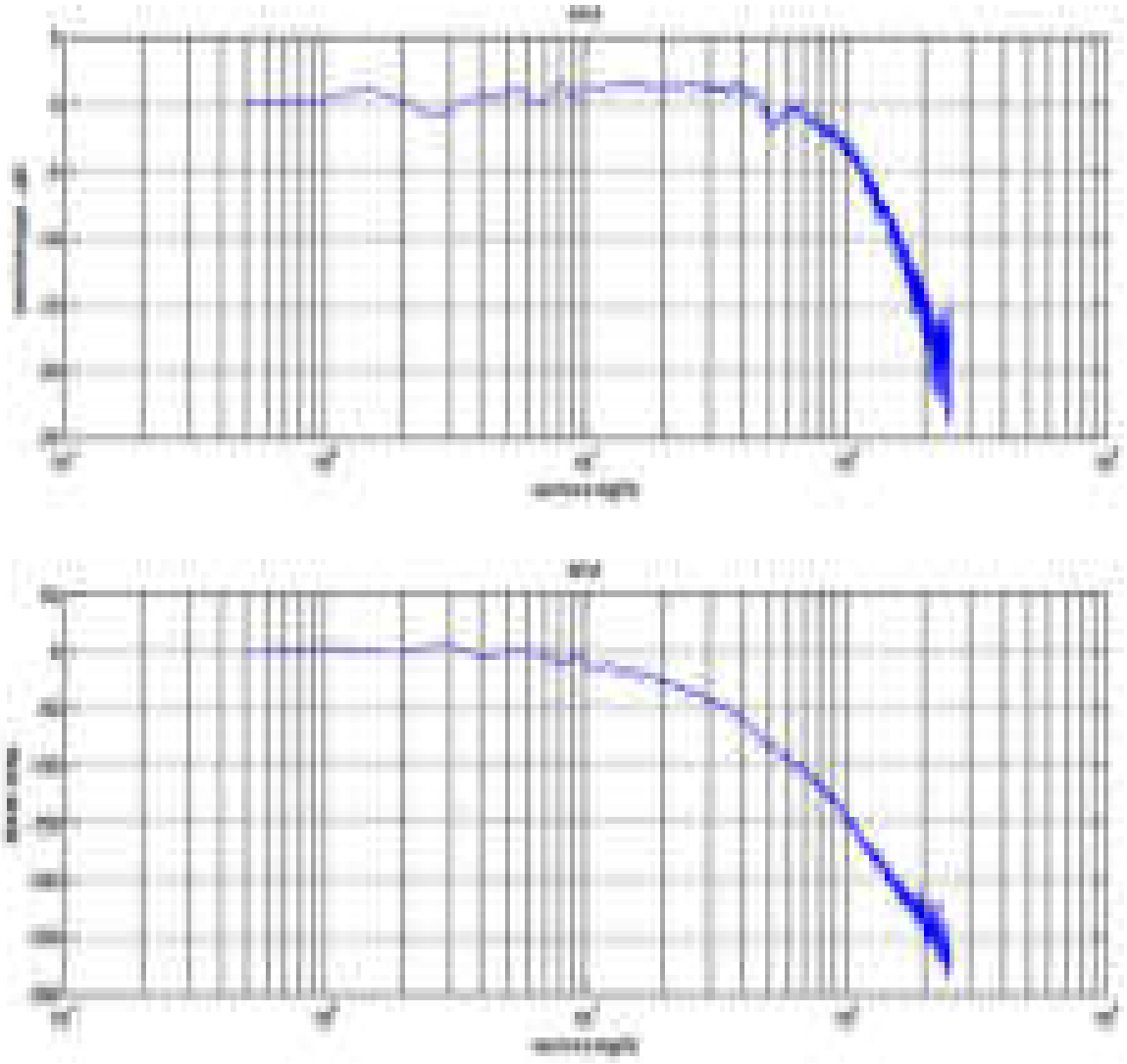


Рис. 3.30. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms;
- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;
- Рассогласование по положению (FE), cnts;
- актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset), cnts/ms;
- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД;
- период наброса заданного значения – 500 мсек;
- длительность заданного значения – 250 мсек;
- количество повторений – 1.

Время измерения:

- период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

- увеличивая Kv-фактор, добиться минимального времени переходного процесса без перерегулирования;
- контролировать актуальное значение тока Iqact, чтобы он не превышал номинального значения тока ЭД.

Ниже приведены графики при:

$k_v = 30\ s^{-1}, k_v = 100s^{-1}$, $k_v = 133s^{-1}$. Выбираем $k_v = 100s^{-1}$.

На рис. 3.31 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kv = 34\ s^{-1}}$. На рис. 3.32 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kv = 144\ s^{-1}}$. На рис. 3.33 показал ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kv = 133\ s^{-1}}$.

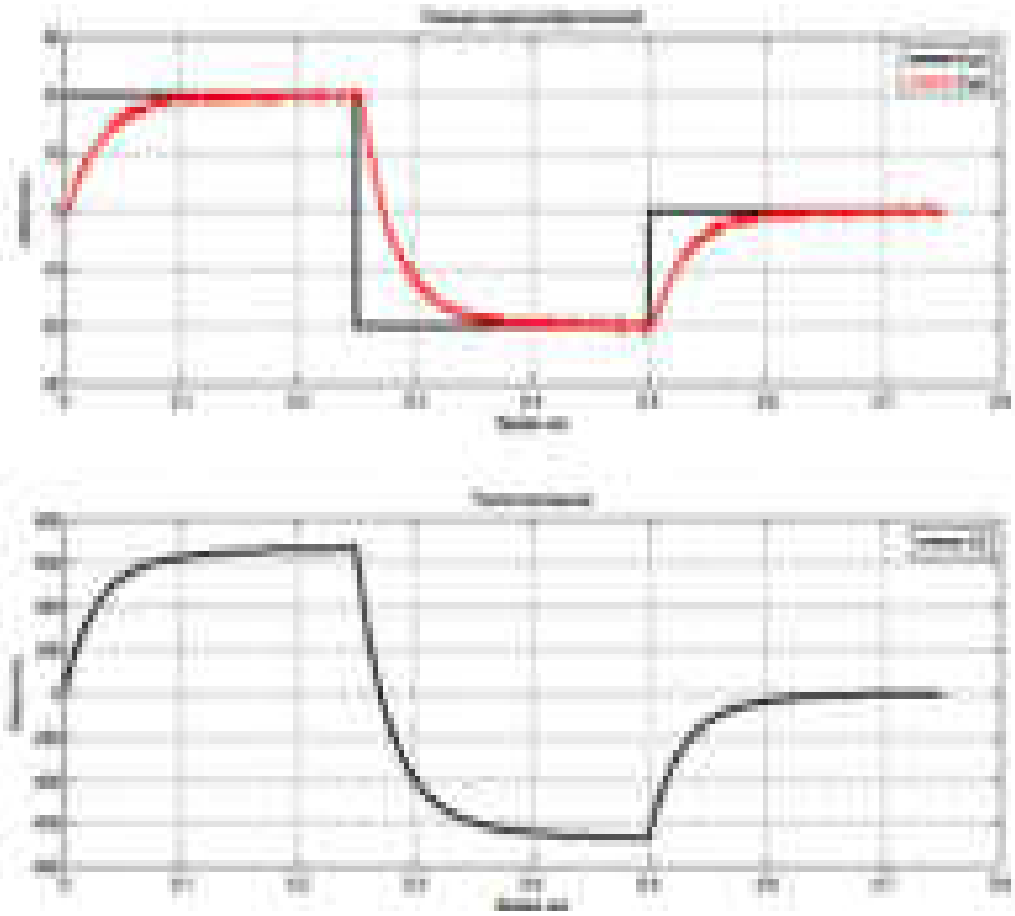


Рис. 3.31. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 34\ s^{-1}}$

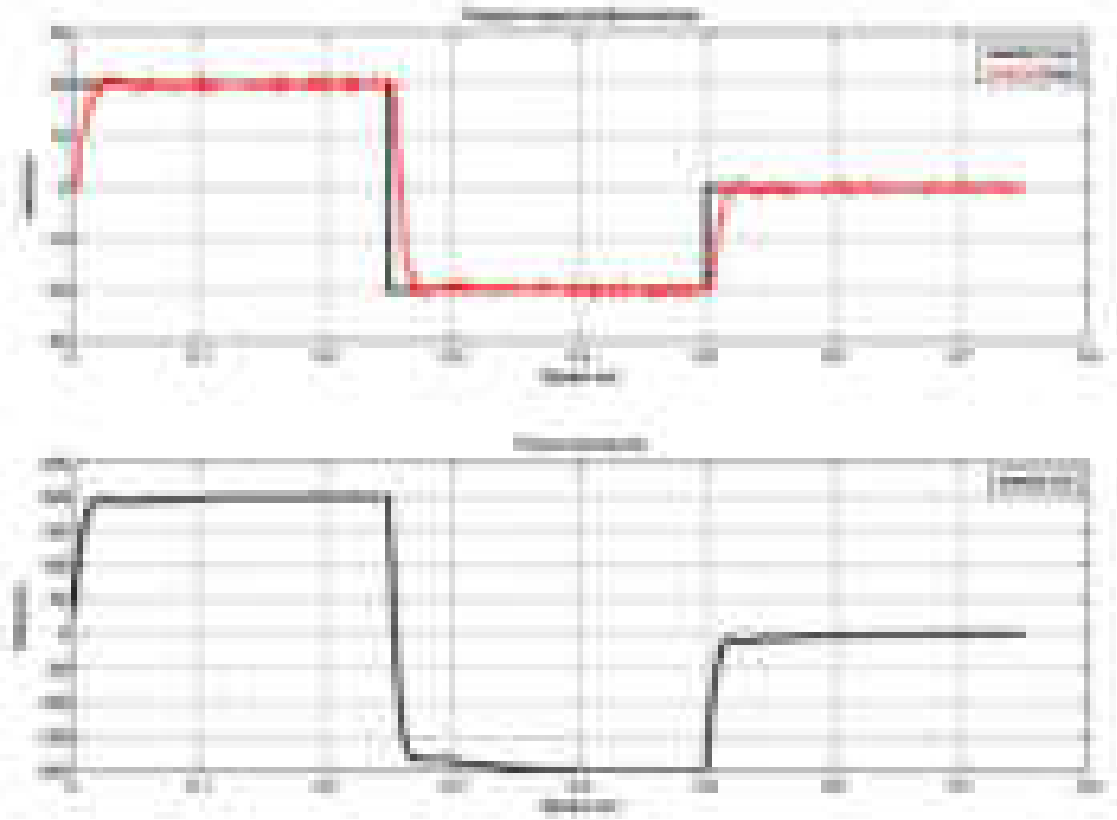


Рис. 3.32. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}}$

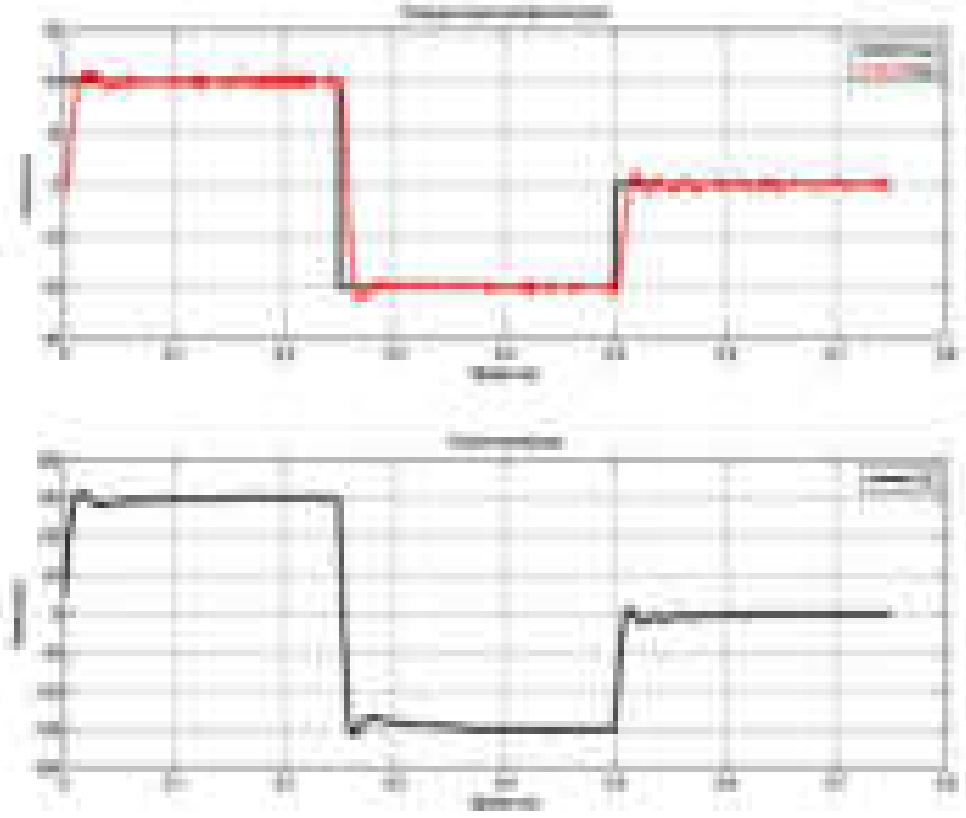


Рис. 3.33. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 133\ s^{-1}}$

Установить Kv-фактор=0.

Контролируемые данные:

• заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms;

• актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;

• рассогласование по положению (FE), cnts;

• актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset).

cnts/ms:

• амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД;

• период наброса заданного значения – 500 мсек;

• длительность заданного значения – 250 мсек;

• количество повторений – 1.

Время измерения:

• период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

• увеличивая Kffw, добиться отсутствия перерегулирования при выходе в заданную позицию.

Ниже приведены графики при k_{fn} = 100 %, k_{fn} = 60 %.

Выбираем k_{fn} = 60 %.

На рис. 3.34 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kfF = 14}$ %. На рис.3.35. изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kfF = 64}$ %.

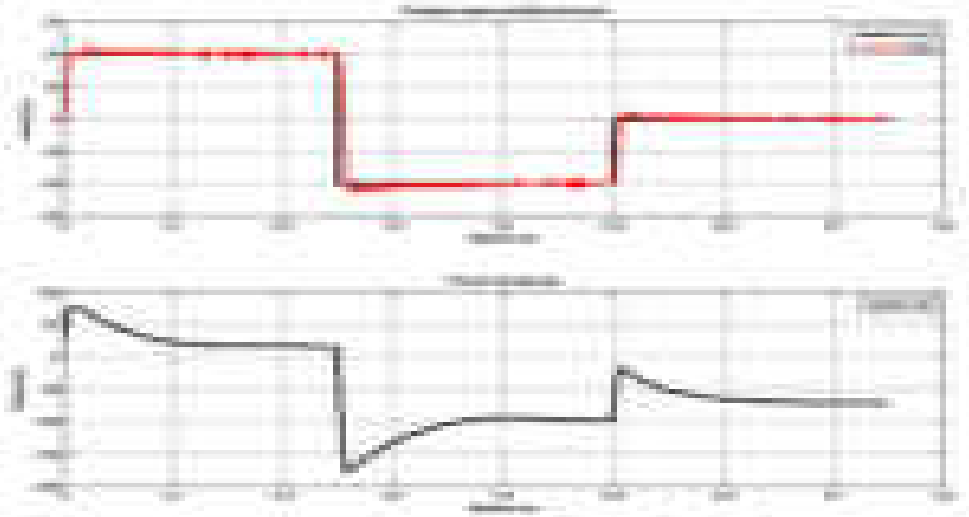


Рис. 3.34. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_{fF} = 14}$ %

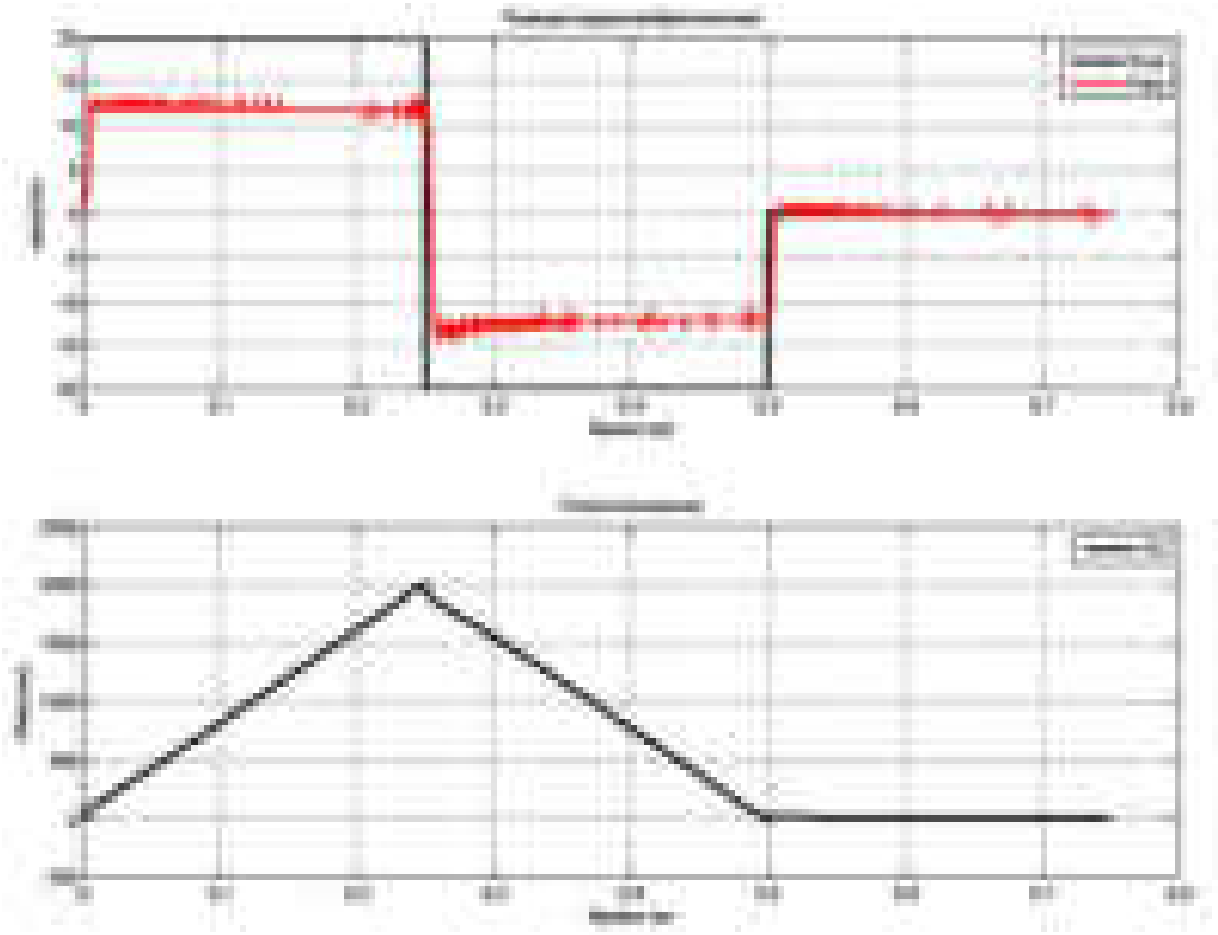


Рис. 3.35. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_{FF}} = \mathbf{64}$ %

Настройка Kv-фактора с предуправлением

Установить Kv-фактор, определённый в п.2.4.2. и Kffw в п.2.4.3:

$k_v = 100\ s^{-1}$ $k_{fn} = 60\%$

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms
- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms
- Рассогласование по положению (FE), cnts
- актуальное значение тока Iqact, A

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset), cnts/ms

- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД
- период наброса заданного значения – 500 мсек
- длительность заданного значения – 250 мсек
- количество повторений - 1

Время измерения:

- период съема данных 1 ms

Результат настройки:

- изменяя Kfw, добиться отсутствия перерегулирования при выходе в заданную позицию.

Ниже приведены графики при:

$k_v = 100\ s^{-1}$ $k_{fn} = 60\%$ и $k_v = 100\ s^{-1}$ $k_{fn} = 40\%$

Выбираем

$k_v = 100\ s^{-1}$ $k_{fn} = 40\%$

На рис.3.36 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}\ k_F = 64\%}$. На рис. 3.37 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}\ k_{fF} = 44\%}$.

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ.

После изменения параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора положения:

$k_v = 100\ s^{-1}$ $k_{fn} = 40\%$

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ $F = 60$ Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-110˚=70˚.

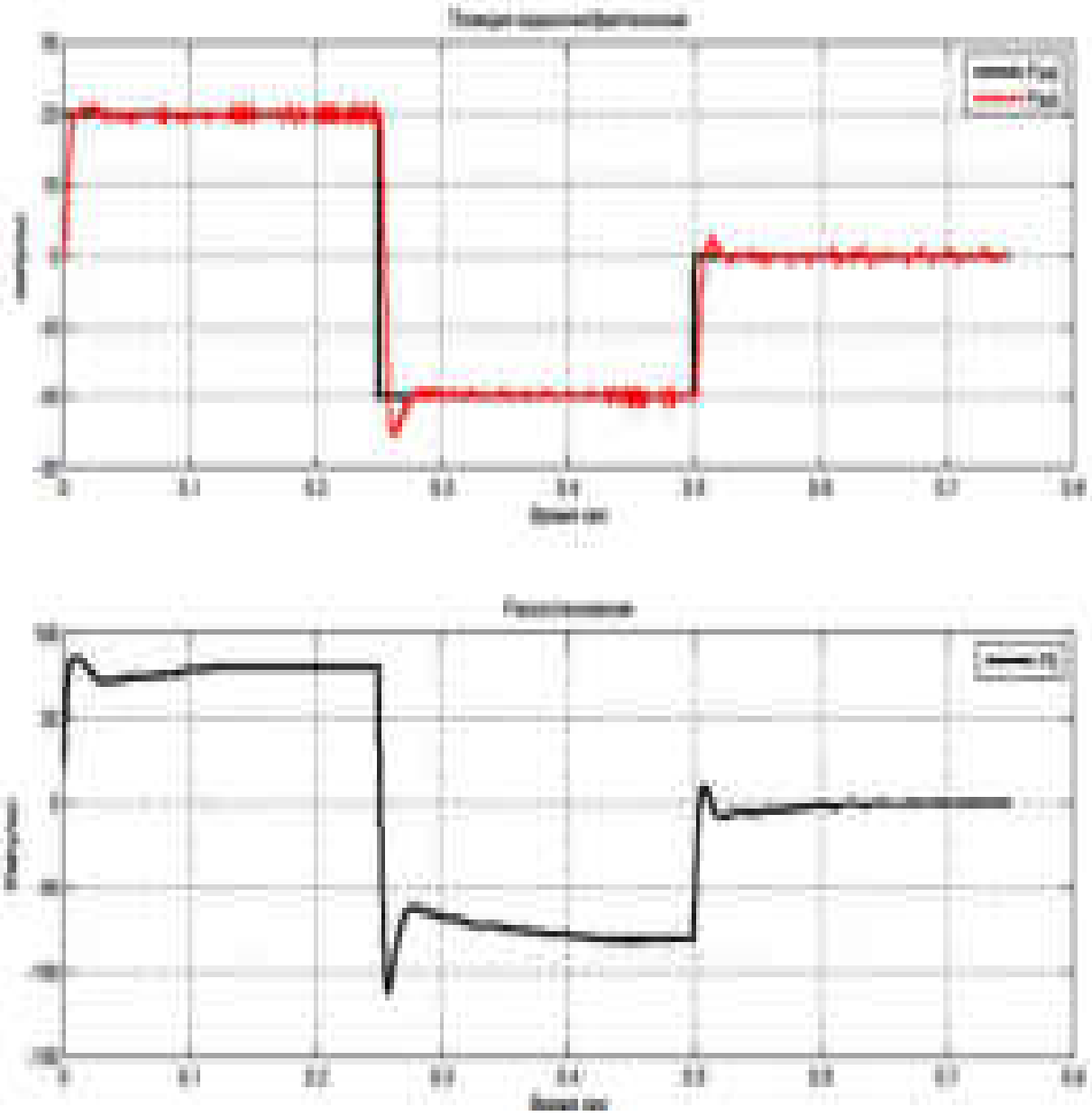


Рис. 3.36. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}\ k_F = 64\%}$

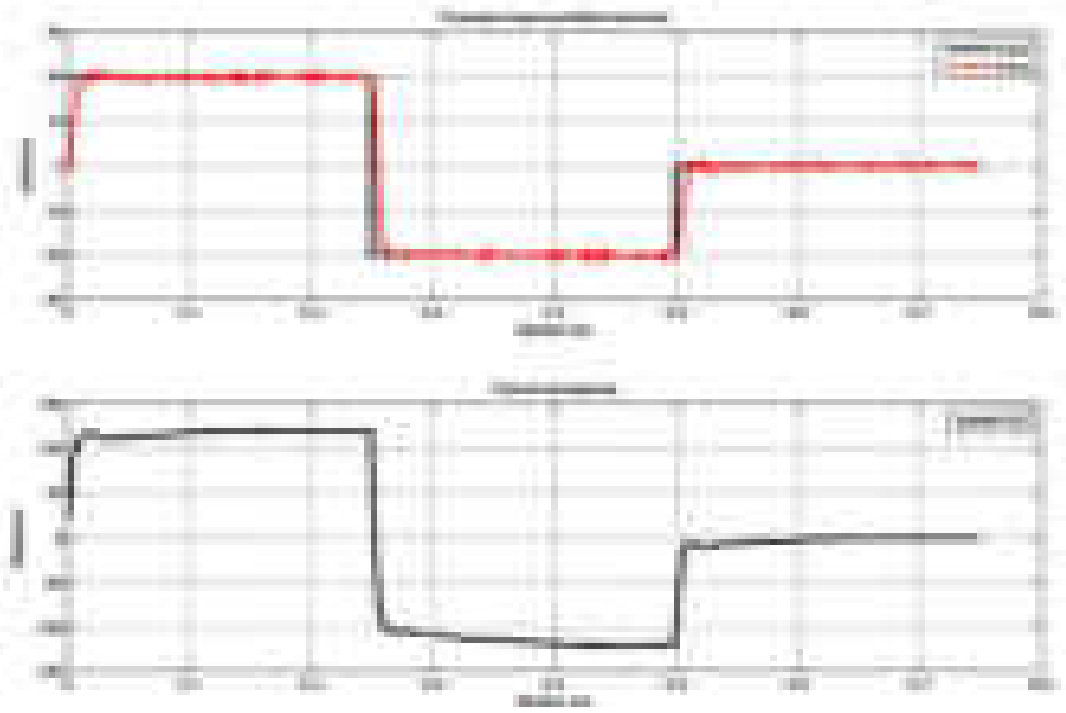


Рис. 3.37. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}\ k_{fF} = 44\%}$

На рис.3.38 представлена окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП.

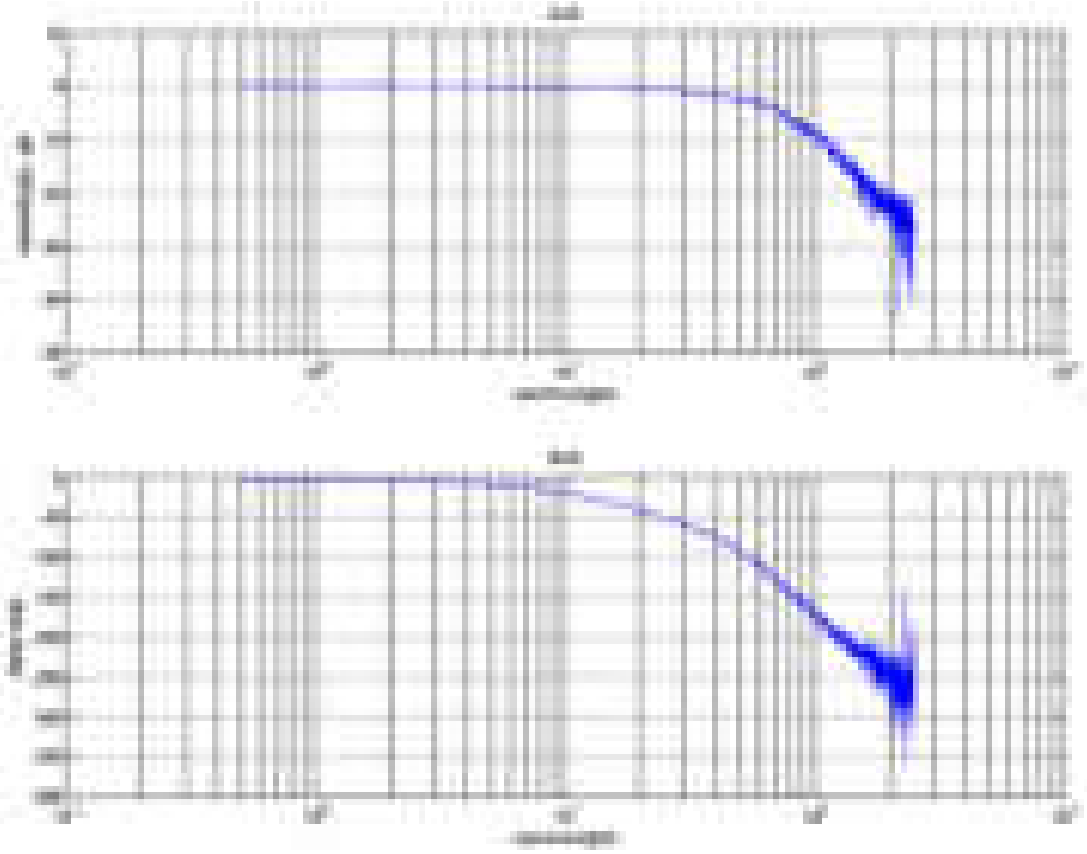


Рис. 3.38. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП

3.4.3. Настройка регулятора положения при работе от ЧПУ

Предполагается, что в качестве ЧПУ используется NC-XXX ф. Балт-Систем и аналоговым заданием на ЭП. Таким образом, в самом начале необходимо произвести балансировку ЭП и ЧПУ (устранить рассогласование в следящем режиме ЭП при отсутствии задания на движение – параметр ЭП "p58 Смещение аналогового задания").

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (3-й параметр в инструкции GM0 = xx);
- K_i – интегральный коэффициент (8-й параметр в инструкции FRC= xx);
- K_{fw} - Коэффициент предуправления (7-й параметр в инструкции FRC=xx).

$k_v = 16.667\ s^{-1}\ k_i = 0ms \qquad k_{fn} = 0$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- актуальное значение тока Iqact, А.

Заданное воздействие:

- заданное значение на регуляторе положения в виде Чирп-сигнала, имп;
- частота 0-100 Гц;
- амплитуда – 2,5% от максимального значения рассогласования.

Время измерения:

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 4096 мсек);
- период съема данных 2 ms (1 tick).

Результат настройки:

- контролировать актуальное значение тока Iqact, чтобы он не превышал максимального значения тока ЭД;
- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F = 2,7 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-56˚=124˚.

Частота, на которой фаза равна -180˚, равна 25 Гц и запас по амплитуде на этой частоте 18 дБ.

На рис 3.39 изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЧПУ.

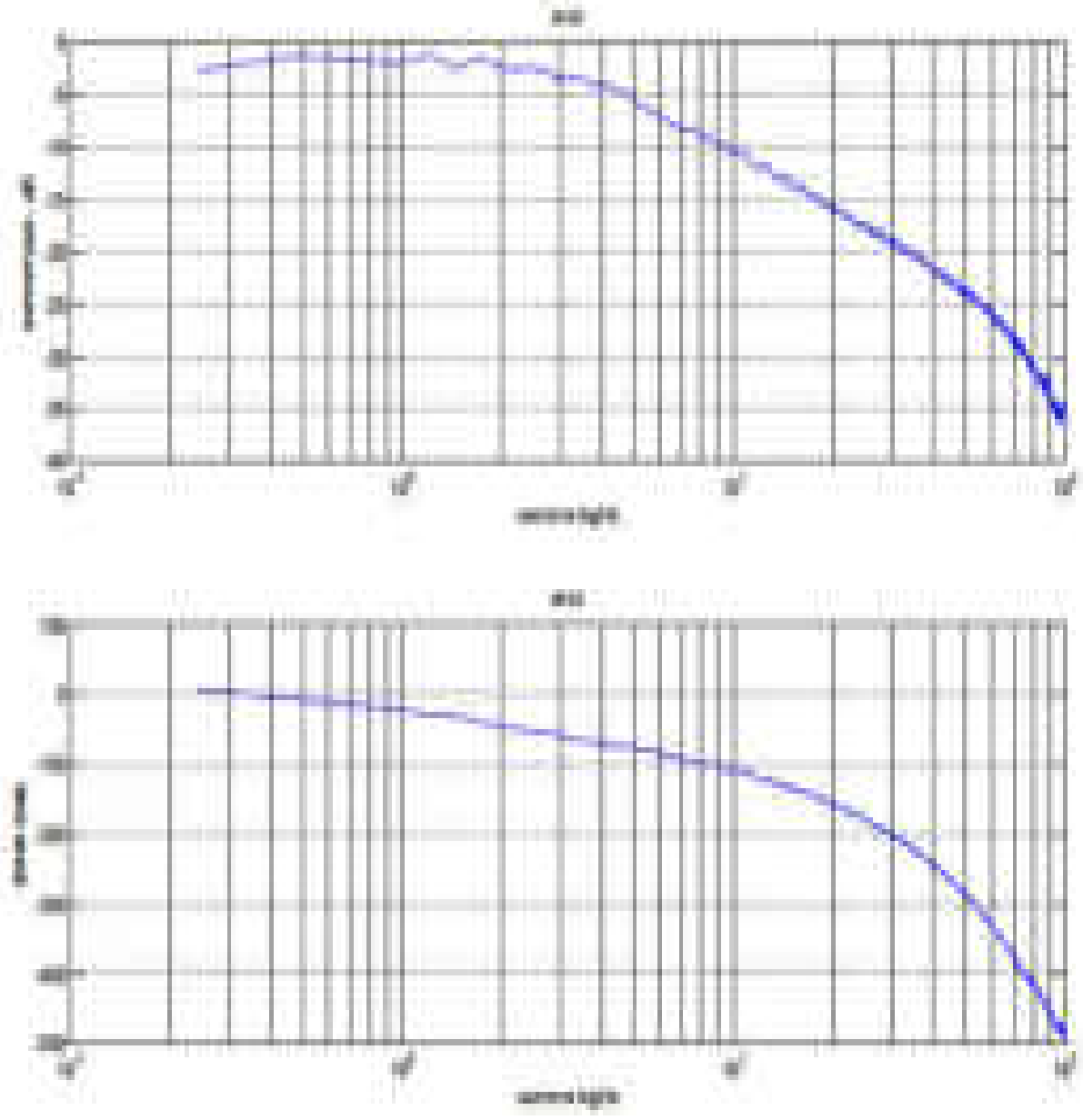


Рис. 3.39. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЧПУ

Предварительная настройка Kv-фактора без предупреждения

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (3-й параметр в инструкции GM0 = xx);
- K_i – интегральный коэффициент (8-й параметр в инструкции FRC = xx);
- Kffw - Коэффициент предупреждения (7-й параметр в инструкции FRC = xx).

$k_v = 16.667\ s^{-1}$ $k_i = 0ms$ $k_{fn} = 0$ $(UEP = 1)$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- рассогласование, имп.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения, имп;
- амплитуда заданного положения 2,5% от максимального значения рассогласования;
- длительность заданного положения 250 мсек.

Время измерения:

- 500 мсек

Результат настройки:

- увеличивая Kv-фактор, добиться минимального времени переходного процесса без колебаний.

Ниже приведены графики при:

$k_v = 16.667\ s^{-1}$ $k_v = 50s^{-1}$ $k_v = 66.667s^{-1}$

Выбираем $k_v = 50s^{-1}$

На рис. 3.40. изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 16.66\ s^{-1}}$.

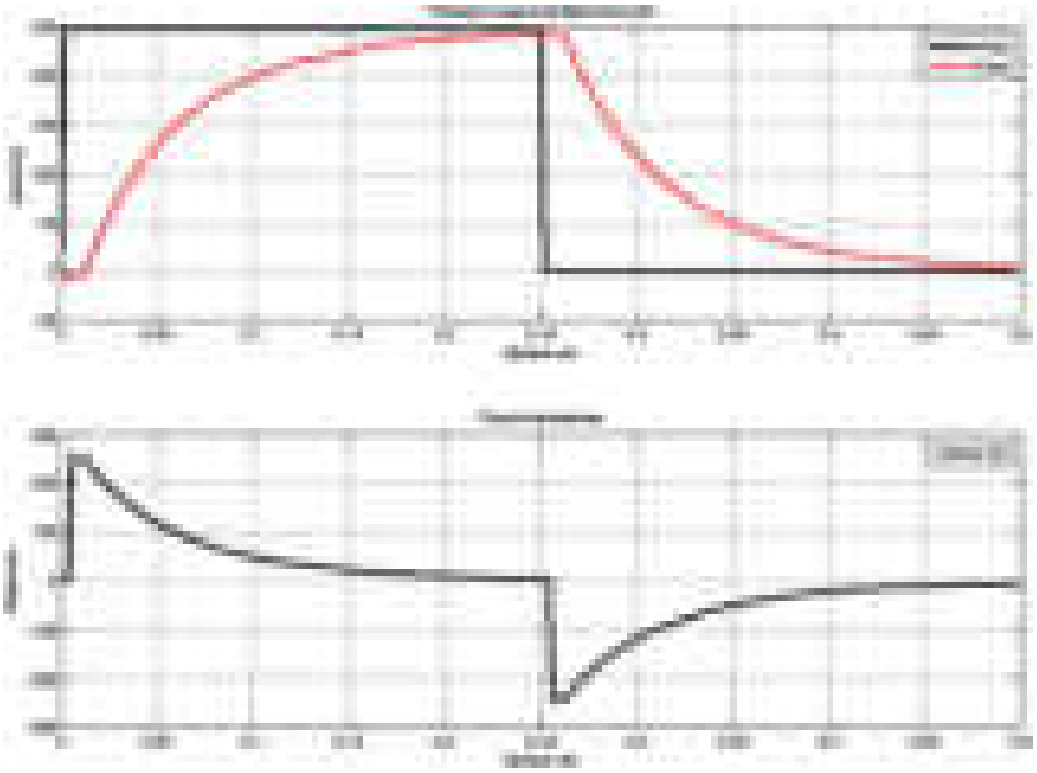


Рис. 3.40. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 16.666\ s^{-1}}$

На рис. 3.41 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 16.666\ s^{-1}}$.

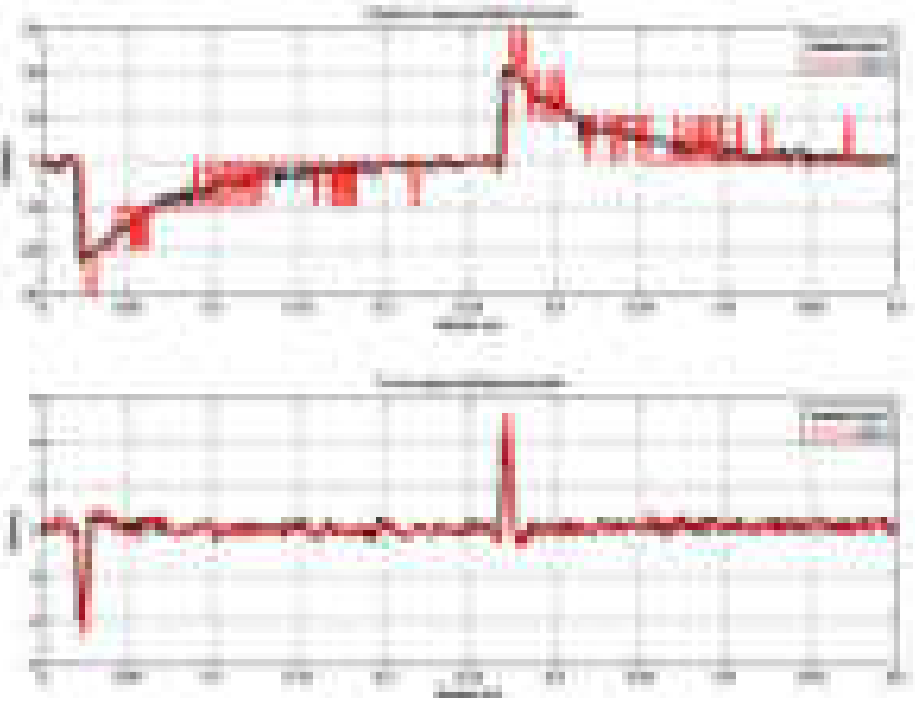


Рис. 3.41. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 16.666\ s^{-1}}$

На рис. 3.42 показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 54.44\ s^{-1}}$.

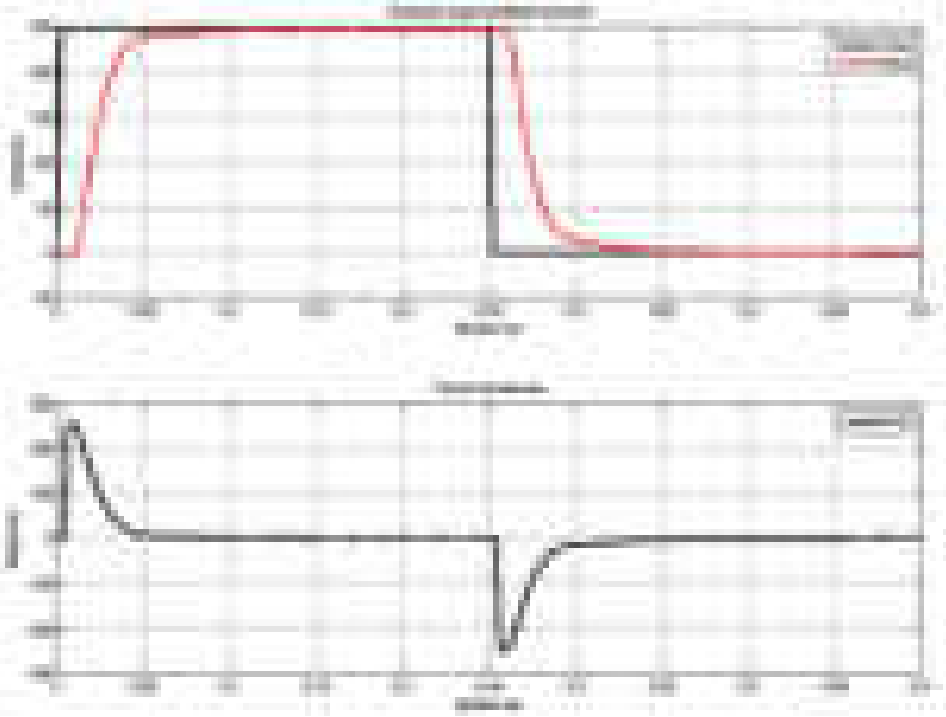


Рис. 3.42. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 54.44\ s^{-1}}$

На рис. 3.43 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 54.44\ s^{-1}}$.

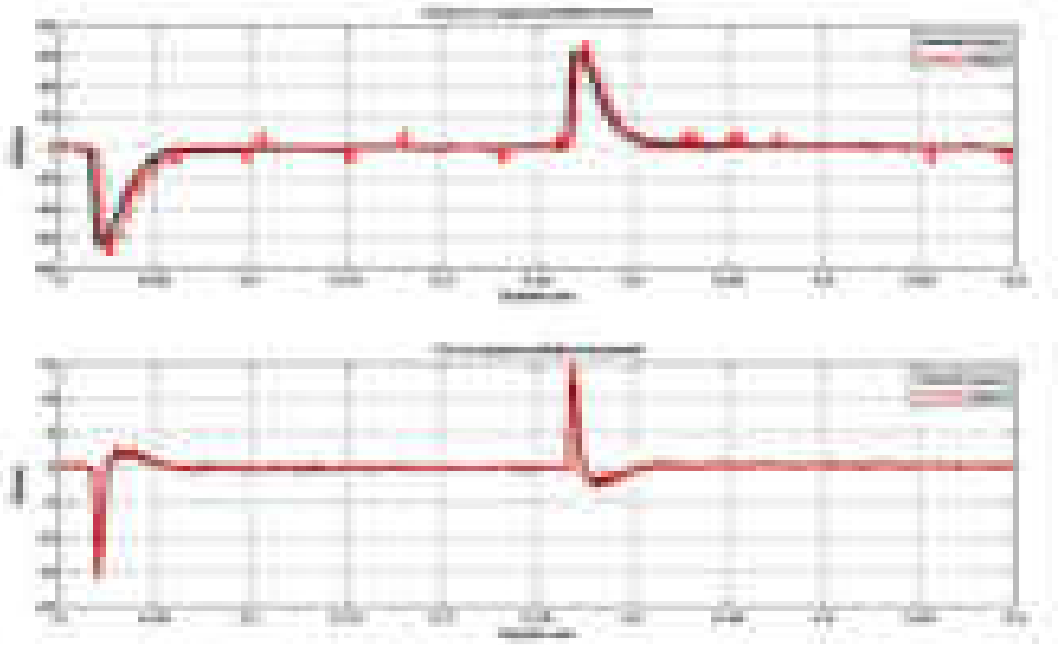


Рис. 3.43. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 54.44\ s^{-1}}$

На рис. 3.44 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.66\ s^{-1}}$.

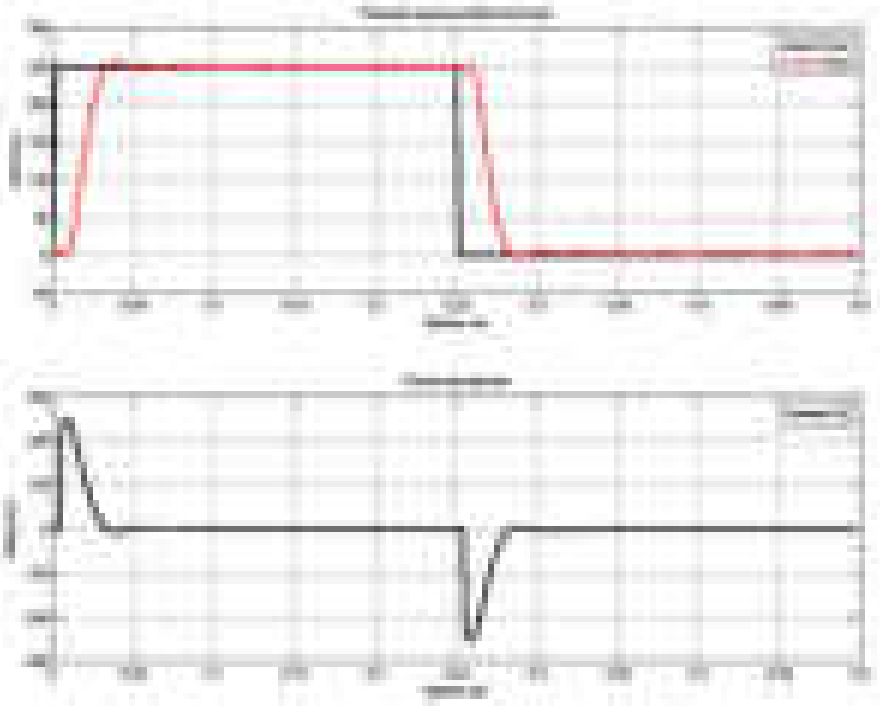


Рис. 3.44. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.66\ s^{-}}$

На рис. 3.45. показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.666\ s^{-1}}$.

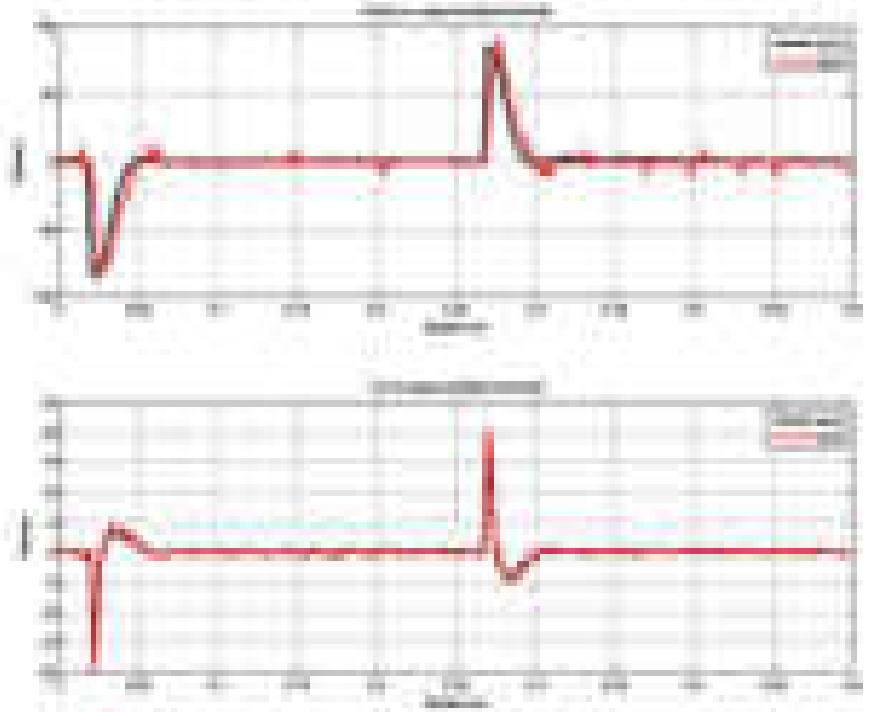


Рис. 3.45. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.666\ s^{-1}}$

Определение максимального ускорения при настройке S-образной характеристики

Активизируем инструкцию ACC=1,05 в секции 1 файла AXCFIL. Устанавливаем параметры:

- Kv – Kv – фактор;
- K_{fw} - коэффициент предуправления;
- A – ускорение на рабочей подаче (по умолчанию).

$k_v = 50.0\ s^{-1}$ $k_{fn} = 1$ $A = 1000\ mm * s^{-2}$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- рассогласование, имп;
- актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

- наброс заданного положения по S-образной характеристике, имп;
- величина заданного положения – достаточная для достижения заданной скорости;
- заданная скорость – максимальная скорость подачи (может быть меньше скорости ускоренного хода).

Время измерения:

- 1-3 сек

Результат настройки:

- увеличивая ускорение, добиться достижения актуального значения тока Iqact максимального значения (ограничения), равного полученному в шаге 4 п.2.3.2 ($Iq_\mathrm{lim}\ _cont$).

Ниже приведены графики при: $A = 1000\ mm * s{-}2$ $A = 4400\ mm * s{-}2$. Таким образом, максимальное ускорение равно $A = 4400\ mm * s{-}2$

На рис.3.46. представлен наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 144\ 11 * s^{-2}}$.

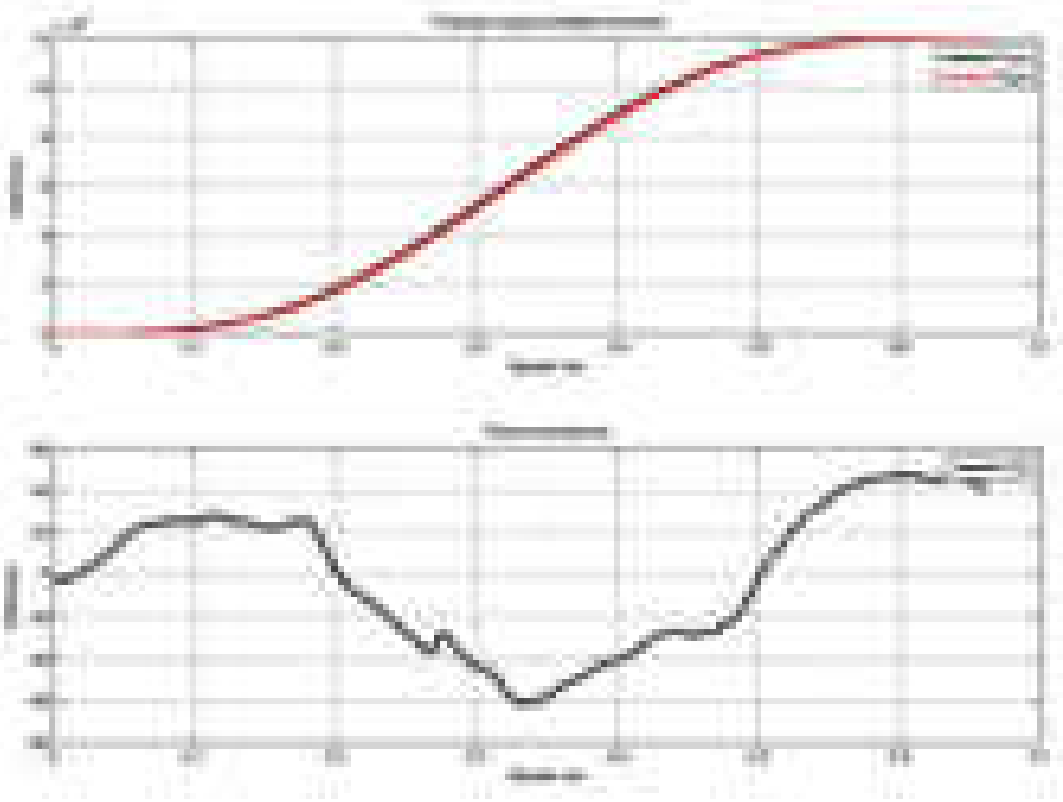


Рис. 3.46. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 144\ 11 * s^{-2}}$

На рис. 3.47. изображен наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$.

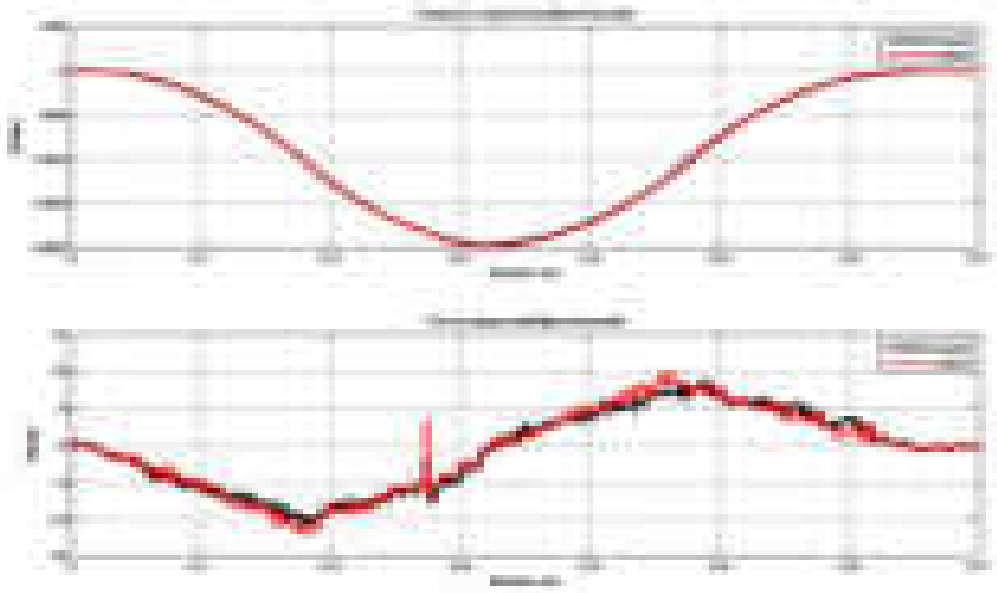


Рис. 3.47. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$

На рис.3.48. показан наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$.

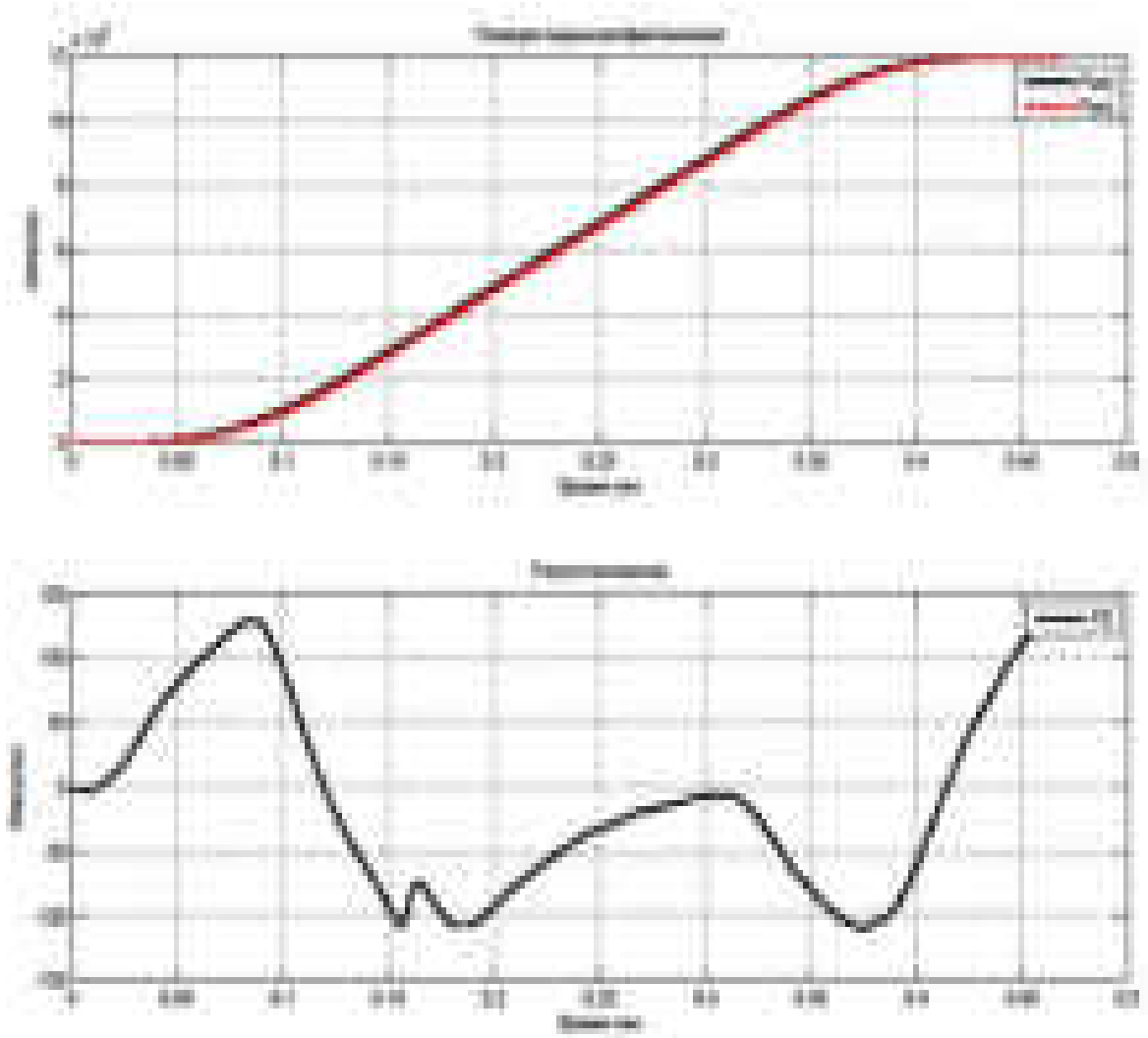


Рис. 3.48. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$

3.5. Наладка мехатронной системы металлорежущих станков

Наладка современных металлорежущих станков с ЧПУ как мехатронной системы является одним из ответственных этапов их эксплуатации. Правильная наладка способствует повышению производительности труда, качества продукции и сохранению долговечности оборудования. Наладка станка с ЧПУ включает в себя подготовку режущего инструмента и технологической оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном положении, пробную обработки первой

детали, внесение корректив в положение инструмента и режим обработки, исправление погрешностей и недочетов в управляющей программе. Важным этапом наладки является базирование и закрепление заготовок. При определении схемы базирования крайне важно знать конструктивные особенности налаживаемого оборудования в частности элементов, обеспечивающих базирование приспособления или заготовки. Для токарных станков с ЧПУ выбор схемы базирования сводится к выбору используемого приспособления для закрепления заготовок (различные зажимные патроны), а также к выбору наладочных элементов выбранного приспособления (к примеру, обычные или сырые кулачки). Важно заметить, что для станков сверлильно-фрезерно-расточной группы возможны различные схемы базирования:

- непосредственно на столе станка с ЧПУ;
- в приспособлении, которое установлено на столе станка;
- в приспособлении, установленном на координатной плите;
- непосредственно на координатной плите.

Непосредственно на столе станка устанавливают заготовку, имеющую большие размеры, хорошую опорную поверхность и удобные поверхности для закрепления. Вместе с тем, объём выпуска должен быть сравнительно небольшим, а трудоемкость обработки сравнительно высокой (к примеру, обработка малых партий корпусных деталей на фрезерных и многоцелевых станках при высокой концентрации операций). При этом процент времени, затрачиваемого на установку будет незначительным. В случае если деталь имеет небольшие размеры, отсутствуют удобные поверхности для закрепления, повышается объём выпуска, сокращается концентрация операций и как следствие возникает крайне важность сокращения времени на переустановку заготовок, то целесообразно применять приспособления. При этом приспособление должна быть установлено на столе станка или на координатной плите. Координатная плита позволяет повысить точность установки приспособления и его быстросменность. Существует несколько вариантов расположения приспособлений на станках с ЧПУ.

- Приспособление может занять единственно возможное положение. В этом случае не требуется его выверять. Пример – крепление токарного патрона к шпинделю станка, установка вращающегося центра в пиноль задней бабки.

- Произвольное расположение приспособления вдоль осей координат, допускаемое управляющей программой. Характерно для фрезерных, сверлильных и расточных станков в том случае если обработка ведется с одной стороны. Приспособление должно бать выверено в угловом направлении относительно линейных координат.

- Приспособление должно занять относительно рабочих органов единственно допустимое управляющей программой положение. Примером является наладка станка на обработку детали с нескольких сторон при повороте стола станка. Приспособление должно быть выверено в угловом направлении относительно линейных координат, а также в линейном направлении по отношению к оси поворота.

Для правильной установки приспособления имеют соответствующие базовые элемента (шпонки, пальцы), которые соответствуют базовым элементом стола станка (пазы, центральное отверстие). Совмещая указанные базовые элементы добиваются правильного размещения приспособления в координатах станка. В случае если такие элементы отсутствуют или требуется более точная установка приспособления применяют мерные оправки. При этом мерная оправка закрепляется в шпинделе станка, перемещая стол в нужном направлении добиваются касания оправки базовых элементов приспособления, в случае если это крайне важно используют набор мерных плиток. Важно заметить, что для совмещения оси шпинделя и центра детали применяют оптический или индикаторный центроискатели.

Наладка режущего инструмента на размер

В современном производстве возможно определение положения вершины резца при помощи специальных приборов. Такие приборы имеют подставку, имитирующую присоединительные поверхности станка, подвижную каретку, измерительное устройство (микроскоп, проектор, индикатор). Установив режущий инструмента на подставке, при помощи каретки перемещают его до нужного положения, отслеживая все перемещения на измерительном устройстве. Полученную информацию заносят в автоматическом или ручном режиме в УЧПУ станка. Такие устройства позволяют, кроме того, проверить правильность и точность исполнения режущей части. Сегодня существуют системы, позволяющие автоматически распознавать инструмент. Для этого используются модульные инструментальные блоки, которые

оснащают носителем информации виде электронного чипа. В память инструмента заносят код инструмента, а также различную технологическую информацию, кроме того такой чип может использоваться для записи статистической информации и ходе технологического процесса, что обеспечивает обратную связь между технологической службой и непосредственным исполнением техпроцесса. Система имеет специальные устройства, позволяющие считать эту информацию, предать ее в ЭВМ склада, УЧПУ, технологам. Современные устройства ЧПУ позволяют автоматически осуществлять ''привязку'' инструмента к координатной системе станка. Для этого система должна иметь специальный цикл, а также устройство, позволяющее отследить местоположение режущей кромки инструмента. Оператору достаточно установить инструмент и задать соответствующую команду с пульта оператора. В случае отсутствия указанных систем ''привязка'' инструмента осуществляется оператором методом пробных проточек. Для этого оператору крайне важно в ручном режиме осуществить проточку заготовки на небольшую длину, отвести инструмент, от заготовки не перемещая его по фиксируемой координате. Произвести замер, включить режим привязки инструмента, записать измеренную информацию в УЧПУ. Такую процедуру крайне важно провести по всем координатам.

Режимы работы станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ могут работать в нескольких режимах: автоматический, полуавтоматический, ручной ввод, ручной, режим привязки инструмента. В автоматическом режиме осуществляется отработка управляющей программы безостановочно до одной из вспомогательных команд. В полуавтоматическом режиме осуществляется покадровая отработка управляющей программы. После чего выполнение программы приостанавливается до нажатия клавиши ''Пуск''. В режиме ручного ввода оператор имеет возможность откорректировать управляющую программу или создать новую, а также ввести константы (параметры) станка. В ручном режиме оператор имеет возможность перемещать рабочее органы, задавать технологические команды (пуск-останов шпинделя, включение охлаждения, смена инструмента, установка рабочее подачи), выполнять простейшие переходы (проточить диаметр, подрезать торец). В режиме привязки инструмента вводится информация о фактическом положении

режущего инструмента в системе координат станка, а также вводится коррекция на износ инструмента.

Органы управления. Для работы оператора в ручном режиме предусмотрены следующие органы управления: кнопки включения и отключения шпинделя, зажима-отжима инструмента и шпинделя, смены инструмента, клавиши или манипулятор типа джойстик управления перемещениями рабочих органов вдоль координатных осей на рабочей подаче или ускоренном ходу, штурвал для дискретных перемещений рабочих органов, кнопка возврата рабочих органов в ''Нуль'' станка. Почти на всех станках с ЧПУ имеются корректоры рабочей подачи, а на станках с регулируемым приводом и частоты вращения шпинделя в пределах от 0-120%.

Органы сигнализации. Органы сигнализации можно разделить на три группы: оперативные сигнальные группы, оперативные сигнальные лампы, диагностические сигнальные лампы, устройство цифровой индикации.

Оперативные лампы сигнализируют о готовности к выполнению цикла соответствующими агрегатами: включение станка в сеть, включение выбранного режима и др. В качестве диагностических лам, т.е. свидетельствующих о неисправности или некорректной работе обычно используются те же. Современные УЧПУ немыслимы без дисплея, на который выводится полная информация о местоположении рабочих органов, и протекании технологического процесса. Также на экран монитора может выводится управляющая программа.

Управление точностью. Одним из непременных условий, обеспечивающих получение требуемой точности детали при обработке на станках, работающих в автоматическом цикле, является соответствие фактических размеров, размерам, заданным в управляющей программе. Выполнение этого условия зависит от сохранения положения режущих кромок инструмента и баз станка относительно начала отсчета. Для этого крайне важно компенсировать погрешности статической наладки, развивающиеся в результате изнашивания режущего инструмента и температурных деформаций системы СПИД, а также в результате замены инструмента. Для решения этой задачи используются автоматические системы, обеспечивающие коррекцию точности статической наладки в сходном положении. Коррекция точности статической наладки в исходном положении необходима при переналадке

станка непосредственно перед обработкой первой детали очередной партии. Именно на этом этапе погрешность составляет наибольшее значение. Автоматическую коррекцию наладки можно выполнять также непосредственно в процессе обработки партии деталей, после одного или нескольких циклов обработки. Такая коррекция позволяет уменьшить влияние систематически действующих факторов. Современные станки с ЧПУ имеют специальную систему управления точностью.

Рассмотрим систему автоматической коррекции для токарного станка с ЧПУ. Это устройство фиксирует отклонения вершины режущей кромки инструмента вследствие изнашивания, температурных деформаций или замены пластины. Отклонение положения вершины резца измеряется в двух перпендикулярных направлениях, соответствующих образованию линейных и радиальных размеров детали. Процесс измерения осуществляется по определенной программе системы ЧПУ. По команде системы ЧПУ револьверная головка выводится в определенное положение, при котором резец устанавливается в измерительной позиции. Далее происходит установочное перемещение револьверной головки до касания режущей кромкой измерительного наконечника датчика. Далее револьверная головка возвращается, в измерительную позицию, после чего установочное перемещение осуществляется для другой координаты. На основании результатов измерения производится автоматическая коррекция в блоке ЧПУ, позволяющая компенсировать изменение положения режущей кромки инструмента. Такую коррекцию целесообразно производить непосредственно перед чистовым проходом. Проверка и оценка новой управляющей программы. Весьма ответственным этапом работы является отладка новой УП. Этот этап наладки осуществляет чаще всего наладчик или наладчик совместно с технологом программистом. В ходе отладки УП проверяют ее оптимальность по параметрам производительности, качества обработки, отсутствия вибраций, стойкости инструмента, приемлемого схода стружки. По результатам обработки пробной детали УП редактируют. Наиболее высокий результат редактирования УП должна быть достигнут только с использованием теоретических знаний в области металлообработки, а также творческого подхода.

Работа наладчика станка начинается чаще всего с устранения ошибок, не позволяющих начать процесс обработки. Такие ошибке бывают сведены к минимуму при применении современных способов составления УП, который состоит в использовании средств автоматизированного проектирования CAD и CAM. Чаще всего встречаются следующие ошибки первоначальной редакции:

- нуль программы выбран за пределами рабочей зоны;
- использованы технологические команды невыполняемые станком;
- инструменты при холостых перемещениях и сменах задевают за элементы станка, крепежную оснастку или обрабатываемую деталь.

Наибольшего внимания требует проверка вероятности наличия в программе третьего вида ошибок, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации, поломке дорогостоящего инструмента. Новую программу целесообразно отрабатывать в полуавтоматическом режиме, проверяя каждый кадр программ перед его отработкой. Ситуация, связанная с нежелательными столкновениями инструмента с элементами станка могут возникнуть также при неправильном вводе информации о коррекции инструмента. По этой причине при пробной отработке УП следует также перед началом работы нового инструмента проверять правильность его ''привязки''. При первой отработке УП целесообразно снижать скорость перемещения рабочих органов, пользуясь регулятором подачи. При незапланированном контакте инструмента с заготовкой или другими элементами крайне важно остановить подачу при помощи соответствующего переключателя. При встрече препятствия инструментами во время его смены следует воспользоваться кнопкой аварийного отключения. В целях экономии материала, в случае больших деталей, отработку УП осуществляют с использованием более дешевого и легкообрабатываемого материала.

Для оценки оптимальности УП руководствуются принципами построения технологических процессов на станках с ЧПУ. Основная характерная черта – интеграция обработки, т.е. последовательное выполнение большого числа переходов, выполняемых различными инструментами. При этом характерен последовательный переход от черновой обработке к чистовой. Следующий этап проверки оптимальности УП – оценка правильного выбора режимов резания. При черновой обработке крайне важно достичь максимальной производительности, при этом

критерием выбора режима резания является экономическая стойкость инструмента. При чистовой обработке определяющую роль играют требования точности и шероховатости обработанной поверхности.

В процессе отладки программы крайне важно проверить соответствие заложенных режимов резания возможностям инструмента и станка, надежности закрепления заготовки. Особое внимание следует уделить возникновению вибраций, т.к. вибрации способствуют разрушению инструмента и повышенному износу узлов станка. Погасить вибрацию можно путем изменения скорости резания, подачи или глубины резания. Наиболее часто вибрации возникают при срезании тонких стружек, в связи с этим самый простой прием гашения вибрации – увеличение подачи на оборот. Возникновению вибраций способствует также очень острая кромка, при ее затуплении вибрации могут прекратится самопроизвольно. Надежно гасит вибрации фаска на режущей кромке, притупляющая лезвие инструмента. Фаску выполняют на передней поверхности режущей части инструмента под углом -15 º. Фаску можно выполнить при помощи алмазного бруска не снимая инструмент со станка.

При токарной обработке и сверлении существенным показателем правильно выбранных режимов резания является характер схода стружки. Сливная стружка представляет угрозу для инструмента т.к. не удаляется самостоятельно из зоны резания. Наилучшей по всем показателям является дробленая стружка. Решить проблему дробления стружки можно тремя способами:

- изменением движения рабочих органов;
- приданием передней поверхности инструмента соответствующей формы;
- режимами резания.

Изменение движения рабочих органов приводит к усложнению УП, а также к увеличению времени обработки. Наиболее перспективным является применение специальной заточки инструмента или применение инструмента с СМП с заложенными функциями стружкодробления. Также дробления стружки можно достичь увеличивая подачу и (или) снижая скорость резания. В ряде случаев, к примеру, при программировании сложного контура детали целесообразно выполнить прорисовку движения режущего инструмента при помощи программных средств.

При наладке станка с ЧПУ выбирают материал для пробной обработки и определяют режимы резания в следующей последовательности:

1. Устанавливают глубину резания (t) с учётом припуска и точности обработки.

2. Выбирают режущий инструмент, устанавливают его тип, размер, материал и геометрию заточки в зависимости от:

· вида обрабатываемых поверхностей;

· характера обработки;

· материала режущей части инструмента.

3. Выбирают рекомендуемую подачу (по справочнику) с учётом метода обработки, глубины резания, мощности станка, материала заготовки и режущей части инструмента, прочности инструмента, точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Рекомендуемую подачу необходимо уточнить по паспорту станка.

4. Выбирают период стойкости режущего инструмента в зависимости от типа и размера инструмента, характеристики заготовки и условий работы.

5. Рассчитывают по формулам скорость резания, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$V = F (C_v, T, t, S, D, B, Z, K_v), \quad (3.3)$$

где C_v – коэффициент на скорость резания, учитывающий материал заготовки и режущей части инструмента; T – период стойкости инструмента, t – глубина резания; S – подача; D – диаметр инструмента; B – ширина фрезерования; Z – число зубьев фрезы; K_v – поправочный коэффициент на скорость.

При другом методе скорость резания выбирают по таблицам:

6. Определяют частоту вращения либо заготовки, либо инструмента и сравнивают с имеющейся на станке:

$$n = 1000V/\pi d. \quad (3.4)$$

3. Определив расчётную частоту вращения, принимают действительную частоту вращения по паспорту станка, ближайшее к расчётному:

$$n_{ст} \approx n. \quad (3.5)$$

4. Рассчитывают фактическую скорость резания, соответствующую частоте вращения шпинделя станка:

$$V_ф = \pi\ d\ n_{ст}/1000. \quad (3.6)$$

5. Определяют составляющие силы резания, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$P_{zyx} = F(C_p, t, S, V, K_p). \quad (3.7)$$

6. Определяют крутящий момент, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$M_{кр} = F(C_м, t, S, V, K_м). \quad (3.8)$$

7. Определяют мощность процесса резания (в киловаттах):

$$N = P_z \cdot V/1020 \cdot 60. \quad (3.9)$$

8. Сравнивают рассчитанную мощность процесса резания с мощностью станка. Если мощность станка меньше (недостаточна), то либо изменяют режимы резания, либо выбирают станок большей мощности.

3.6. Наладка мехатронной системы лазерного технологического комплекса

Особенности наладки лазерного технологического комплекса рассмотрим на примере автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В, вид которого представлен на рис.1.11, а технические характеристики на листе 23. Комплекс предназначен для локального лазерного упрочнения путем перемещения пятна лазерного излучения относительно обрабатываемой детали. Значительные величины перемещений лазерного пятна позволяют производить поверхностное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей крупногабаритных дорогостоящих деталей.

Рабочий стол комплекса грузоподъёмностью до 2000 кг обеспечивает свободную установку и базирование спутников-паллет, а комплект системы ЧПУ Sinumerik 840Di позволяет производить управление пятью осями на станке. Конструкция рабочего стола обеспечивает свободную установку и четкое базирование спутников-паллет, приспособлений и устройств с обрабатываемыми деталями, исключая случайное смещение деталей по координатам X, Y и Z и от горизонтального положения.

Конструкция крепления и юстировки зеркал (СТФИ) исключает возможность произвольной разъюстировки. Конструкция технологического поста, его систем, узлов и элементов обеспечивает эксплуатационную надежность с наработкой на отказ не менее 600 часов машинного времени.

Пульт управления технологическим постом является центральным пультом управления лазерным комплексом. САУ принимает и реагирует на следующие сигналы от системы управления лазером:

– числовое значение мощности излучения;

– числовое значение тока вкладки;

– превышение предельной температуры теплонагруженных узлов лазера (превышение – нет превышения).

– готовность лазера (готов – не готов);

– состояние холодильной машины (включена – не включена);

– состояние включенности накачки лазера (включен – выключен);

– аварийное состояние.

САУ обеспечивает вывод на внешний разъем следующих сигналов для СУ лазером:

– требуемое (задаваемое) числовое значение мощности;

– включение (отключение) излучения (накачки) лазера и автоматический переход в рабочий режим с малой выходной мощностью;

– переключение режима установленной мощности и минимальной мощности;

– включение (отключение) холодильной машины.

Работа устройства может осуществляться как в автоматическом, так и в ручном режиме.

Ручной режим предполагает управление системой транспортировки и фокусировки излучения (СТФИ) во всех плоскостях и управление устройствами манипулирования деталями (при необходимости), а также установку параметров лазера оператором непосредственно с пульта управления технологического поста.

Автоматический режим предполагает управление манипулятором луча (СТФИ) и устройствами манипулирования деталями (при необходимости), а также параметрами лазера программным путем.

Исходными данными для работы в автоматическом режиме являются заданная траектория обработки и параметры режима технологического процесса обработки (мощность, скорость обработки, точки включения и отключения излучения и т.д.)

Процесс обработки поверхности в автоматическом режиме (фактическая траектория движения пятна излучения) должен наглядно

отображаться на устройстве вывода информации (дисплее). Комплекс выполнен на современной элементной базе, что позволяет достичь высокой точности, высоких динамических показателей, и обеспечивает надежность и долговечность работы. Скорости быстрых перемещений 30 м/мин и ускорения 5 м/с^2 обеспечивают обработку с минимальным машинно-вспомогательным временем.

Сложность процесса лазерной термообработки и его недостаточная изученность в настоящее время не позволяют создать достаточно точные математические модели технологического процесса, которые учитывали бы все многообразие условий обработки. Поэтому при выборе режимов обработки очень часто руководствуются либо экспериментальными данными, либо используют приближенные закономерности, имеющие простую форму.

Максимальная глубина закаленного слоя – Z получается в том случае, если температура на поверхности обрабатываемого металла достигает температуры плавления -Тпл.

Для каждого материала главным фактором, определяющим глубину закаленного слоя, является *время действия лазерного луча - t.*

Если известна требуемая глубина закаленного слоя (например, из условия допустимого износа детали в процессе эксплуатации или с учетом допустимого числа перешлифовок и т.д.), то требуемое время действия лазерного луча - t определяется по формуле:

$$t = \pi \cdot Z^2 \cdot [\ Тпл/\ (Тпл - Тзак)\ ]^2 / 4 \cdot a, (сек), \quad (3.10)$$

где а - коэффициент температуропроводности материала,см^2/с; Тзак –температура нагрева материала детали под закалку,°С; Тпл -температура плавления материала детали,°С.

Необходимая *эффективная плотность мощности - Qэф* теплового источника определяется из выражения:

$$Qэф = \lambda \cdot Z\ (Тпл - Тзак)/A, (Вт/см^2), \quad (3.11)$$

где λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(см·°С); А– коэффициент поглощения энергии лазерного излучения материалом детали.

Для закалки на требуемую глубину *радиус лазерного луча - r* на детали можно определить по формуле:

$$r = [\ \gamma \cdot A \cdot Po \cdot Z/\ \pi \cdot \lambda \cdot (Тпл - Тзак)]^{½}, (см), (3.12)$$

где γ – коэффициент, учитывающий долю энергии, распространяющейся вглубь обрабатываемого материала по нормали от его поверхности; Ро – мощность лазерного излучения, Вт.Для определения *необходимой скорости луча* используется зависимость:

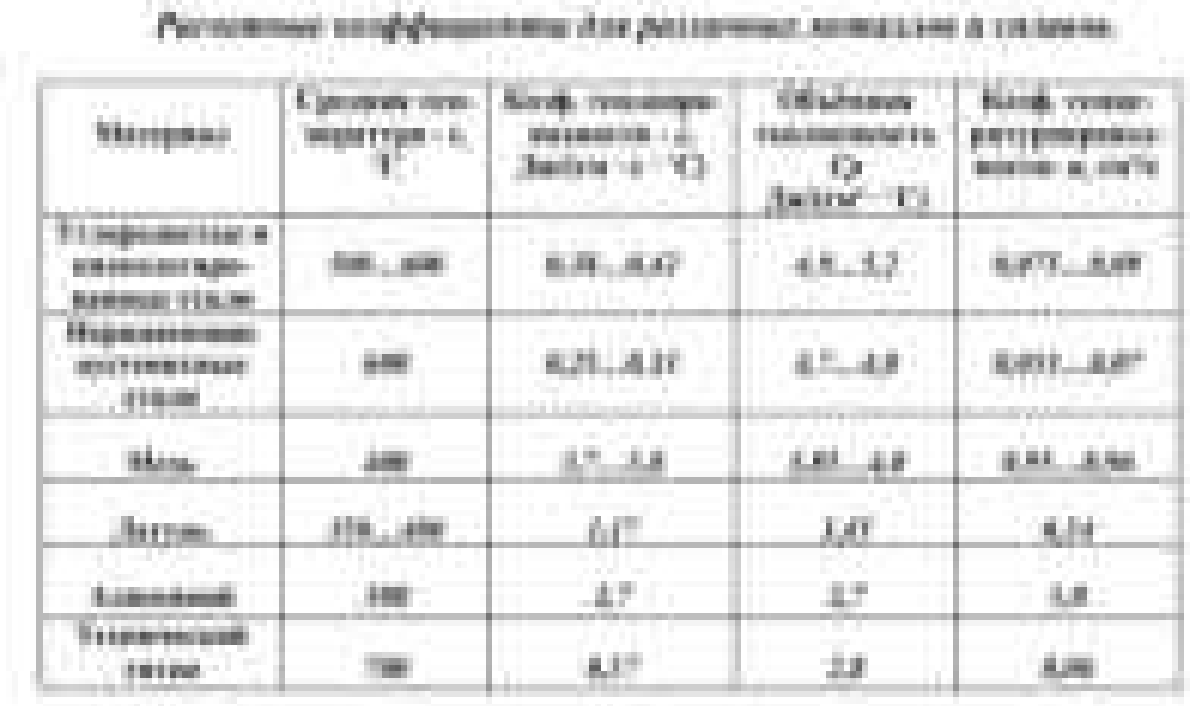
$$Vзак = 2\,r/\,t = [8a\cdot (Tпл - Tзак)^{3/2} / \pi\cdot Tпл^{2}\cdot Z^{3/2}]\cdot$$

$$(\gamma\cdot A\cdot Po/\,\pi\cdot\lambda)^{1/2},\ (см/сек). \qquad (3.13)$$

Получаемые значения режимов термоупрочнения носят ориентировочный характер и требуют дополнительного уточнения в конкретных производственных условиях, на конкретных лазерных комплексах. В таблице 3.1 приведены сведения о теплофизических свойствах материалов, используемые при расчетах режимов лазерного термоупрочнения, а в таблице 3.2 – расчетные коэффициенты.

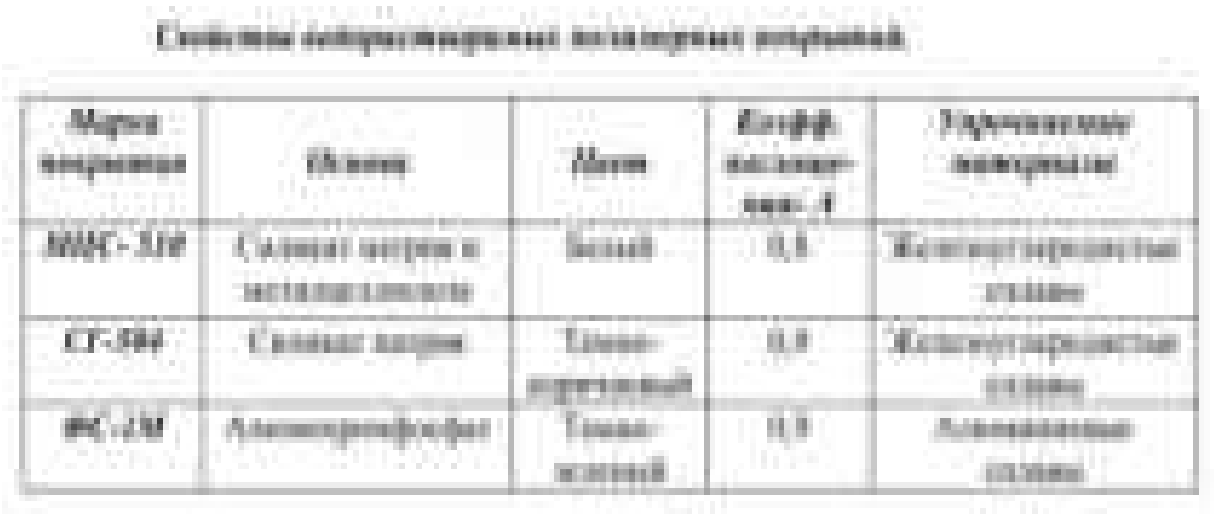
Таблица 3.1

Таблица 3.2



В таблице 3.3 представлены типовые материалы, используемые для назначения теплопоглощающих покрытий.

Таблица 3.3



В таблице 3.4 представлены режимы термического упрочнения без оплавления некоторых сталей, полученные эмпирически на многоканальном CO_2 лазере.

Таблица 3.4

Режимы термического упрочнения

Сталь	Режим	Твердость, HRC	Глубина, мм
40Х	Р3500 V15 D15	60-62	1.1
50ХН	Р3500 V15 D15	55-58	1
38ХН3МФА	Р3000 V12,5 D15	54-56	1.5
ОХН3М	Р3500 V12,5 D15	50-52	1.4
ШХ15	Р3000 V20 D12	60-64	1.4
18ХГТ	Р3500 V14 D12	40-44	1.3

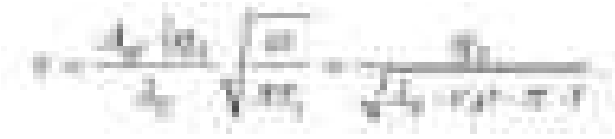
Методика выбора режимов лазерного термического упрочнения, приведенная в предыдущем разделе, сводится к итерационному поиску необходимых параметров на базе алгебраических уравнений (3.10) - (3.13) с многократной проверкой на образце материала. В то же время, термоупрочнение – высоко динамичный процесс, скорость протекания которого и определяет получаемую структуру поверхностного слоя. Исходя из этого, при назначении режимов следует оценивать динамику процесса.

Закалка предполагает не только нагрев металла выше температуры фазового превращения $T_{зак}$, но и достаточно быстрое охлаждение. Для превращения аустенита в мартенсит скорость охлаждения должна быть больше критической скорости закалки, т. е. такой, при которой весь аустенит переохлаждается до температуры начала мартенситного превращения $T_м$. Степень закалки при различных законах изменения температуры металла от времени можно оценить из термокинетических диаграмм превращения аустенита. Из термокинетической диаграммы для данного металла можно найти исключающие распад аустенита значения времени охлаждения в диапазоне от температуры фазового перехода $T_{зак}$ до значений температуры T_i наиболее быстрого распада аустенита. Найденное таким образом время является максимальным временем воздействия лазерного теплового источника, при котором возможна полная самозакалка металла. Большую роль в процессах охлаждения играют форма и масса обрабатываемой детали. Известно, что кинетика превращений переохлажденного аустенита зависит от большого числа разнообразных факторов. Небольшие изменения состава металла, условий выплавки, разливки, раскисления, теплофизических констант, условий нагрева при закалке и т. п. существенно влияют на кинетику его превращения, поэтому диаграммы распада аустенита рассматриваются как ориентировочные. Указанные причины приводят к тому, что оценить используемые в приведенных расчетах значения времени охлаждения и соответственно необходимые для получения максимальной глубины закалки режимы можно только ориентировочно. Скорости нагрева и охлаждения металла определяются следующими уравнениями:

- скорость нагрева по времени и глубине z

(3.14)

- скорость нагрева на поверхности (z=0)



(3.15)

- скорость охлаждения по времени

(3.16)

Учитывая приближенный характер приведенных зависимостей, выбор параметров термоупрочнения целесообразно выполнять путем параллельных натурного и «машинного» экспериментов.

На рис.3.49 приведен алгоритм выполнения параллельных натурного и «машинного» экспериментов, который может использоваться при наладке комплекса. Для проведения экспериментов необходим датчик измерения температуры нагрева при воздействии лазерного луча на материал и программный продукт моделирования этого воздействия.

В качестве датчика температуры может быть использован оптический инфракрасный пирометр. Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем преобразовании измеренного значения в температуру. Для выполнения поставленной задачи можно использовать пирометр фирмы Optris модель Optris CT 1M/2M. ИК термометры Optris CT 1M/2M - двухкомпонентные стационарные пирометры с электронным блоком, имеющим многофункциональный дисплей, кнопки для программирования и управления, предназначены для высокотемпературных измерений и применяются для измерений в спектральном диапазоне 1,0 мкм / 1,6. Миниатюрные размеры датчика (диаметр 14 мм, длина 28 мм) позволяют установку в труднодоступных местах. Работа при температуре окружающей среды до 125°C без охлаждения.

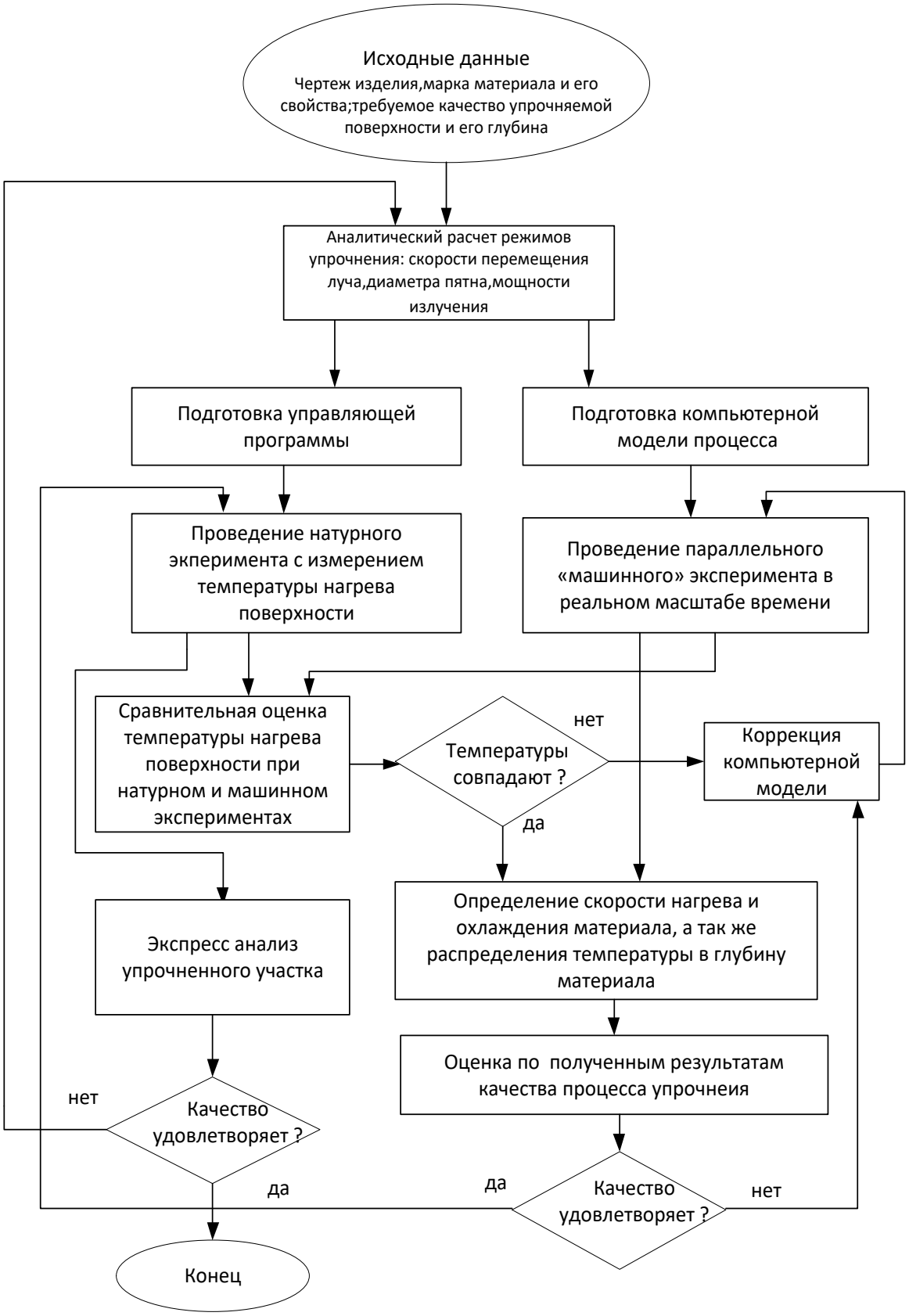


Рис. 3.49. Алгоритм выполнения параллельных натурного и «машинного» экспериментов

В соответствии с алгоритмом на рис. 3.49 и на основании исходных данных по выражениям (3.14) –(3.16) определяются приближенные режимы упрочнения. После этого разрабатываются управляющая программа для комплекса и программа компьютерного моделирования. При подготовке программы моделирования следует отобразить геометрические параметры и массу упрочняемого изделия, используя метод конечных элементов. Проводятся параллельные натурный и «машинный» (симуляция) эксперименты. На рис.3.50 представлена матрица температур нагрева поверхности стали 40Х.

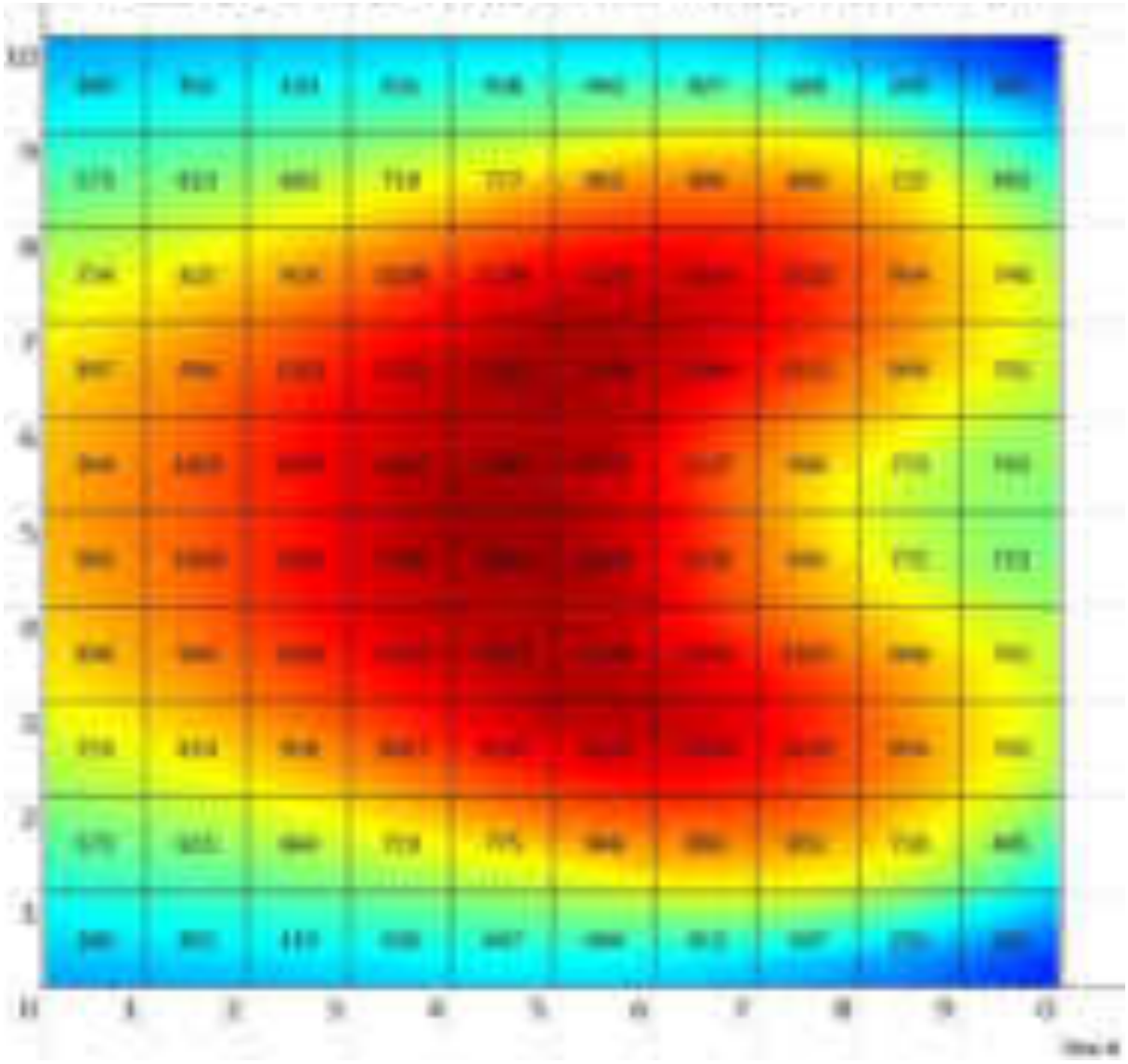


Рис. 3.50. Матрица температур модели нагрева поверхности изделия из стали 40Х

По модели оцениваются тепловые процессы в глубину материала. На рис.3.51 приведена свернутая 3х-мерная матрица температур нагрева указанного выше материала до глубины 4 мм в процессе движения пятна излучения. По этой матрице строятся графики изменения температуры во времени, вид которых до глубины 2мм представлен на рис. 3.52.

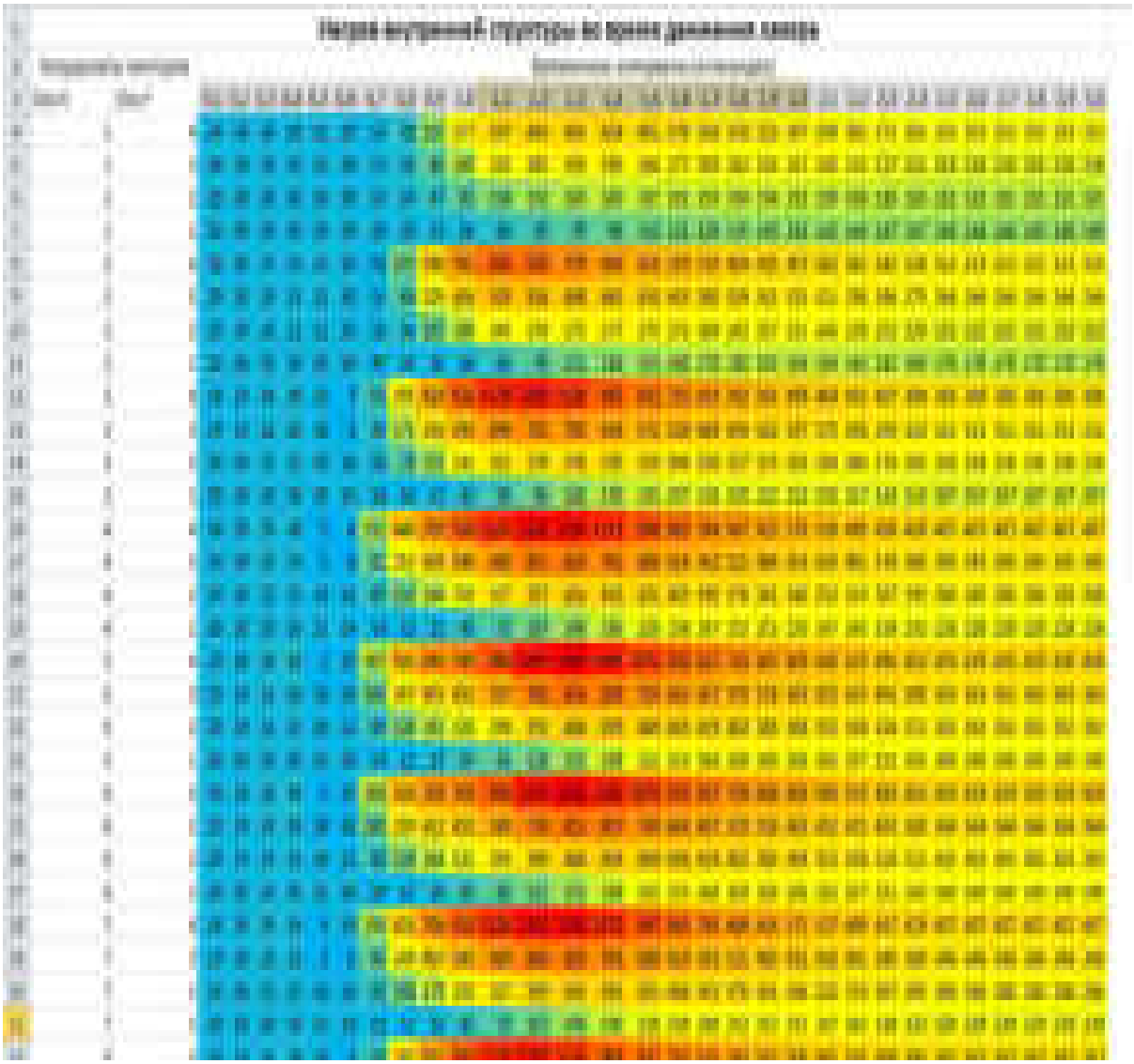


Рис. 3.51. Свернутая 3х-мерная матрица температур нагрева
в глубину материала

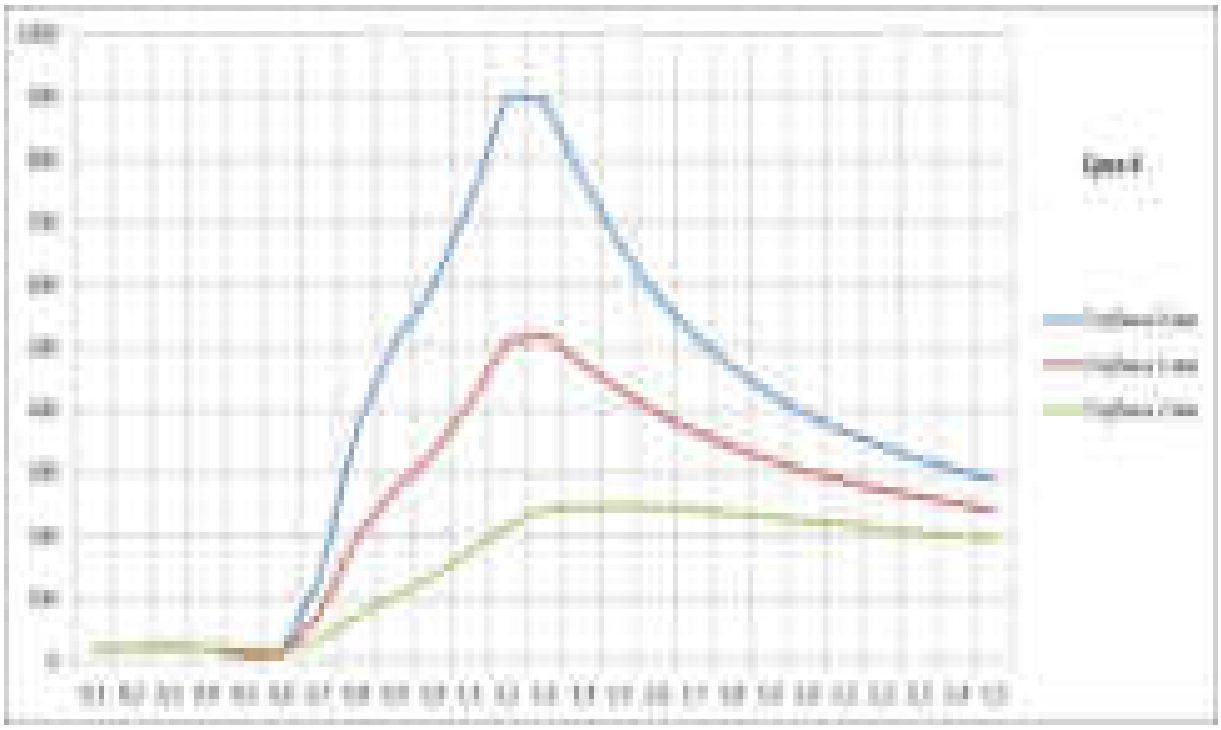


Рис. 3.52. Графики изменения температуры до глубины 2мм

По графикам рис.3.52 не сложно установить средние скорости нагрева и охлаждения материала в глубине и оценить его структурные преобразования. При получении неудовлетворительного результата корректируются режимы упрочнения (скорость движения луча и мощность излучения). Скорректированные параметры режимов вводятся в программу для ЧПУ и проводится натурный эксперимент.

Процесс подготовки программ обработки деталей на лазерном технологическом комплексе обычно включает следующие основные действия:

- оценка возможности проведения лазерной термической обработки на конкретной детали с учётом её формы и материалов, из которых она изготовлена;

- выбор режима лазерной термической обработки с учётом опыта, полученного при обработке изделий схожей формы и материала или опираясь на вновь проведённый эксперимент на отладочном изделии;

- измерение и описание геометрии обрабатываемой детали (при отсутствии ее модели);

- разработка плана обработки детали на лазерном технологическом комплексе;

- разработка управляющей программы лазерного термоупрочнения для лазерного технологического комплекса;

- компиляция программы либо набор с пульта в систему управления.

Ручное программирование возможно использовать при обработке сравнительно простых по конфигурации деталей, когда трудоемкость подготовки программ вручную соизмерима с трудоемкостью подготовки исходных данных для расчетов на ЭВМ. Для автоматизированного программирования с использованием ЭВМ систему автоматизированной подготовки управляющих программ упрочнения изделий лазерный технологический комплекс необходимо оснастить датчиком-измерителем, способным предоставлять для ЭВМ данные, необходимые для составления геометрической матрицы поверхности объекта с требуемой точностью измерения, программой-процессором и программой-постпроцессором для преобразования геометрической матрицы поверхности объекта в его 3-D модель, а так же программный код, воспринимаемым УЧПУ лазерного технологического комплекса. В качестве измерителя предлагается использовать лазерный датчик-дальномер семейства бинокулярных триангуляционных лазерных датчиков серии ЛД2, которые способны работать в режиме в режиме 3-D сканера для построения геометрической матрицы поверхности детали.

Бинокулярные триангуляционные датчики серии ЛД2 поставляются с программным обеспечением для ЭВМ/ПК, которое способно не только строить геометрическую матрицу поверхности сканируемого объекта, но и преобразовывать её для последующей обработки постпроцессором в 3-D модель.

Предлагается процесс подготовки программы в режиме обучения выполнять с следующей последовательности:

1. Сканирование объекта.

2. Составление геометрической матрицы поверхности сканируемого объекта.

3. Построение 3-D модели детали на основе геометрической матрицы поверхности сканируемого объекта.

4. Выбор на 3-D модели поверхностей или участков поверхностей, подлежащих термоупрочнению с использованием ПК.

5. Генерация постпроцессором программного кода.

6. Сохранение созданной управляющей программы упрочнения обрабатываемой детали в памяти УЧПУ и/или ПК.

Задание режимов обработки (требуемой мощности и скорости движения).

Алгоритм работы лазерного технологического комплекса, оснащенного бинокулярным триангуляционным лазерным датчиком ЛД2 в режиме обучения по осям X и Y приведен на рис.3.53.

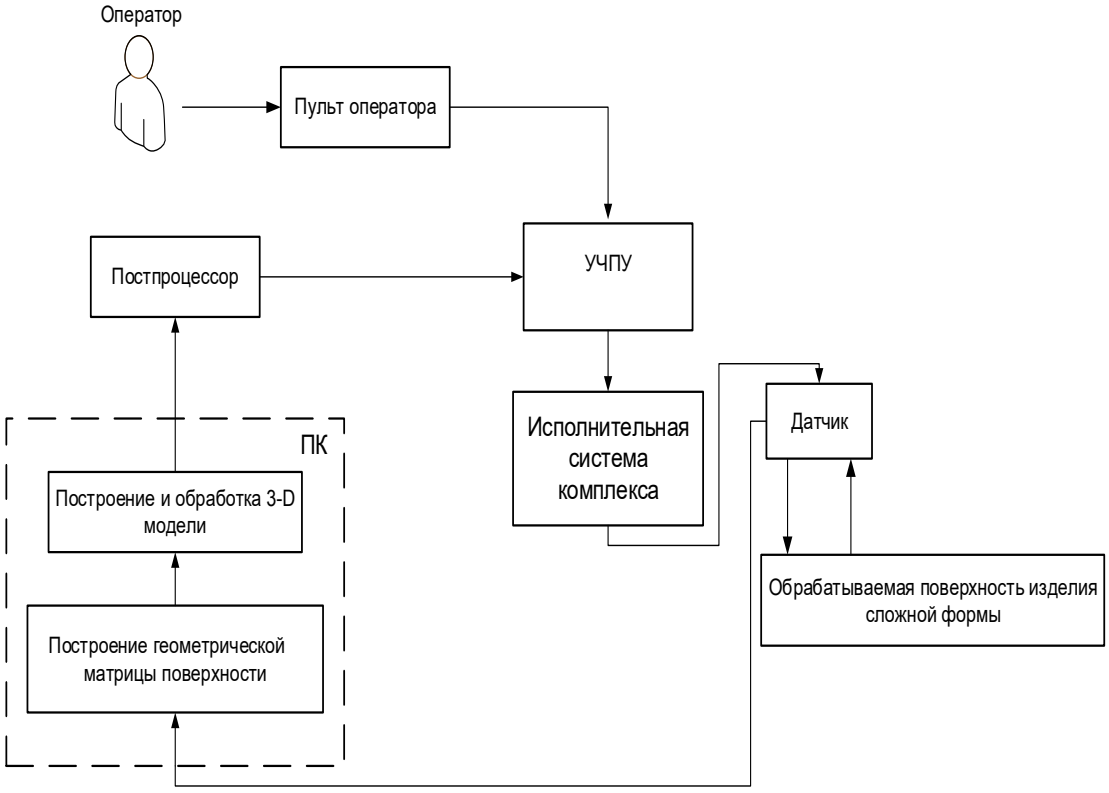


Рис. 3.53. Алгоритм работы лазерного технологического комплекса в режиме обучения

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется контрольная наладка мехатронных и робототехнических систем?

2. Как осуществляется выборка зазоров в подшипниковых узлах?

3. Как осуществляется выборка зазоров в зубчатых передачах и механизмах?

4. Как осуществляется выборка зазоров в передачах винт – гайка?

5. Какова последовательность наладки пневмогидрооборудования?

6. Какие работы нужно выполнить перед пуском пневмопривода?

7. Какие работы нужно выполнить перед пуском гидропривода?

8. Как производится настройка давления в пневмо и гидро системах?

9. Как производится наладка гидрораспределителей?

10. Как производится наладка пневмораспределителей?

11. Как производится наладка пневмо и гидро клапанов?

12. Порядок действий при недостаточном усилии на штоке пневмо или гидро цилиндра.

13. Назовите общие методы сокращения времени наладки и выявления неисправностей.

14. В чем заключаются особенности метода обратной последовательности?

15. Какие приборы используются при наладке электрооборудования?

16. Как регулируют выдержку времени в реле времени?

17. Как выполняется контрольная наладка системы управления промышленного робота?

18. Как выполняется наладка робота по тестовой программе?

19. Как выполняется наладка микропроцессорных систем управления?

20. Как выполняется наладка информационных систем?

21. Как выполняется наладка информационных систем восприятия внешней среды?

22. Как выполняется проверка правильности настройки системы светозащиты?

23. Какова роль моделирования в наладке системы программного управления робототехнического устройства или мехатронной системы?

24. Задача настройки электроприводов робототехнического устройства или мехатронной системы.

25. Что настраивается в электроприводах робототехнического устройства или мехатронной системы?

26. Приведите типовую структурную схему регулируемого электропривода.

27. Как производится настройка привода по его модели с использованием пакета Matlab?

28. Приведите порядок практической настройки регулируемого электропривода.

29. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора тока в электроприводе?

30. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора скорости в электроприводе?

31. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора положения в электроприводе?

32. Назовите последовательность галадки мехатронной системы металлорежущего станка.

33. Как производится наладка режущего инструмента в станке по размеру?

34. Назовите режимы работы станков с ЧПУ.

35. Как производится управление точностью металлорежущего станка?

36. Как производится исправление программы ошибок при наладке металлорежущего станка с ЧПУ?

37. Как назначаются режимы резания для металлорежущего станка?

38.Назовите режимы работы лазерного технологического комплекса.

39. Какие параметры задаются при наладке лазерного технологического комплекса?

40. Роль выполнения параллельных натурного и «машинного» экспериментов при наладке лазерного технологического комплекса.

41. Каково содержание процесса подготовки программ обработки деталей на лазерном технологическом комплексе?

42. Охарактеризуйте процесс подготовки управляющей программы для лазерного технологического комплекса в режиме обучения.

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

4.1. Виды и общие требования к испытаниям промышленных и мобильных роботов

При проведении испытаний промышленных роботов (ПР) следует рассматривать их как машины широкого назначения, отличительными признаками которых являются:

- способность к переналадке для выполнения действий, отличающихся последовательностью, скоростью, величиной и точностью перемещений исполнительных органов;
- способность к взаимодействию с объектами внешней среды, в том числе способность сохранения динамических параметров процесса манипулирования при изменении свойств (например, массы) перемещаемых объектов; адаптация к изменению окружающей среды и т. п.;
- особенности динамики исполнительных органов, являющихся пространственными механизмами со многими степенями подвижности и незамкнутой кинематической цепью;
- небольшая жесткость исполнительных устройств в сравнении с обслуживаемым оборудованием и напряженные динамические режимы работы (скорости до 1,5 м/с при относительно небольших перемещениях, интенсивные разгоны и торможения).
- соответствие функциональных возможностей ПР и его систем технологическому назначению робота, который может относиться к группе производственных, подъемно-транспортных или универсальных ПР;
- соответствие требований техники безопасности предполагаемой области применения.

При проведении любых видов испытаний следует предусматривать проверки, отражающие все перечисленные особенности ПР.

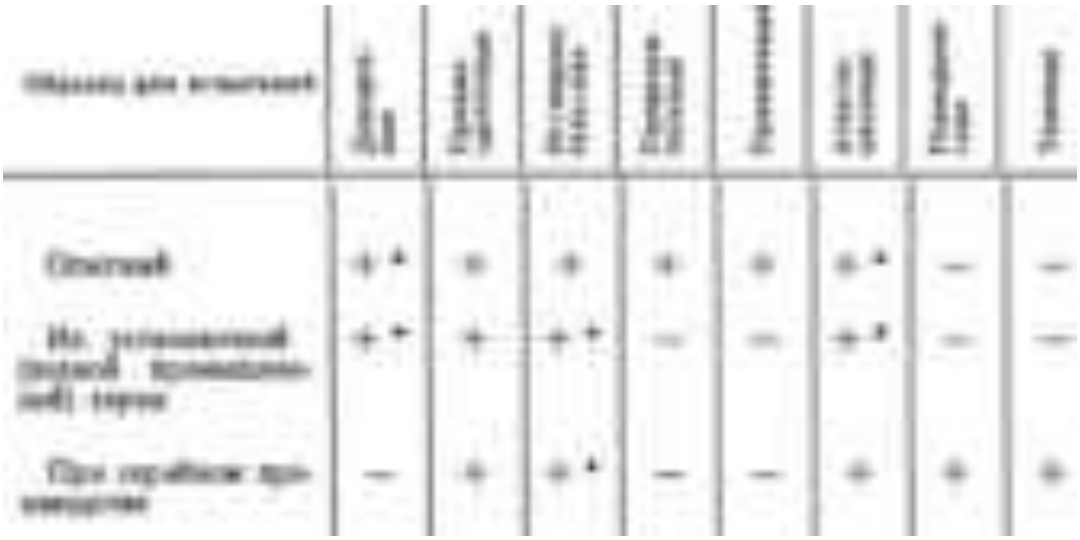
ПР могут подвергаться всем видам испытаний, регламентированных ГОСТ 16504-81.

Вид испытаний обусловливает совокупность определяемых показателей ПР и осуществляемых проверок, метод их определения и проведения, а также необходимые измерительные средства.

Классификация и определение видов технического контроля и испытаний ПР принимаются в соответствии с ГОСТ 16504-81. В зависимости от этапа разработки и стадии освоения производства ПР должны подвергаться различным видам испытаний (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Виды испытаний ПР



Общие требования к испытаниям ПР

Требования к условиям проведения испытаний. На месте проведения испытаний должны быть исключены резкие колебания температуры, шум, вибрации, помехи, наличие вредных газов, паров и т. п., превышающие нормативные значения и затрудняющие проведение испытаний или влияющие на их результаты. Испытания ПР следует проводить при нормальных значениях факторов внешней среды по ГОСТ 15150-69. Для ПР, рассчитанных на работу в условиях высоких температур, запыленности, загазованности и влажности окружающей среды, испытания следует проводить в эксплуатационных условиях или в климатической камере, обеспечивающей имитацию перечисленных условий. Порядок проведения испытаний регламентируется п. 4 и 5 ГОСТ 15.001-73. При этом приемочные испытания проводят, как правило, на заводе-изготовителе опытного образца ПР. В необходимых случаях испытания проводят в эксплуатационных условиях на заводе-потребителе. По согласованию с заинтересованными организациями и предприятиями допускается проводить приемочные испытания и в других

местах. Место проведения исследовательских и типовых испытаний определяется разработчиком или организацией (предприятием), которые проводят данные испытания.

Требования к испытуемым образцам ПР и их количество устанавливаются согласно ОСТ 2 Н02-3-76.

ПР должны передаваться для испытания в пригодном для эксплуатации состоянии, с полным комплектом принадлежностей, перечень которых оговорен в сопроводительной документации на ПР или изготовление которых предусмотрено техническим заданием (для приемочных испытаний, в том числе с комплектом принадлежностей, поставляемых за отдельную плату). Испытуемые образцы должны быть отрегулированы в соответствии с руководством по эксплуатации до той степени, которая исключала бы возможность изменения их свойств во время испытаний. Требование неизменности свойств образцов во время испытаний не распространяется на испытания на надежность. При одновременном испытании нескольких образцов их установка должна исключать взаимное влияние друг на друга, а также влияние на средства измерения. При проведении приемочных испытаний для проверки исполнения технологических команд, а также с целью контроля всех предусмотренных устройств, обеспечивающих технику безопасности и безаварийную работу, вспомогательные (подъемно-транспортные) ПР должны испытываться с технологическим и вспомогательным оборудованием или со специальными стендами, имитирующими работу оборудования. Технологические (производственные) ПР должны быть оснащены всеми необходимыми устройствами для осуществления технологического процесса (сварки, окраски, сборки и т. д.).

Требования к подготовке ПР к испытаниям. Для проведения испытаний ПР должен быть установлен в помещении, обеспечивающем его нормальную работу. Установка должна производиться в соответствии с требованиями, изложенными в руководстве по эксплуатации. Испытуемый образец должен быть заполнен эксплуатационными жидкостями и подсоединен к источникам энергии. На месте проведения испытаний должно быть обеспечено выполнение правил техники безопасности. Участок для проведения испытаний должен быть огражден, а в проходе установлены предупредительные надписи, запрещающие вход на участок посторонним лицам. На полу красной полосой шири-

ной не менее *100 мм* должна быть отмечена граница рабочего пространства ПР (если указанное пространство не ограничено другими средствами). В рабочем пространстве не должны находиться посторонние лица, предметы и оборудование, препятствующие или ограничивающие движения ПР. Оборудование и приборы, применяемые при испытаниях, должны быть заземлены. Должно быть обеспечено удобство визуального контроля за ПР, а обслуживание и наладка ПР должны производиться только лицами, прошедшими обучение и инструктаж по технике безопасности.

При работе в автоматическом режиме у пульта управления должен находиться оператор. При первых же признаках неполадок и сбоев ПР должен быть немедленно выключен; повторное включение допускается после выявления причин неисправностей и их устранения.

Требования к средствам измерений. Средства измерения, применяемые для проверок и исследований ПР, должны быть аттестованы в установленном порядке и иметь соответствующий паспорт. При установлении результатов измерения должны вноситься поправки, учитывающие погрешность примененных средств измерений в соответствии с паспортными данными. Жесткость оправок, стоек и державок должна быть такой, чтобы деформации их под действием измерительного усилия и веса измерительного прибора были пренебрежимо малы по сравнению с. допуском на проверяемый параметр. Средства измерения, применяемые для проверки точностных свойств ПР, должны соответствовать общим требованиям, изложенным в ГОСТ 8-82. Проверки, выполняемые при приемочных испытаниях, следует осуществлять, по возможности, простейшими измерительными средствами. В качестве регистрирующей аппаратуры рекомендуется использовать аналоговые регистраторы промышленного типа, а также измерительно-вычислительные системы и комплексы. При выборе датчиков рекомендуется принимать уровень максимально допустимой погрешности измерений не более *1-6 %.*

Оформление результатов испытаний. Результаты приемочных испытаний оформляют актом и протоколом приемки по формам, приведенным в ОСТ 2 Н02-3-76. Оценку результатов испытаний производят в соответствии с требованиями, приводимыми в методиках испытаний конкретных моделей ПР. В разделах протокола приводят только основные результаты испытаний. Таблицы, графики, схемы и т. п.

оформляют в виде приложений к протоколу. Протокол должен содержать перечень неполадок и неисправностей, выявленных в процессе испытаний. Результаты исследовательских испытаний оформляют в виде отчетов, утверждаемых руководством организации или предприятия, проводившего испытание. Результаты аттестационных испытаний оформляют в виде документов по формам, приведенным в инструкциях о пордке аттестации продукции предприятий соответствующих отраслей. Результаты периодических испытаний оформляют протоколом по форме, приведенной в ГОСТ 15.001-73. Результаты типовых испытаний оформляют протоколом, утверждаемым руководством предприятия-изготовителя.

Требования к проведению отдельных видов испытаний. Предварительные, приемочные и аттестационные испытания проводят по единым программам и методикам.Приемо-сдаточные испытания проводят по программе, представляющей собой выборку из программы приемочных испытаний. *Объем приемочных испытаний* должен быть минимальным, но достаточным для получения результатов, позволяющих оценить технико-экономический уровень ПР и сделать вывод о его пригодности к серийному производству. Приемочные испытания следует проводить при наиболее неблагоприятном сочетании определяемых параметров, допускаемом технической документацией (максимальные скорости и вылеты исполнительных устройств, номинальная грузоподъемность и т. д.). Основными этапами приемочных испытаний являются проверка соответствия состава и комплектности опытного образца документации и соответствия показателей ПР требованиям стандартов, техническим условиям и руководству по эксплуатации; испытание на холостом ходу; испытание под нагрузкой; проверка соответствия опытного образца нормам точности; проверка качества изготовления базовых деталей, качества сборочно-монтажных работ и внешней отделки; испытание всех принадлежностей и приспособлений; сравнительные испытания на производительность.

Особое внимание следует обращать на действие блокировок и устройств, обеспечивающих безопасную и безаварийную работу, в том числе невозможность присутствия человека в зоне работы ПР; надежность захватывания и удержания объекта манипулирования, в том числе при внезапном отключении источника энергии; правильность взаимодействия ПР с технологическим оборудованием; ограничение

максимальных перемещений исполнительного устройства. Проверку осуществляют не менее чем пятикратным включением блокировок. Грузоподъемность проверяют путем переноса в автоматическом режиме на наибольших скоростях заготовок номинальной массы. Число циклов - не менее 10. Цикл работы должен включать максимальные перемещения по всем координатам при наиболее неблагоприятном сочетании переносных движений. Визуально контролируются возможность осуществления всех движений, отсутствие выпадания и проскальзывания заготовок, отсутствие поломок и неисправностей исполнительного устройства. Средние и максимальные скорости перемещений поверяют при работе в автоматическом режиме путем фиксирования:

• при определении средних скоростей- времени двойного хода (вперед-назад, вверх-вниз, по часовой стрелке - против часовой стрелки) при максимальных перемещениях с заготовкой номинальной массы без выдержек времени в конце ходов. Число двойных ходов по каждой степени подвижности - не менее пяти;

• при определении максимальных скоростей - времени перемещения на отрезке пути после окончания разгона и перед началом торможения.

Исходя из замеренного времени перемещений рассчитывают средние максимальные скорости.

Погрешность позиционирования проверяют одним из следующих методов:

• путем установки вала, удерживаемого захватом, в неподвижную втулку с горизонтальной или вертикальной осью. Разность диаметров вала и втулки должна соответствовать паспортной погрешности позиционирования. На валу и втулке не допускается наличие фасок;

• определением погрешности позиционирования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с помощью индикаторов часового типа, установленных в точках позиционирования. Погрешность позиционирования в каждой из плоскостей, определяемая по разности показаний индикаторов, не должна превосходить паспортного значения. По обоим из указанных методов погрешность позиционирования должна определяться для одной из точек рабочего пространства. Координаты точки указываются в методиках испытаний конкретных ПР. Проверка осуществляется в автоматическом цикле с заготовкой номинальной массы при наибольших паспортных скоростях. Программа должна

включать движение по всем координатам и остановку в конце цикла на время, необходимое для снятия показаний (для второго метода).

Проверки норм точности следует выполнять после испытания на холостом ходу и в работе в соответствии с внутризаводскими приемо-сдаточными нормами. При указанных проверках отклонения от прямолинейности при осуществлении движений измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В зависимости от исследуемых показателей программа *исследовательских испытаний ПР* включает: статические испытания, динамические испытания, испытания на надежность, прочие испытания (по усмотрению разработчика). При проведении испытаний на надежность исследуют свойства ПР, предусмотренные ГОСТ 27.002-83 (безотказность, долговечность, ремонтопригодность и др.). *Периодические испытания* проводят с целью сравнения качества серийных образцов, выпущенных в разное время. Периодическим испытаниям подвергают образцы, выдержавшие приемо-сдаточные испытания. Периодические испытания выполняют по программе приемочных испытаний, изложенной выше. Рекомендуемая периодичность испытаний - не реже одного раза в 2-3 года. *Аттестационные испытания* должны, как правило, совпадать с проведением ближайших по сроку периодических испытаний. *Типовые испытания* проводят с целью оценки эффективности изменений, внесенных в серийные образцы. Их проводят по программам и методикам, разработанным в соответствии с требованиями приемочных и исследовательских испытаний в объеме, необходимом для проверки функциональной работоспособности измененной составной части ПР и оценки влияния этой части на работу ПР в целом. Типовые испытания не проводят, если внесенные изменения не меняют функциональной работоспособности ПР (например, изменение конструкции крышки, замена комплектующего изделия на равноценное и т. п.). Общие правила приемки и методы испытаний ПР регламентируются ГОСТ 26053-84.

Испытания мобильных роботов для работы в экстремальных условиях проводятся по проходимости и постоянству скорости перемещения в соответствии ГОСТ Р60.6.3.9 – 2019.

Наземные роботы для работы в экстремальных условиях должны обеспечивать проходимость рельефа местности с разными видами препятствий. Требования по проходимости включают преодоление тре-

щин, барьеров, лестниц, уклонов, перемещение по разным видам поверхностей полов и почвы, а также по ограниченным проходам. Кроме того, к дополнительным требованиям к проходимости роботов относят способность двигаться с максимальной поддерживаемой скоростью и возможность буксировки. Стандартные методы испытаний необходимы для оценки соответствия этим требованиям испытуемых роботов. Испытательный комплект по проходимости обеспечивает количественную оценку рабочих характеристик наземных мобильных роботов, действующих в экстремальных условиях. Заказчики испытаний могут применять весь испытательный комплект или его часть, основываясь на своих технических требованиях. Результаты испытаний должны в совокупности представлять общую оценку проходимости наземного робота для работы в экстремальных условиях. Эти данные могут быть использованы при выборе роботов или при проведении приемочных испытаний роботов, предназначенных для работы в экстремальных условиях. Заданием для данного метода испытаний, состоящего в передвижении мобильного робота с максимальной поддерживаемой скоростью по ровной поверхности с твердым покрытием, является перемещение робота из исходной позиции по заданному маршруту обратно на исходную позицию, обеспечивая при этом возможность последовательного повторения испытательных попыток. По умолчанию маршрут должен иметь форму восьмерки вокруг двух стоек. Робот должен постоянно следовать вдоль заданной линии маршрута, поддерживая постоянно некоторую часть мобильного шасси на этой линии. Выполнение данного задания характеризует способность робота перемещаться по поверхности данного типа с поддерживаемой скоростью. Требуемое число успешных попыток выполнения задания в зависимости от общего числа попыток определяют на основании заданных заказчиком испытаний статистической надежности и доверительной вероятности данной способности робота. Полученная в результате испытаний средняя расчетная скорость считается скоростью, которую способен поддерживать данный робот. Для испытаний робота должно быть использовано телеуправление из указанного руководителем рабочего места оператора с помощью операторского пульта управления. Рабочее место оператора должно быть расположено и оборудовано так, чтобы изолировать оператора от прямого визуального и звукового контакта с испытательным оборудованием и роботом. Оператор

может провести тренировку до начала испытаний. Он также может отказаться от проведения испытаний до их начала. В ходе испытания не должно быть общения между оператором и руководителем испытаний, кроме команды начать испытание и сообщений о неисправностях робота или нарушении мер безопасности. Оператор несет полную ответственность за определение того, завершил ли робот и когда завершил очередную попытку, и за уведомление об этом руководителя. Решение о выполнении очередной попытки принимает только руководитель испытаний. Показателем для данного метода испытаний является полнота отработки заданного маршрута, успешно преодоленного за заданное число последовательных попыток. Кроме того, затраченное время на успешное перемещение по маршруту или расчетная скорость в метрах в минуту является показателем эффективности робота, простоты использования операторского пульта управления и уровня мастерства оператора. Поэтому данный временной аспект является вторым показателем, и его значение должно быть зафиксировано в протоколе испытаний. Средняя расчетная скорость, полученная в результате испытаний, принимается за скорость, которую способен поддерживать данный робот.

4.2. Определение технических характеристик ПР при испытаниях

К основным характеристикам, исследуемым при испытаниях ПР, относятся: грузоподъемность, быстродействие, быстроходность, зона обслуживания, погрешность позиционирования или воспроизведения заданной траектории, инерционные нагрузки. Первые пять из них являются взаимозаменяемыми, что учтено при построении методики. В частности, грузоподъемность робота, которая характеризуется максимальной массой груза, перемещаемого захватным устройством, существенно зависит от заданных точности позиционирования и быстроходности, а также от вылета руки, т.е. геометрии.

Грузоподъемность определяется путем измерения установленной в захватном устройстве массы груза при заданной быстроходности и мощности привода, допустимой нагрузке на детали механизмов и обеспечении требуемой точности позиционирования. Зависимость грузоподъемности от быстроходности часто отражается в паспортных

данных путем указания грузоподъемности при нормальной и пониженной скоростях.

Быстродействие робота, характеризуемое временем движения рабочего органа на заданную величину хода, определяется:

1) по измерениям величин скорости, ускорения и малых перемещений в конце хода;

2) по измерениям непосредственно временных интервалов.

В первом случае характерные участки движения, определяемые по измерениям параметра скорости, уточняются по измерениям величин ускорений и малых перемещений. Быстродействие зависит не только от скорости, задаваемой приводом, но и от величины и направления перемещения, грузоподъемности и сил демпфирования. От величины этих параметров зависит время, затрачиваемое на доведение до заданного уровня колебаний в конце хода. Допустимые амплитуды колебаний определяются требованиями технологического процесса (операции), выполняемого роботом, условиями захватывания перемещаемой детали и т.п. Допустимый уровень ускорений руки при захвате объекта ограничивается в случаях перемещения сосудов с жидкостью и при захвате нежестких деталей, когда возникающие инерционные нагрузки могут привести к повреждению зажимаемых деталей, и в других подобных случаях.

Быстроходность является производной характеристикой. Она рассчитывается по быстродействию с учетом заданной величины перемещения. При оценке этой характеристики необходимо определить допустимый диапазон изменения средних скоростей рабочего органа с учетом факторов, влияющих на него в наибольшей степени. На быстроходность и быстродействие наиболее сложное влияние оказывают характер изменения скорости движения и колебание узла после окончания его перемещения. Сокращение общего времени перемещения приводит не только к повышению быстродействия, но и к понижению точности работы робота и возрастанию динамических нагрузок. Для каждой конструкции при испытаниях необходимо находить наилучшее соотношение составляющих времени, позволяющих не допустить динамических перегрузок и снижения точности.

Зона обслуживания робота характеризуется рабочим объемом, который ограничивается траекторией движения между конечными

точками всех возможных поступательных и вращательных перемещений рабочего органа, всех его длин ходов и углов поворота для региональных движений. При экспериментальном определении обслуживаемого пространства ПР вначале производится оценка паспортного значения допустимой длины хода и угла поворота по. всем степеням подвижности. Величины ходов исполнительных механизмов, предусмотренные конструкцией робота, в ряде случаев не могут быть полностью реализованы при некоторых соотношениях грузоподъемности и быстроходности из-за возникновения сильных колебаний руки, препятствующих выполнению заданной операции. В случае не достижения при максимальных вылетах рабочего органа заданной точности позиционирования следует определить, при каком вылете руки (радиусе поворота) и данной нагрузке погрешности снижаются до допустимых. Таким же образом для нескольких значений нагрузок получают данные для расчета действительного объема зоны обслуживания.

Для предупреждения столкновения с периферийным оборудованием при определении зоны обслуживания необходимо оценить и неиспользованную зону, зависящую от конструктивного исполнения ПР. При этом величина отношения объема зоны обслуживания к объему неиспользуемой зоны может служить показателем, который характеризует эффективность применения испытуемой конструкции ПР для данного техпроцесса.

Погрешность позиционирования является одной из основных характеристик ПР, определяющей их точностные свойства. Под погрешностью позиционирования δ_D понимается отклонение действительного положения исполнительного органа ПР X_i от запрограммированного $X_{прог}$ при его многократном двухстороннем позиционировании в различных точках по пути перемещения по каждому из направлений движения. Погрешность позиционирования формируется всем комплексом - механической частью и системой управления ПР и зависит от погрешности блоков и элементов системы управления, погрешности привода, жесткости руки, жесткости и динамических свойств механизмов позиционирования, сил демпфирования и других факторов. Погрешность позиционирования должна определяться в общем случае для различных положений рабочего органа в зоне обслуживания при заданных соотношениях грузоподъемности и быстроходности (с учетом прогиба руки манипулятора), которые изменяются в зависимости от

значений масс объектов манипулирования и перемещений рабочего органа в радиальном направлении.

В связи с тем, что при расчете погрешности позиционирования приходится иметь дело со случайными величинами, меняющими свое значение при каждом испытании, для оценки погрешности позиционирования необходимо использовать методы статистического анализа. При этом величина δ_D определяется следующими статистическими показателями:

а) алгебраической разностью наибольшего и наименьшего (во всем диапазоне перемещений) средних арифметических значений отклонений фактических положений рабочего органа от запрограммированных $x_{прог}$. Этот показатель характеризует накопленное отклонение;

б) значением рассеяния отклонений Dx при многократном подходе рабочего органа к запрограммированному положению (отклонение рабочего органа от заданного положения). Этот показатель характеризует среднее квадратическое отклонение.

Накопленное отклонение представляет собой разницу средних значений действительных позиций рабочего органа, образующуюся при подходе его к заданной координате на оси различных направлений (с правого и левого направлений). Данная величина позволяет определить среднее отклонение рабочего органа, проявляющееся при позиционировании запрограммированного положения.

Среднее квадратическое стандартное отклонение DX характеризует диапазон отклонений координат рабочего органа от средней действительной координаты, возникающей при подходе к запрограммированной заданной координате с правой ($DX_{пр}$) или левой ($DX_{л}$) стороны. Эта величина позволяет установить, в каком диапазоне ожидаются отклонения действительных координат рабочего органа от средней действительной координаты, если заданная координата позиционируется в одном направлении.

При сокращенных испытаниях погрешность позиционирования рассчитывают для одной из точек зоны обслуживания. Выбор метода определения погрешности позиционирования зависит от типа системы управления, которой оснащен ПР. Для ПР с позиционной системой управления погрешность позиционирования оценивается по величине

погрешности, подвода захвата в заданную точку при многократном повторении цикла. Для этого в заданную точку рабочего пространства устанавливается измерительный прибор для определения малых перемещений и снимается серия замеров при подходе руки робота к заданной точке. При измерениях применяются контрольные тела, закрепляемые на фланце захватного устройства или в самом захватном устройстве. Используются контрольные тела, имеющие форму шара, куба, цилиндра, призмы, линейки, и сложные тела, позволяющие более точно определить угловые смещения. Число приборов или датчиков перемещения и зависимости от задач измерений изменяется в пределах 1÷6. Измерения проводятся для движений руки по всем программируемым координатам в нескольких точках рабочего пространства. Для последующей статической обработки целесообразно, чтобы каждая серия измерений включала не менее 10 замеров. Обработка результатов измерений производится статистическими методами в предположении, что случайные отклонения от заданного положения подчиняются закону нормального распределения Гаусса. Замеры производятся в автоматическом режиме работы ПР.

Для ПР с контурной системой управления задача контроля точности отличается большей сложностью и заключается в следующем. В процессе обучения ПР задаваемая вручную пространственная траектория воспроизводится автоматически. Требуется определить отклонения заданной траектории от фактической δ_D, воспроизведенной ПР. Данная величина характеризуется:

а) отклонением действительной средней траектории от запрограммированной заданной (погрешность траектории);

б) колебанием (разбросом) действительной траектории вокруг средней (погрешность перемещения).

Оба эти значения объединяются понятием отклонения заданной траектории от фактической.

Используются различные методы и схемы измерительных устройств для решений этой задачи. При использовании метода контроля точности воспроизведения пространственной кривой, основанного на использовании специальной измерительной головки, головка оснащена двумя индуктивными датчиками малых перемещений и крепится к рабочему органу ПР. Во время обучения измерительная головка перемещается на определенном расстоянии вдоль проверяемой

линии. Это перемещение регистрируется системой управления. При автоматическом воспроизведении траектории производят сравнение (с помощью ЭВМ) фактического и запрограммированного перемещений. С целью упрощения метода на практике проверка осуществляется путем перемещения головки вдоль призматического бруска, расположенного диагонально в пространстве. Рассмотренный метод, требующий специального измерительного стенда, может применяться, как правило, при лабораторных испытаниях ПР.

Для измерения значений отклонения заданной траектории от фактической можно использовать и датчик малых перемещений, который устанавливается в рабочем органе и перемещается по проверяемой пространственной траектории.

Для промышленных роботов, выполняющих технологические операции (например, сварочных ПР), важное значение имеет *обеспечение и оценка устойчивости перемещения* их исполнительных механизмов. Поэтому при испытаниях целесообразно определить степень и характер влияния различных факторов и параметров на неравномерность перемещения исполнительных механизмов ПР.

Оценка неравномерности перемещения исполнительных механизмов ПР, выполняющих технологические операции, в период установившегося движения может проводиться с помощью коэффициента неравномерности K_v или K_w. Значение коэффициента K_v или K_w зависит от конструкции, жесткости, качества изготовления, регулировки, смазки механизма, качества обработки и состояния направляющих, определяющих нелинейность характеристик трения. Поэтому при условии получения достаточного количества экспериментальных данных для их статистической обработки коэффициент K_v или K_w может использоваться в качестве критерия как для сравнения различных вариантов конструкции, так и для выявления дефектов изготовления и регулировки механизмов ПР.

Неравномерность движения исполнительных механизмов ПР может быть оценена также о помощью коэффициента неравномерности ускорения k_v^y или k_w^y.

Для исследования указанных выше характеристик достаточна регистрация скорости, ускорения и малых перемещений руки в конце хода. Эти параметры целесообразно регистрировать одновременно при движении по каждой координате в обоих направлениях (вверх-вниз,

вперед-назад, по часовой стрелке, против часовой стрелки). В этом случае время позиционирования связывается с заданным уровнем колебаний. Испытания проводятся в автоматическом режиме работы ПР.

При сокращенных испытаниях варьируются следующие параметры:

1. Масса груза m. Испытания проводятся на холостом ходу (m = 0) и при значениях массы груза $m = 0{,}5m_{max}$; $m = m_{max}$, где m_{max} - максимальная грузоподъемность ПР.

2. Величины перемещений по каждой степени подвижности;

а) для механизмов линейного позиционирования руки рекомендуются интервалы $0{,}2L_{max}$; $0{,}6L_{max}$; $1{,}0L_{max}$, где L_{max} - максимальный ход;

б) для механизмов углового позиционирования рекомендуются интервалы $0{,}2\Psi_{max}$; $0{,}6\Psi_{max}$; $1{,}0\Psi_{max}$, где Ψ_{max} - максимальный угол поворота.

3. Скорости перемещений и закон движения - для тех ПР, у которых это предусмотрено конструкцией. При этом величины скоростей перемещений по каждой степени подвижности рекомендуется варьировать в следующих интервалах:

а) для механизмов линейного позиционирования от $0{,}5v_{max}$ до $1{,}0v_{max}$, где v_{max} - максимальная линейная скорость;

б) для механизмов углового позиционирования от $0{,}5w_{max}$ до $1{,}0w_{max}$, где w_{max} - максимальная угловая скорость.

Для повышения достоверности результатов обработки каждое измерение целесообразно проводить не менее трех раз.

Значения временных интервалов, характеризующих длительность составляющих цикла и весь процесс в целом, можно определить, измеряя электрические сигналы в цепи управления (например, в соленоидах, реле и др.), причем наиболее просто найти время циклов. Для измерения других временных интервалов (например, времени разгона и торможения) необходимо получить информацию о моментах прохождения исполнительным устройством робота отдельных точек его хода. С этой целью вводят в схему измерения дополнительные первичные преобразователи, но это усложняет испытания и увеличивает их трудоемкость.

Временные интервалы можно получить и путем измерения скорости v (или w) исполнительного устройства робота. В этом случае характерные точки начала и конца отдельных временных интервалов уточняются по ускорениям *a* (или e) и малым перемещениям D в конце хода исполнительного механизма робота, которые регулируются вместе с его скоростью. При этом определяются:

1. Время разгона $t_р$ (как обычно, интервал времени с момента v = 0 до момента v = 0,95 v_{max}, где v_{max} - максимальная скорость движения).

2. Время установившегося движения $t_{уст}$.

3. Время торможения $t_т$ (интервал времени от конца установившегося движения до момента, когда v = 0).

4. Время успокоения колебаний $t_{усп}$. (интервал времени от конца торможения до момента, когда амплитуда колебаний исполнительного устройства робота уменьшится до заданной величины (например, до паспортного значения погрешности позиционирования).

5. Максимальные линейные v_{max} и угловые w_{max} скорости

$$v_{max} = \frac{L}{L_n} \cdot h;\ w_{max} = \frac{\Psi}{\Psi_n} \cdot h$$

где L и Ψ - заданные линейное и угловое перемещение исполнительного устройства робота; L_n и Ψ_n - линейное и угловое перемещения, определяемые путем интегрирования измеряемой скорости движения исполнительного устройства робота; h - максимальная ордината измеряемой скорости.

6. Наибольшие величины ускорений при разгоне $a_р$ и торможении $a_т$.

7. Амплитуда A и период T колебаний рабочего органа по измерениям параметров малых перемещений в конце исполнительного устройства робота.

С помощью параметров, определяемых экспериментально, рассчитываются:

1. Время движения $t_п$ без учета времени колебаний в конце хода

$$t_п = t_р + t_{уст} + t_т.$$

2. Общее время движения $T_п$ с учетом времени колебаний в конце хода

$$T_п = t_п + t_{уст}.$$

3. Средние линейные и угловые скорости без учета ($v_{ср_0}$, $w_{ср_0}$) и с учетом ($v_{ср}$, $w_{ср}$) колебаний в конце хода

$$v_{cp_0} = \frac{L}{t_n}; v_{cp} = \frac{L}{T_n};$$
$$w_{cp_0} = \frac{\Psi}{t_n}; w_{cp} = \frac{\Psi}{T_n}.$$

4. Угловое ускорение для механизмов углового позиционирования

$$\varepsilon_p = \frac{a_p}{R}; \ \varepsilon_T = \frac{a_T}{R}$$

где R - радиус установки линейного датчика ускорения.

5. Инерционные нагрузки по максимальным величинам масс ведомых звеньев M или их моментов инерции j.

$$Рир = Ma_р; Рит = Ma_т; Мир = je_р; Мит = je_т.$$

6. Частота колебаний f по намеренным величинам периода колебаний T

$$f = \frac{1}{T}$$

7. Логарифмический декремент δ затухания колебаний определяется по результатам измерения амплитуд двух последовательных колебаний A_i и A_{i+1}

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$$

(i = 1, 2, ..., n - номер измерения).

На основании полученных данных строятся графики зависимостей между основными характеристиками ПР: $v_{ср} = f(L)$; $v_{ср} = f(m)$ и др.

8. Значения погрешности позиционирования по измерениям величин отклонения рабочего органа от заданного положения:

а) при одностороннем подходе к запрограммированной позиции (см. рис. 1) и нормальном распределении рассеяния можно определить по формулам

$$\delta_\Delta = (\overline{X}_{пр} - X_{прог}) \pm \Delta X_{пр};$$
$$\delta_\Delta = (\overline{X}_{л} - X_{прог}) \pm \Delta X_{л}$$

где $\Delta\overline{X}_{пр} = (\overline{X}_{пр} - X_{прог})$ и $\Delta\overline{X}_{л} = (\overline{X}_{л} - X_{прог})$ - накопленная погрешность при правом и левом подходе рабочего органа к заданной точке:

$$\overline{X}_{пр} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iпр} \text{ и } \overline{X}_{л} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iл}$$

- среднее арифметическое значение действительного положения рабочего органа ПР при многократном одностороннем соответственно правом и левом подходе; m - число измерений; $X_{iпр}$, $X_{iл}$, $X_{прог.}$ - соответственно действительное при правом и левом подходе и запрограммированное положения рабочего органа ПР; $\Delta X_{пр} = \beta S_{пр}$; $\Delta X_{л} = \beta X_{л}$ - границы доверительных интервалов для принятой надежности и числа измерений m при правом и левом подходе рабочего органа:

$$S_{пр} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(X_{iпр} - \overline{X}_{пр})^2}{m-1}};\ S_{л} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(X_{iл} - \overline{X}_{л})^2}{m-1}}$$

- средние квадратические отклонения от средних арифметических значений $\overline{X}_{пр}$ и $\overline{X}_{л}$ при правом и левом подходах; β - соответствующий коэффициент Стьюдента;

б) при подходе к запрограммированной позиции с двух направлений и нормальном распределении рассеяния:

$$\delta_{\Delta} = \left(\overline{X} - X_{прог}\right) \pm \left(X + \frac{\Delta U_x}{2}\right),$$

где $\Delta\overline{X} = (\overline{X} - X_{прог})$ - накопленная погрешность;

$$\overline{X} = \frac{\overline{X}_{пр} - \overline{X}_{л}}{2};\ \overline{X}_{пр} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iпр} \text{ и } \overline{X}_{л} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iл}$$

- средние арифметические отклонения при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны, которые учитывают несовпадение центра рассеивания и заданного в режиме обучения исходного положения.

$X_{iпр}$ и $X_{iл}$ - результаты отдельных замеров в серии при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

m - число измерений в серии;

$\Delta X = \frac{\Delta X_{пр} + X_{л}}{2}$; $\Delta X_{пр} = \pm\beta S_{пр}$ и $\Delta X_{л} = \pm\beta S_{л}$ - границы доверительных интервалов для принятой надежности и числа измерений m, определяемые при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

$S_{пр} = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(X_{iпр} - \overline{X}_{пр})^2}$ и $S_{л} = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(X_{iл} - \overline{X}_{л})^2}$ - средние квадратические отклонения, определяемые при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

β - соответствующий коэффициент Стьюдента; $\Delta U_x = (\overline{X}_{пр} - \overline{X}_{л})$ - зона нечувствительности, имеющая место при реверсе перемещения рабочего органа ПР.

9. Коэффициент неравномерности перемещения K_v или K_w :

$$K_v = 2\frac{v_{max} - v_{min}}{v_{max} + v_{min}} \text{ или } \frac{K_v}{2} = \frac{v_{max} - v_{min}}{v_{max} + v_{min}} 100\%$$

$$K_w = 2\frac{w_{max} - w_{min}}{w_{max} + w_{min}} \text{ или } \frac{K_w}{2} = \frac{w_{max} - w_{min}}{w_{max} + w_{min}} 100\%$$

где v_{max}, v_{min} и w_{max}, w_{min} - соответственно максимальные и минимальные линейные и угловые скорости движения исследуемого механизма ПР.

10. Коэффициент неравномерности ускорения K_a или K_ε:

$$K_a = \frac{a_{ср}}{a_{max}} \text{ или } K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{ср}}{\varepsilon_{max}}$$

где $a_{ср}$, a_{max} и $\varepsilon_{ср}$, ε_{max} - средние и максимальные значения соответственно линейных и угловых ускорений испытуемых механизмов ПР.

Конфигурация робота при проведении испытаний должна быть подробно описана в протоколе испытаний, включая все подсистемы и компоненты с их характеристиками и функциональными возможностями. Конфигурация робота, при необходимости, должна быть проверена всеми методами испытаний, установленными заказчиком испытаний, чтобы обеспечить достоверное и всестороннее определение его рабочих характеристик. При любом изменении конфигурации робота необходимо проведение повторных испытаний.

4.3. Особенности испытаний мехатронных систем

Экспериментальные исследования занимают главенствующее место среди всех способов получения информации о внутренних взаимосвязях в мехатронных системах. Под *экспериментом* принято понимать совокупность действий, осуществляемую посредством материальных средств исследования с целью получения новой информации об изучаемом объекте путем построения информационной модели, характеризующей различные его стороны и проявления. Разновидностью экспериментов являются ***испытания***, проводимые с целью контроля нахождения параметров объекта в допустимых пределах.

Испытания мехатронных систем, ярким представителем которых являются мехатронные модули металлорежущего станка с ЧПУ состоят из следующих этапов: испытания на холостом ходу и проверка паспортных данных; испытания под нагрузкой и в работе; испытания на точность; испытания на жесткость и виброустойчивость. Испытания на холостом ходу и проверку паспортных данных начинают включением минимальной скорости движения. Затем устанавливают другие скорости, включают подачу и ускоренный ход. Проверяют безотказность блокировок, действия системы смазывания, охлаждения, гидра и электрооборудования, уровень шума. При испытаниях под нагрузкой и в работе проверяют наибольшие силы (с кратковременной перегрузкой на 25%), наибольшие мощность и крутящий момент, убеждаются в безотказности действия под нагрузкой всех механизмов и систем, предохранительных устройств и тормозов.

Точность работы мехатронного модуля движения оценивают его погрешностью, т.е. разностью между действительным и расчетным положениями выходного звена. Основными причинами возникновения погрешности ММ являются погрешности системы управления и двигателя, кинематические погрешности, мертвый ход и упругие деформации элементов его преобразователей движения.

Погрешность системы управления и двигателя.

Погрешность системы управления и двигателя.

Погрешность системы управления и двигателя, приближенная к выходному звену преобразователя движения, может быть определена в виде:

$$\Delta q = \frac{\Delta \varphi_{дв}}{u}$$

u - передаточное отношение преобразователя движения; $\Delta\varphi_{дв}$ - погрешность угла поворота двигателя.

Погрешность, вызванная податливостью преобразователя движения.

Звенья преобразователя движения ММ не являются абсолютно жесткими. Под действием нагрузок они деформируются. Это приводит к изменению положения выходного звена, т.е. возникновению погрешности ММ.

$$\Delta q' = e_п Q$$

$e_п$ - приведенная податливость преобразователя движения ММ

$$Q = \begin{cases} F - \text{ сила сопротивления(Н), при линейном перемещении выходного звена} \\ T - \text{момент споротивления(Нм), при угловом перемещении выходного звена} \end{cases}$$

Погрешность мехатронного модуля.

Полную погрешность выходного звена ММ определяют в виде:

$$\Delta = \Delta q + \delta_{\Sigma} + J_{\Sigma} + \Delta q'$$

Δq – погрешность системы управления и двигателя

δ_{Σ} - кинематическая погрешность преобразователя движения

J_{Σ} - мертвый ход преобразователя движения

$\Delta q'$ - погрешность, вызванная податливостью преобразователя движения

Ошибки в мехатронных модулях движения могут быть обусловлены следующими причинами и факторами:

1) причины, связанные со схемой погрешностей, которые появляются при изготовлении механизмов (т. е. при применении схемы);

2) технологические причины, которые по линейным, т. е. геометрическим размерам разделяются на:

а) ошибки размера – отклонения размеров элементов у образца и теоретического прототипа от номинальной величины, а также ошибки между элементами, которые появляются при перемещении узлов, составляющих пару (кинематические пары);

б) ошибки формы у рабочих поверхностей тех же пар;

в) ошибки во взаимном расположении рабочих поверхностей узлов;) отклонения в шероховатости и волнистости от номинальных;

3) ошибки, вызванные силами в самом механизме (это силы деформации, трения, вибрации и прочие, а также воздействие динамических факторов (например, ударно-колебательное движение);

4) ошибки, связанные с нарушением температурного режима эксплуатации механизма, из-за изменения сопротивлений и линейных размеров в узлах.

Также выделяют следующие ошибки:

1) ошибка положения механизмов. Имеется в виду следующее: если взять два механизма, которые должны совершить некоторое согласованное действие, то несмотря на полное соответствие параметров ведущих звеньев, обнаруживается разница; эта разница и есть искомая ошибка. Эти механизмы можно себе представить как механизм действительный и его теоретический прототип, то есть под ошибкой имеется в виду несоответствие образца теоретическому прототипу**;**

2) ошибка перемещения механизмов: речь идет о несоответствии параметров ведомых узлов при тех же параметрах ведущих. Только теперь разница в перемещении, а не в положении ведомых узлов;

3) ошибка положения ведомого звена – имеется в виду та же ошибка, что и в (1), только теперь ее причина в неточности ведущих звеньев, последние часто являются последствиями неправильных вводных данных;

4) ошибка перемещения ведомого звена: то же самое, что и ошибка (2), только теперь причина в ведущих звеньях, но по той же причине, что и в (3);

5) ошибка передаточного отношения (имеется в виду разность между действительным (у образца) и теоретическим передаточными отношениями);

6) ошибка линейного передаточного отношения. Аналогично предыдущей ошибке, речь идет о разности между действительным и теоретическим линейными передаточными отношениями.

Методы определения ошибок мехатронного модуля движения

Аналитический метод – самый общий и распространенный метод обнаружения ошибок. Сопоставляются уравнения движения уже имеющегося механизма и его теоретического прототипа. Цель: получить зависимость, которая выражала бы разность движений ведомых узлов в этих механизмах, в зависимости от движения ведущего звена уже произведенного механизма. При этом значительную роль играет компьютерное моделирование с использованием динамических моделей. В итоге получается функция от ошибок схемы. Значение погрешности получают, разделив линейное перемещение нарушенного ΔS_m ведомого звена на чувствительность измерительного устройства R, и находят ошибку схемы, выраженную в:

$$\Delta S_{m\ изм} = \frac{\Delta S_m}{R}$$

Экспериментальный метод применяют в том случае, когда использование предыдущего метода становится проблематичным из-за ряда причин, например, из-за плохого знания прибора, или же когда в приборах имеются упругие узлы, не позволяющие установить линейную зависимость между искомыми величинами. В случае обнаружения дефектов подвергают исследованию группы одинаковых приборов (механизмов). После определения ряда одинаковых параметров, для которых характерны общие по роду отклонения (для этого каждая единица прибора (механизма) исследуется многократно; в одних и тех же точках, где наблюдались отклонения, определяются средние значения

параметров для каждой единицы) находят среднее значение для всей исследуемой партии. После обработки полученных данных удается определить функцию от ошибки схемы прибора (механизма). Достоинством этого метода является следующее: функцию от ошибок схемы находят, например, методом наименьших квадратов, что значит уменьшение влияния ошибок каждого механизма на общую ошибку для всей группы. Если построить кривую для рядов найденных ошибок, то она будет отражать не только искомые ошибки схемы, но и систематические, которые были допущены при изготовлении или сборке приборов.

При проведении испытаний большое значение имеют условия, при которых производят измерения. Проверку необходимо проводить при температуре +20. °С; колебания температуры не должны превышать ±0,5. Объем испытания определяется соответствующими нормами точности, предусмотренными ГОСТом.

4.4. Методы и средства диагностирования роботов и мехатронных систем

Методы диагностирования мехатронных и робототехнических систем классифицируют по следующим признакам:

- степени информативности;
- видам диагностической информации;
- степени использования технических средств;
- стадиям эксплуатации;
- глубине диагностирования.

По степени информативности выделяют следующие методы:

- метод *временных интервалов,* применяемый для анализа простоев, определения показателей надежности, контроля работы системы управления, получения циклограмм;
- метод *эталонных модулей,* основанный на сравнении экспериментальных данных или рассчитанных значений и показателей качества;
- метод *эталонных зависимостей,* основанный на сравнении измеренных диагностических параметров с эталонными диагностическими параметрами;
- спектральный *метод,* основанный на измерении составляющих сложных вибрационных или акустических сигналов;

• корреляционный *метод,* применяемый для обнаружения отклонений в характере зависимости между диагностическими параметрами (взаимная корреляция) или изменении диагностических параметров во времени (автокорреляция).

По источнику информации выделяют тестовое и функциональное диагностирование.

При тестовом диагностировании на объект подаются тестовые воздействия от средств диагностирования. При функциональном на объект поступают только рабочие воздействия.

Методы диагностирования классифицируются **по типу физических процессов**, происходящих в объекте: механический, электрический, вибрационный, ультразвуковой, ударно-импульсный, тепловой, магнитный, фотометрический и др.

Механический метод заключается в измерении геометрических размеров частей механических объектов. Он используется при определении износа.

Электрический метод заключаются в измерении электрических величин, основан на измерении электрических диагностических параметров: тока, напряжения, сопротивления, мощности.

Вибрационный метод заключается в измерении параметров вибрационных процессов – виброперемещения, виброскорости, виброускорения.

Ультразвуковой метод заключается в измерении отраженных от границ раздела двух сред направленных ультразвуковых колебаний. Он позволяет обнаруживать внутренние дефекты в крупногабаритных объектах с возможностью определения их места и размеров.

Метод ударных импульсов заключается в измерении механических ударных волн, возникающих при соударении твердых тел. Его применяют для определения состояния подшипников качения и смазки.

Тепловой метод заключается в измерении температуры объектов.

Магнитный метод заключается в измерении магнитных полей рассеивания, возникающих над дефектом, и в определении магнитных свойств диагностируемых объектов. Он используется для измерения толщины, для контроля структуры, механических свойств деталей. В

зависимости от способа измерения магнитных полей рассеивания разделяется на магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, магниторезисторный, индукционный.

Фотометрический метод заключается в измерении освещенности. Используется для измерения линейных и угловых люфтов и зазоров в сопряжениях, загрязненности масел.

В настоящее время перспективными направлениями развития методов диагностирования являются приемы искусственного интеллекта, основанные на нечеткой логике, экспертных системах и нейронных сетях. Методы нечеткой логики позволяют значительно упростить описание модели объектов диагностирования, а также являются более простыми для аппаратной реализации. Экспертные системы позволяют принимать решения о состоянии объекта, если оценка состояния или поиска неисправности объекта является трудно формализуемой задачей. Нейронные сети используют для идентификации объектов, распознавания и прогнозирования состояния МС. Преимущества классификатора, построенного на основе нейронных сетей, перед традиционными оценочными методами заключается в следующих факторах: независимость от шумов, самообучаемость, возможность параллельной обработки.

Важным шагом в любом методе диагностирования является построение математической модели, дающей адекватную информацию о функционировании мехатронной и робототехнической системы.

При решении задачи моделирования в робототехнике и мехатронике возможно использование различных прикладных программ, пакетов и библиотек: Maple, Matlab, ProMechanic, AutoCad и других. Достаточно хорошие результаты при моделировании технических систем достигаются с помощью пакета Matlab. Пакет Simulink, входящий в состав системы Matlab, позволяет достаточно оперативно составлять исследуемые модели, изменять их структуру и регистрировать результаты моделирования, не прибегая к сложным программным процедурам. В последние версии пакета Simulink включена библиотека Sim Mechanics second generation, позволяющая выполнять моделирование движения различных механических систем в трехмерном пространстве в векторно-матричном виде, не прибегая к составлению сложных дифференциальных уравнений, а также библиотека Math Operations. Исходя из этого, предлагается использовать пакет Simulink в сочетании с

библиотекой Sim Mechanics second generation и Math Operations. Идеология составления блок - схем в библиотеке Sim Mechanics second generation существенно отличается от идеологии составления функциональных блок-схем библиотеки Simulink. В блок-схеме Sim Mechanics second generation отдельные блоки следует рассматривать как модели, имитирующие механическое движение одной части моделируемого механизма относительно другой. Входы и выходы блока фактически таковыми не являются, а имитируют «посадочное место» соответствующей части механизма. Линии соединения «входов» и «выходов» блоков имитируют жесткие соединения выходной части одного механизма с входной частью другого. Можно утверждать, что это соединение моделирует передачу силового воздействия между частями разных механизмов. Но поскольку в соответствии с третьим законом Ньютона сила действия равна силе противодействия, такую передачу силы нельзя рассматривать как однонаправленное воздействие. Поэтому в блок - схемах на линиях соединений механических блоков нельзя встретить изображений стрелок, указывающих направление воздействия. По той же причине графические изображения «входов» и «выходов» механических блоков имеют вид не стрелок, а квадратов с диагоналями.

«Входы» и «выходы» механических блоков нельзя рассматривать в качестве источников и приёмников, каких бы то ни было сигналов. К их соединительным линиям нельзя подсоединить обычные S-блоки, а потому нельзя и сформировать с помощью последних заданные воздействия или вывести информацию о получаемых в результате движениях механизмов (например, в обзорные окна или непосредственно в среду MATLAB). Но так как любое моделирование механизмов невозможно осуществить без указания нужных исследователю воздействий и без вывода результатов моделирования в среду MATLAB, такая идеология построения блок-схем механизмов требует включения в библиотеку блоков, осуществляющих прямую и обратную связь S-блоков с механическими блоками.

В состав библиотеки входит шесть разделов:

– Body elements (Тела) – содержит блоки, моделирующие твердые тела;

– Joints (Сочленения) – включает блоки имитации механических сочленений, обеспечивающих требуемые степени свободы одной части механизма относительно другой;

– Constraints (Связи) – состоит из блоков имитации ограничений на степени свободы механической системы;

– Frames and Transforms (система координат) – состоит из блоков систем координат;

– Utilities (Утилиты) – включает вспомогательные блоки, которые могут использоваться при создании модели механизма;

– Demos (Демонстрационные программы) – позволяет вызвать на исполнение демонстрационные модели.

При моделировании движения различных механизмов в пакете Sim Mechanics second generation предусмотрены источники сил и моментов сил (блок Extermal Force and Torque), действием которых можно управлять в функции времени или переменных состояния механизма. В то же время исследование движения характерной точки механизма по заданной траектории с использованием указанного блока вызывает значительные затруднения. Исходя из этого, поставим задачу максимального приближения модели исполнительной системы робота к реальному объекту и представим моделируемую систему в виде, изображенном на рис. 4.1.

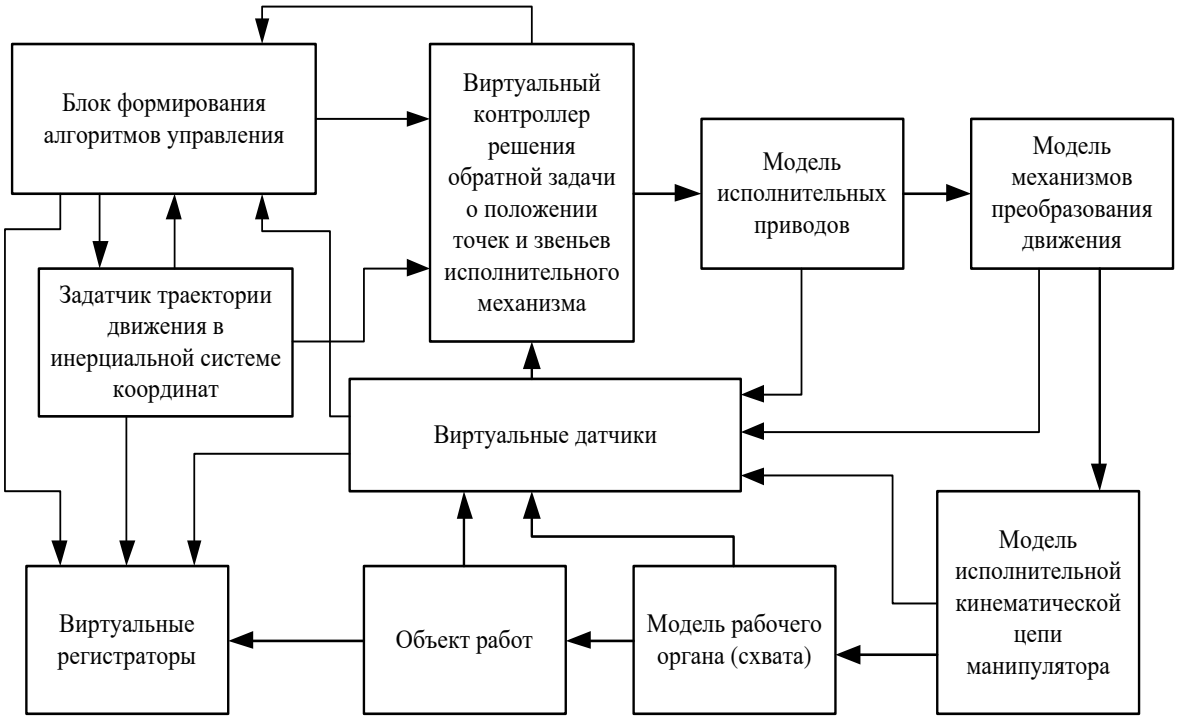


Рис. 4.1. Структурная схема модели исполнительной системы робота

Представленная структура позволит выполнить всесторонний анализ, как исполнительной системы, так и реализации различных алгоритмов управления движением манипуляторов в процессе выполнения рабочих операций. Поскольку на данном этапе выполнения работы многие параметры исполнительной системы выбираются априорно, ограничимся исследованием ее работы при движении по некоторой траектории в процессе перемещения объекта работ с позиции взятия на позицию установки. В качестве примера построения модели используем автономную исполнительную систему манипулятора, кинематическая схема которого приведена на рис.4.2.

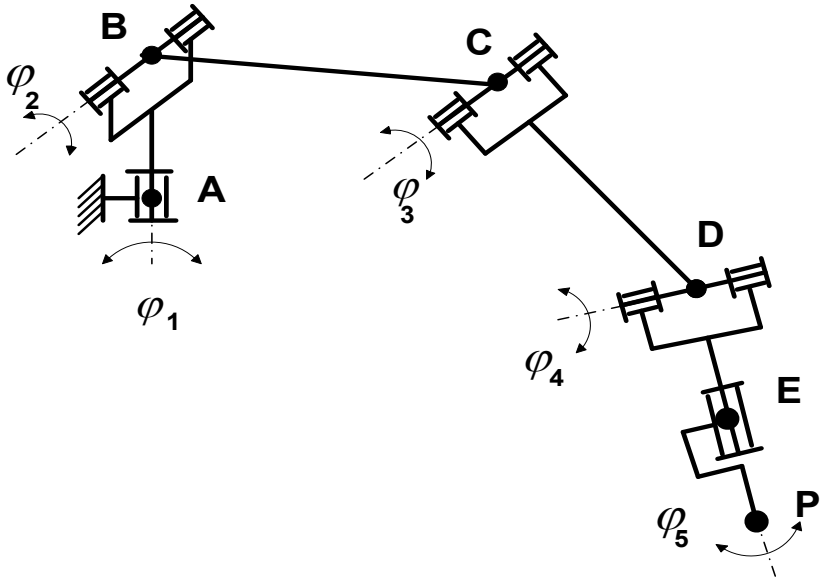


Рис. 4.2. Кинематическая схема манипулятора

При построении модели используем следующие блоки: World Frame, Solver Configuration, Mechanism Configuration, Solid, Revolute, Rigid Transform, Prismatic Joint, Transform Sensor,World Frame, Solver Configuration, Mechanism Configuration, которые являются обязательными при построении модели любого механизма. Они представляют собой неизменные точки основания (земли), неподвижные в абсолютном (инерциальном) пространстве. Движение отдельных частей механизма задаётся или определяется по отношению к системе координат, реализуемой этими блоками. На рис. 4.3. представлен вид подсистемы «Начало координат».

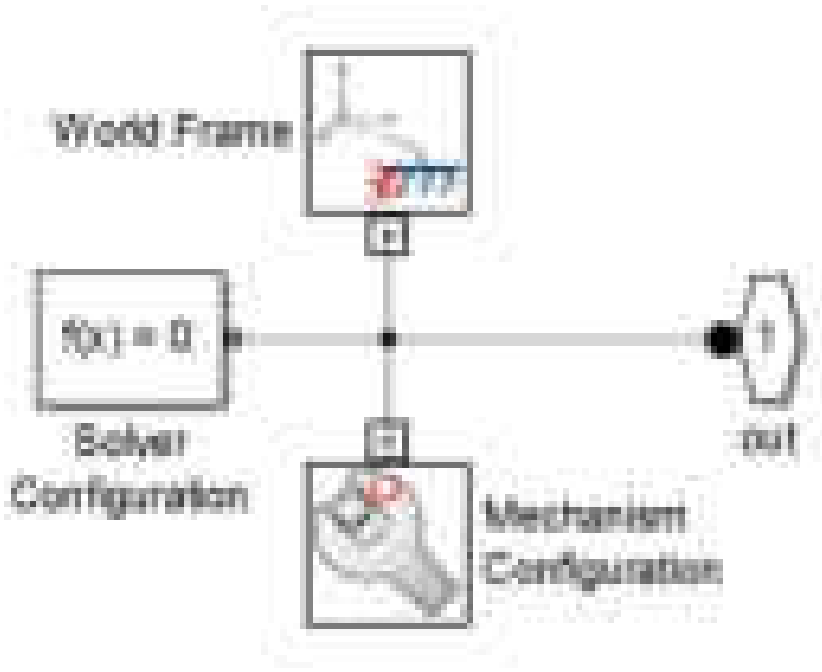


Рис. 4.3. Подсистема «Начало координат»

Блоки Revolute, Prismatic Joint, относящиеся к разделу Joints (сочленения), позволяют обеспечить возможность моделирования относительных движений тел, представленных отдельными блоками Solid, то есть необходимых степеней подвижности. Блок имеет два обязательных порта, с помощью которых он подсоединяется к двум блокам из раздела Body Elements. Порт, отмеченный индексом B (base - основной), предназначен для соединения с блоком Body, представляющим первое (основное) тело, порт с индексом F (follower- следующий) служит для подсоединения к следующему телу в связанной цепи тел, составляющих механизм. Solid - представляет отдельную часть механизма, рассматриваемую как твердое тело, движение которого моделируется. В окне настройки блока задаются масса, инерция, форма, размер и цвет объекта. Модель объекта можно импортировать из другой программы (например, «Компас»).

На рис. 4.4 представлен фрагмент построения модели из выше перечисленных блоков. Построение модели исполнительной кинематической цепи манипулятора производится в пространстве правой инерциальной системы координат XYZ. В состав модели входит 5 звеньев и 5 цилиндрических шарниров, при этом оси шарниров расположены вдоль осей Z относительных систем координат.

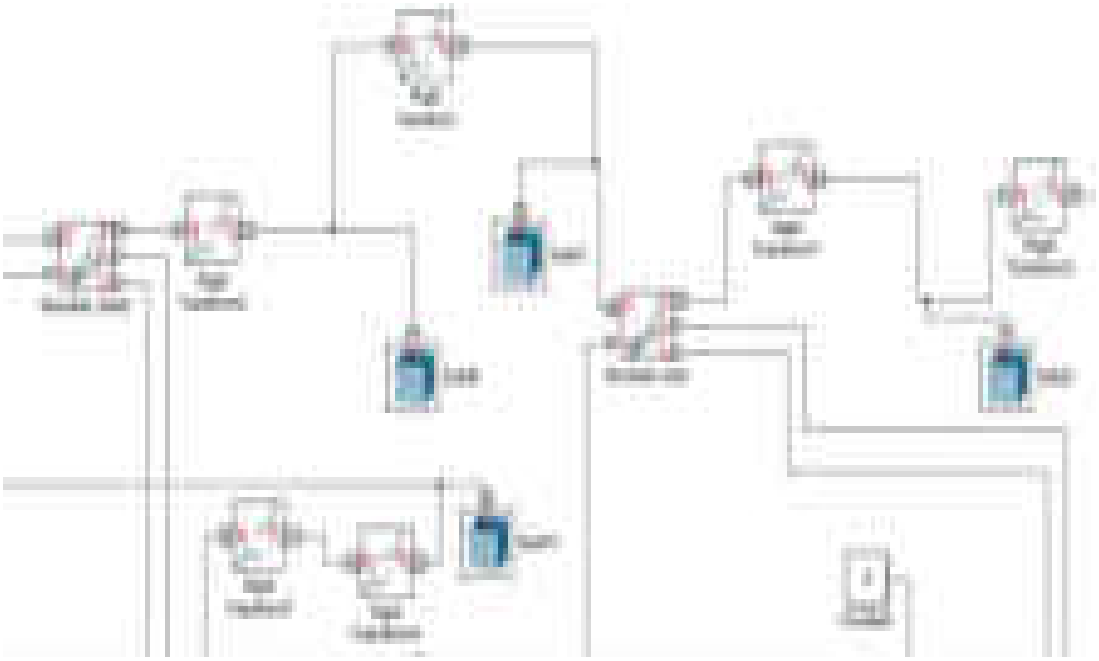


Рис. 4.4. Фрагмент построения модели

Величины масс звеньев примем в соответствии с выражением: $m_i = к \cdot m_г$, где m_i- масса i - го звена, считая от основания; к- коэффициент; $m_г$-грузоподъемность манипулятора. Значения коэффициента к равны 2; 6; 4,5;3 и 2 соответственно. На рис. 4.5 приведена модель обобщенной исполнительной кинематической цепи манипулятора, построенная в соответствии с изложенным выше.

Рис. 4.5. Модель исполнительной кинематической цепи манипулятора

На рис. 4.6 представлена анимация модели обобщенной исполнительной кинематической цепи манипулятора.

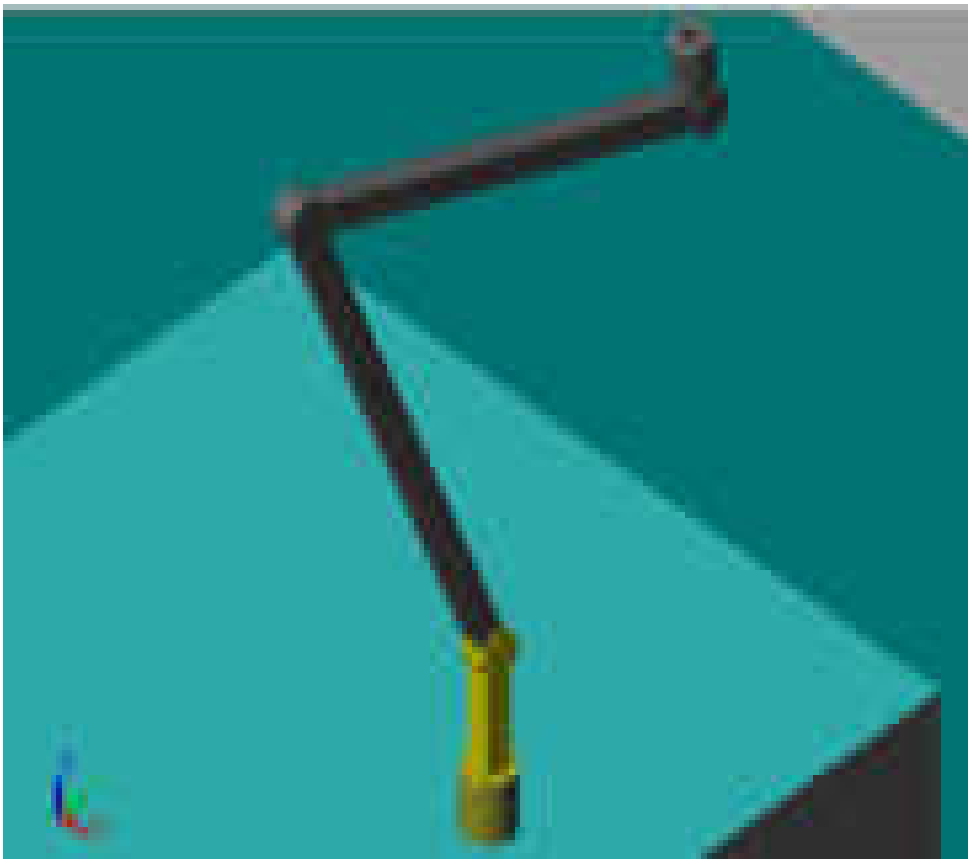


Рис. 4.6. Анимация модели исполнительной кинематической цепи манипулятора

В качестве рабочего органа манипуляторов выберем схват с плоскопараллельным движением губок, схема которого приведена на рис.4.7.

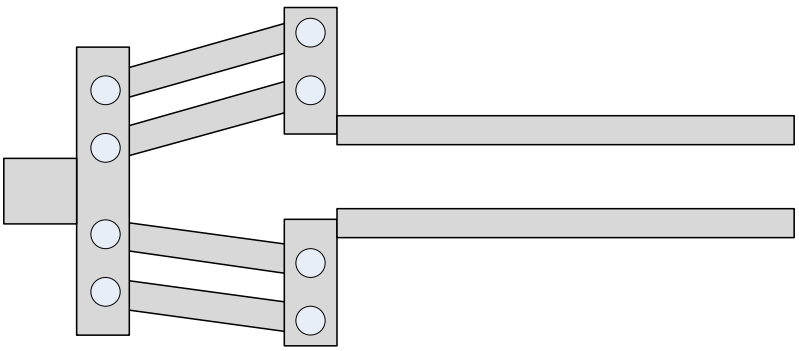


Рис. 4.7. Схема схвата

На рис. 4.8 представлена компьютерная модель механизма схвата, а на рис. 4.9 – ее анимация.

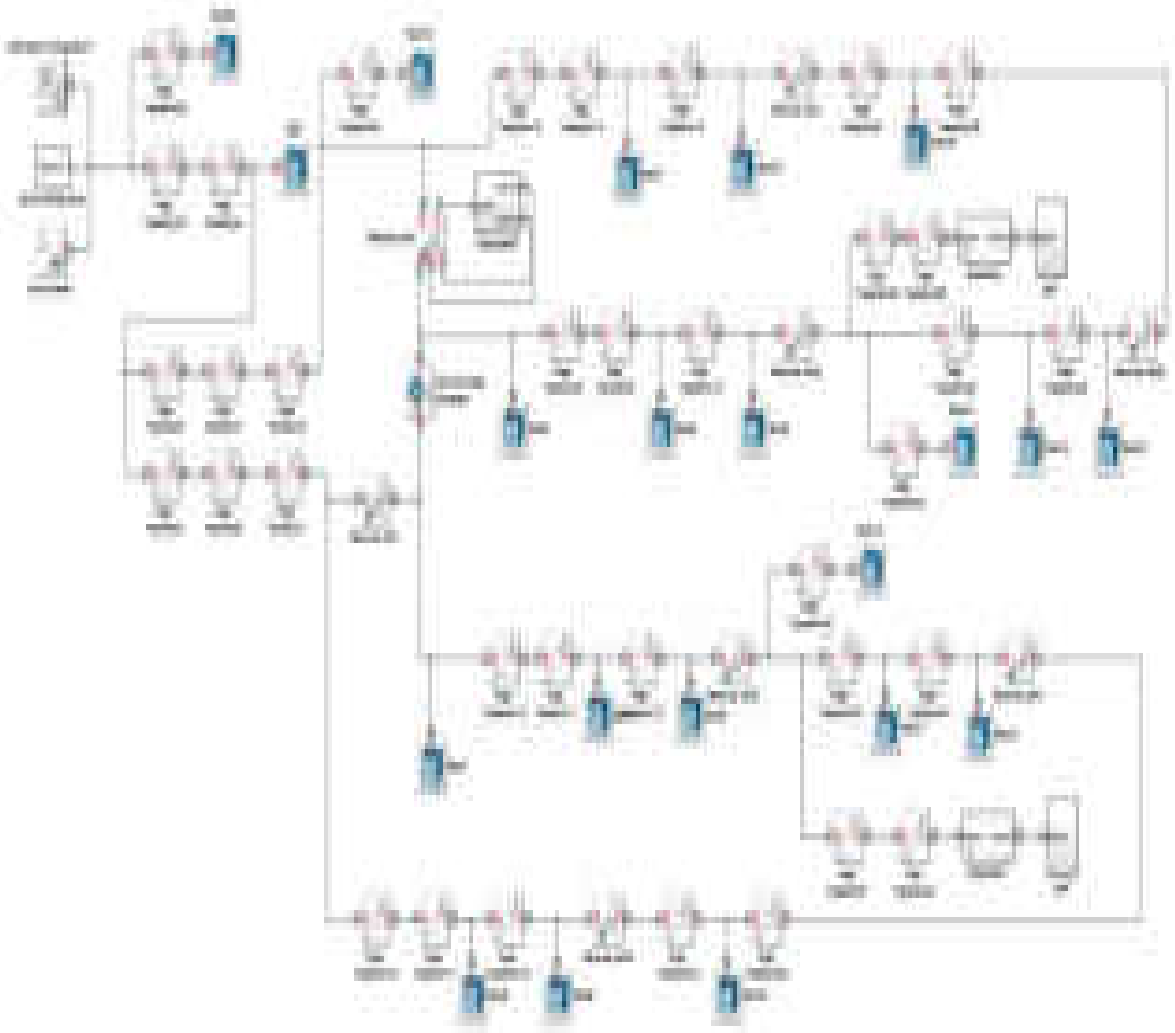


Рис. 4.8. Компьютерная модель механизма схвата

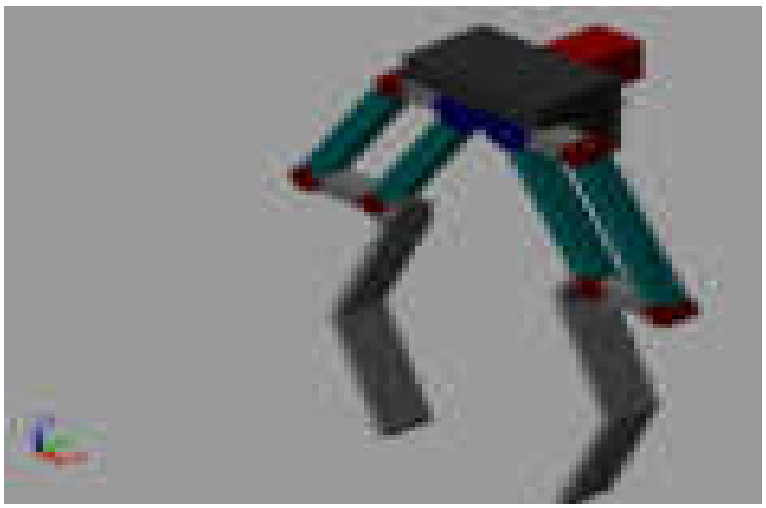


Рис. 4.9. Анимация модели механизма схвата

Процедура диагностирования объекта включает два этапа: проверку его работоспособности и поиск дефекта. Поэтому основной задачей технического диагностирования (ТД) является поддержание работоспособности объекта путем своевременного распознавания отказов и устранения причин их появления. По характеру взаимодействия объекта и технических средств можно выделить два метода ТД:

- функциональное диагностирование;
- тестовое диагностирование.

Первый метод основан на пассивном наблюдении за функционированием объекта и оценке его состояния по диагностическим признакам (например, уровень температуры, шумов или вибрации, величина потребляемой энергии, время выполнения цикла).

Второй метод предусматривает формирование специального воздействия, стимулирующего у объекта ответную реакцию, которая сравнивается с эталонной (активный эксперимент). Роль стимулирующего воздействия выполняют ступенчатые, импульсные, гармонические и другие сигналы.

В качестве диагностических показателей используются параметры динамических звеньев, коэффициенты уравнений, обобщенные параметры.

Типовой алгоритм системы поддержания работоспособности объекта (СПРО) имеет вид:

- сбор информации;
- оценка информации и выявление отклонений показателей от нормы;
- определение причины отклонения:
- принятие решения и выработка корректирующего воздействия (КВ);
- ввод КВ в систему с целью ликвидации отклонения.

Первые два этапа – операции контроля, третий – диагностирование.

Эксплуатируемый объект (система) подвержен как внезапным (случайным), так и постепенным (износ, старение) отказам. Если состояние объекта характеризовать обобщенным выходным параметром Пр, то в случае внезапного отказа $П_Р$ принимает лишь два значения: Пр = Пн (норма) или Пр = Пот (отказ) (рис. 4.10).

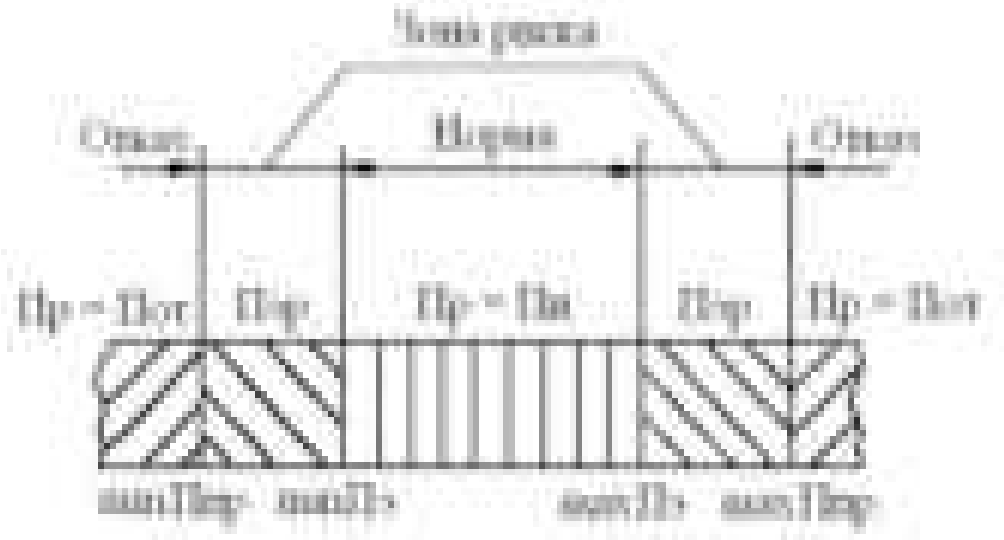


Рис. 4.10. Зоны работоспособности технической системы (объекта)

Пр – обобщенный показатель системы; Пэ – эталонное значение Пр; Пэр – то же в зоне риска; Ппр – предельное значение Пр; Пот – значение Пр в зоне отказа.

В качестве параметра Пр используют различные технические характеристики: температуру, размер объекта, величину износа узла (или инструмента), сигнал конечного выключателя и т. п. В случае постепенных отказов можно реализовать мероприятия по предотвращению отказа, если вовремя зафиксирован переход параметра Пр от нормы в зону риска. В информационной структуре системы поддержания работоспособности объекта (рис. 4.11) можно выделить следующие подсистемы:

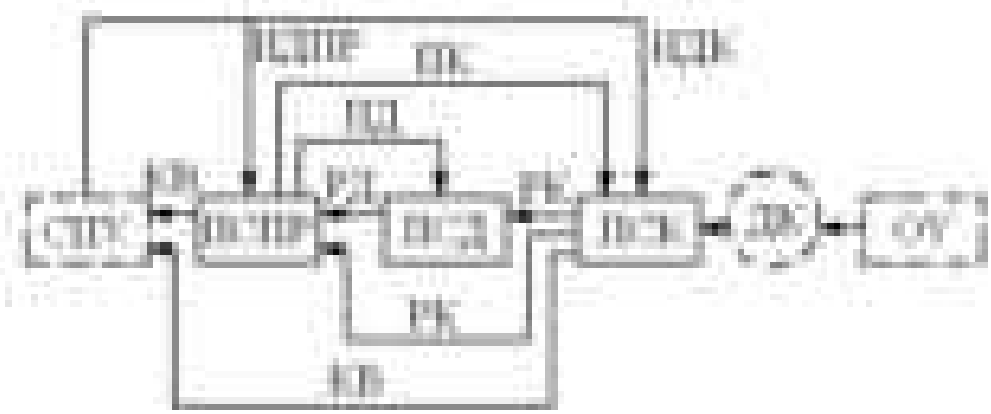


Рис. 4.11. Информационная структура системы поддержания работоспособности объекта

ПК,ПД - программы контроля и диагностирования, соответственно; РК, РД – результаты контроля и диагностирования; ИДК-исходные данные для контроля; ИДПР - исходные данные для принятия решений: контроля ПСК, диагностирования ПСД и принятия решений ПСПР.

Информация об объекте управления ОУ отдатчиков контроля ДК поступает на вход ПСК, которая обрабатывает ее, рассчитывает значения обобщенного параметра $П_Р$ и сравнивает их с эталонным. По результатам сравнения ПСК формирует сигнал об отклонении $П_Р$ от нормы, который подается в зависимости от ситуации в систему программного управления СПУ или в ПСПР. В случае угрозы аварийной ситуации СПУ вырабатывает блокировочный сигнал останова системы для ремонта. При отсутствии угрозы аварии ПСПР вырабатывает корректирующее воздействие КВ, которое передается в СПУ для осуществления подналадки системы.

Средства диагностики технического оборудования служат для фиксирования и измерения величины диагностических признаков (параметров). Для этого применяют приборы, приспособления и стенды сообразно характеру диагностических признаков и методам диагностики. Значительное место среди них занимают электроизмерительные приборы (вольтметры, амперметры, осциллографы и др.). Они широко применяются как для непосредственного измерения электрических величин (например, при диагностике систем зажигания и электрооборудования автомобиля), так и для измерения неэлектрических процессов (колебаний, нагрева, давления), преобразованных при помощи соответствующих датчиков в электрические величины. Для этой цели электрические измерительные приборы снабжают датчиками. При диагностике механизмов наиболее часто используют: датчики сопротивления, концевые, индукционные, оптические и фотоэлектрические датчики, при помощи которых можно измерять зазоры, люфты, относительные перемещения, скорость и частоту вращения проверяемых деталей; термосопротивления, термопары и биметаллические пластины для изме-

рения теплового состояния деталей; пьезоэлектрические и тензометрические датчики для замера колебательных процессов давления, биений, деформаций и др. Одно из положительных качеств электроизмерительных приборов - удобство получения информации, а также в перспективе возможность ее анализа при помощи счетно-решающих устройств. В зависимости от полноты и степени механизации технологических процессов диагностику можно проводить выборочно, только для контроля технического состояния отдельных сборочных единиц, или комплексно для проверки сложных агрегатов, таких как двигатель, и, наконец, комплексно для диагностики машины в целом. В первом случае используются для отдельных измерений такие диагностические приборы как стетоскопы, манометры, тахометры, вольтметры, амперметры, секундомеры, термометры и другие переносные приборы. Во втором случае приборы комбинируют в виде передвижных стендов, в третьем случае – ими комплектуют датчики и пульты управления стационарных стендов. Основными требованиями к средствам диагностики являются: обеспечение достаточной точности замеров, удобство и простота использования при минимальной затрате времени. Помимо различных приборов, индикаторов узкого назначения, в систему диагностических средств включают комплексы электронной аппаратуры. Эти комплексы могут состоять из датчиков – органов восприятия диагностических признаков, блоков измерительных приборов, блоков обработки информации в соответствии с заданными алгоритмами и, наконец, блоков хранения и выдачи информации в виде запоминающих устройств для преобразования информации в удобный для использования вид.

4.5. Испытания мехатронной системы металлорежущего станка

В качестве примера проведения испытаний мехатронных систем приведем фрагменты процесса испытаний вертикально фрезерного станка с ЧПУ, вид которого представлен на рис. 4.12.

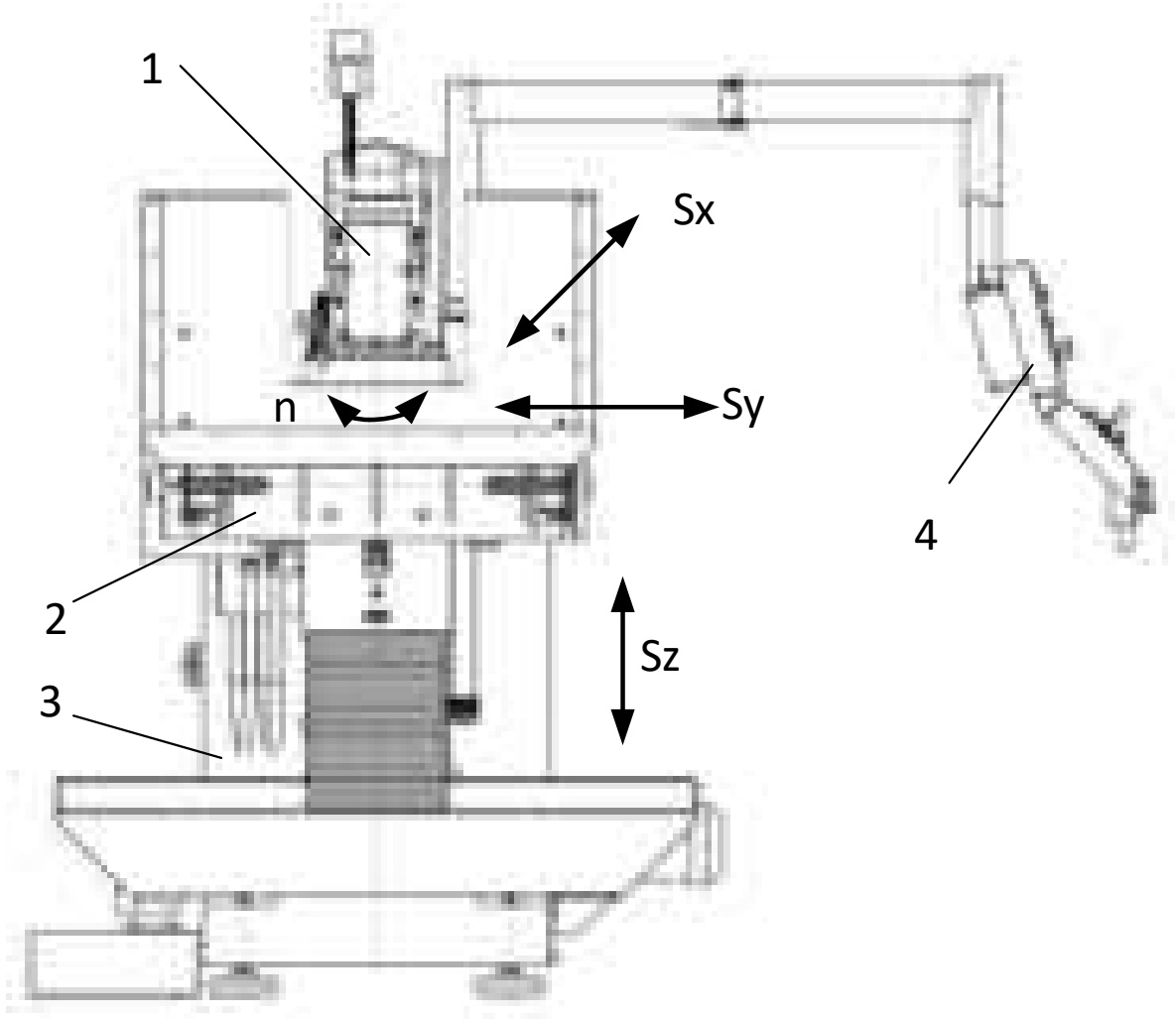


Рис. 4.12. Вид вертикально фрезерного станка с ЧПУ

Здесь обозначено: 1- шпиндельный узел: 2 – стол; 3 – станина; 4 – выносной пульт; n – частота вращения шпинделя; Sx- горизонтальное перемещение шпинделя; Sy – горизонтальное перемещение стола; Sz – вертикальное перемещение стола.

Испытание станка на холостом ходу

Проверку основных технических характеристик и испытание станка на холостом ходу проводится согласно таблице 4.2.

Таблица 4.2

Методы и результаты проверки

Что проверяется	Метод проверки	Результат проверки
1 Соответствие требованиям комплекта конструкторской документации	В процессе изготовления и приемки путем внешнего осмотра станка и его составных частей, сличения их с конструкторской документацией на станок и нормативно-техническими документами, указанными в документации и в настоящих технических условиях, и измерением размеров и других нормируемых параметров средствами и методами, обеспечивающими требуемую точность	Соответствие требованиям конструкторской документации на станок и нормативно-технической документации
2 Установка станка	Измерение проводить уровнем. Уровень рамный 200-0,02 устанавливать на середине стола параллельно и перпендикулярно его перемещению	Отклонение не более 0,04 мм/м
3 Разводка жгутов внутреннего монтажа	Внешним осмотром и сличением со схемой 49ХХХ.000.00.00.000Э3 и чертежом 49ХХХ.090.00.00.000СБ	Установка, закрепление, разводка и заделка соединений жгутов внутреннего и соединительного монтажа должны соответствовать требованиям схемы и чертежа
4 Наличие заземляющих винтов и знаков заземления по ГОСТ 21130	Визуально определить наличие заземляющих винтов и знаков заземления	Винты и знаки должны быть

5 Наличие и исправность цепи заземления	Измерением сопротивления между шиной заземления, находящейся в электрошкафу 49XXX.061.00.00.000, и перечисленными ниже составными частями станка, на которых установлено электрооборудование и которые в результате пробоя изоляции могут оказаться под напряжением 42 В и выше: 1) суппортом; 2) станиной; 3) корпусом горизонтального шпинделя; 4) корпусом насоса центробежного; 5) корпусом гидростанции; 6) пультом управления. Перед началом проверки провода, подключенные к миллиоммметру, замкнуть накоротко и замерить их собственное сопротивление. Полученную величину собственного сопротивления при определении результата вычитать из замеренного. Измерение проводить миллиомметром Е6-18	Сопротивление не должно превышать 0,1 Ом для каждой проверяемой точки
6 Основные	Измерением: 1) штангенциркулем ШЦ III-400-01 – по п.п. 2, 4, 14, 16 и 26 таблицы 1.1; 2) штангенциркулем ШЦ III-800-01 – по п.п. 3, 5 и 14 таблицы 1.1; 3) линейкой 1000 – по п.п. 12, 13, 21 и 22 таблицы 1.1; 4) рулеткой ЗПК-2-5-АНП/1 – по п. 27 таблицы 1.1; 5) динамометром ДОСМ-3-2 – по п.п. 28 и 29 таблицы 1.1	Соответствие данным, указанным в настоящих технических условиях
7 Работа системы смазки	Наблюдением во время обкатки	Все точки смазки должны обеспечивать хороший доступ масла к смазываемым местам. Утечки не допускаются

8 Работа системы охлаждения	Наблюдением во время обкатки	Равномерная подача Течь из соединений не допускается
9 Работа органов управления	Пятикратным включением, переключением органов управления (кнопок, рукояток, переключателей и т.д.) на пульте станка	Утапливание кнопок, их возврат в исходное заданное положение переключателей должны осуществляться без заеданий и задержек, не должна происходить задержка в нажатом положении кнопок, не имеющих фиксации в этом положении
10 Соответствие действия органов управления символам, надписям и назначению	Включением, выключение и переключением органами управления всех движений и состояний станка	Действие органов управления должно соответствовать заданному движению подвижных органов или состоянию станка
11 Проверка частоты вращения шпинделя	В патроне шпинделя станка зажать оправку с центровым отверстием для измерения частоты вращения тахометром часовым специальным ТЧ-10-р. Сравнить показания тахометра с заданными потенциометром величинами частоты вращения в шести произвольных положениях, охватив весь диапазон регулирования	Допустимое отклонение частоты вращения шпинделя – не более 6 % (диапазон регулирования частоты вращения см п.п. 19 и 24 таблицы 1.1)

12 Проверка величин подач горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя	Включением перемещения горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя с заданными потенциометром величинами подач в шести произвольных положениях, охватив весь диапазон регулирования. Измерением секундомером СОПпр-2а-000 и линейкой 1000	Допустимое отклонение величин подач – не более 5 % (диапазон регулирования величин подач см. п.п. 15 и 17 таблицы 1.1)
13 Плавность, отсутствие рывков при перемещении столов и корпуса горизонтального шпинделя	Включением перемещения горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя	Перемещение столов и бабки горизонтального шпинделя должно быть плавным
14 Нагрев подшипников шпинделей	Измерением температуры вольтметром универсальным цифровым В7-27 в зоне передних подшипников шпинделя. Проверка проводится во время обкатки станка на холостом ходу не менее 30 минут на максимальных частотах вращения шпинделя при установившейся температуре	Избыточная температура на наружной поверхности бабки горизонтального шпинделя и корпусе головки вертикальной не должна превышать 55 °С
15 Напряжение радиопомех	По ГОСТ Р 51318.11 и ГОСТ Р 51320 измерителем радиопомех SMV 6,5 класса 1,0 фирмы RFT (Германия)	Не должно превышать значений п. 1.2.1
16 Электрическая прочность изоляции силовых цепей	Проверку проводить до начала отладочных работ с помощью универсальной пробойной установки УПУ-1М (или аналогичной, мощностью не менее 500 ВА) в следующей последовательности: 1) убедиться в наличии надежного заземления корпуса электрошкафа; 2) отключить кабель питающей электросети от вводных клемм ХТ1;	Пробоя и поверхностного перекрытия изоляции не должно быть. Положительные результаты испытания занести в соответствующие графы «Свидетельства о выходном контроле электрооборудования»

	3) соединить перемычками провода A, B и C на вводных клеммах XT1; 4) отключить силовые провода и разъемы управления от блоков питания и преобразователей приводов подач и шпинделя и все разъемы от УЧПУ; 5) отключить провода от двигателей насосов СОЖ и гидростанции; 6) отключить RS-фильтры от двигателей СОЖ и гидростанции; 7) отключить провода от трансформатора TV1; 8) установить перемычки на силовых контактах пускателей и включить автоматические выключатели; 9) подключить испытательное напряжение между корпусом электрошкафа и проводом A на вводной клемме XT1. С помощью универсальной пробойной установки постепенно поднимать напряжение, начиная с нуля, до 1500 В. Выдержать изоляцию при этом напряжении в течении 1 мин, а затем плавно снизить до нуля. Отключить установку. При положительном результате испытания восстановить схему, при отрицательном – отыскать место пробоя, устранить неисправность и повторить испытание. Аналогично проверить кабели двигателей	
17 Сопротивление изоляции	Измерением мегаомметром М4100/3 при напряжении 500 В. Считывание показаний проводить при установившейся стрелки прибора. Измерение проводить в следующей последовательности: 1) подготовить схему по п. 16; 2) установить перемычки в зажимах цепей управления (XT4, XT8);	Не менее 1 МОм Положительные результаты испытания занести в соответствующие графы «Свидетельства о выходном контроле электрооборудования»

	3) отключить общие провода (1, 2, 10) от шины заземления; 4) замерить сопротивление изоляции), подключая выводы мегомметра: – между зажимами силовых цепей и шиной заземления шкафа; – между зажимами цепей управления и шиной заземления шкафа; – между зажимами силовых цепей и зажимами цепей управления. При положительном результате испытания восстановить схему, при отрицательном – отыскать место пробоя, устранить неисправность и повторить испытание.	
18 Наличие специального замка с вынимающимся ключом и предупреждающего знака на двери электрошкафа	Визуально определить наличие замка и знака	Замок и знак должны быть
19 Надежность действия защитных устройств и блокировок	1) Останов станка в аварийных ситуациях: – действие аварийной кнопки «Стоп»; – действие аварийного ограничения хода; – авария преобразователей; – перегрузка электродвигателей; – визуальная проверка токов уставки автоматических выключателей. 2) Блокировка запуска цикла, если оси не отреферированы. 3) Блокировка вращения шпинделя, если инструмент не зажат.	Станок останавливается, самозапуск станка после восстановления не происходит, на экране – соответствующее сообщение. Не действуют кнопки ускоренной подачи и запуска цикла. Разжатый шпиндель не запускается, разжим не действует при вращении шпинделя.

Испытание станка под нагрузкой должно соответствовать таблице 4.3.

Таблица 4.3

Что проверяется	Метод проверки	Результат проверки
1 Испытание станка под нагрузкой	При нагрузке станка образца-изделия в соответствии с режимами, указанными в таблице 4.3, горизонтальным и вертикальными шпинделями. Контроль частоты вращения шпинделя проводится тахометром часовым специальным ТЧ-10-р. Измерение момента проводится персональным компьютером, используя программу «COMBIVIS 5»	Безотказность работы Уменьшение частоты вращения шпинделя под максимальной нагрузкой должно быть не более 10 %. При этом момент на электродвигателе шпинделя не должен превышать его номинального значения
2 Октавные и корректированный уровни звуковой мощности (L_P; L_{PA}), уровень звукового давления (L), уровень звука и эквивалентный уровень звука (L_A)	Точным импульсным шумомером 00024 по методике согласно ГОСТ Р 51402 и ГОСТ ИСО 230-5 при работе станка на типовых режимах в соответствии с таблицей 4.3	Не должны превышать значений, указанных в таблице
3 Уровни вибрации на рабочем месте	По ГОСТ 12.1.012. Проверяются акустическим комплексом ВШВ-003 при работе станка на типовых режимах, приведенных в таблице 4.3	Не должны превышать значений, указанных в таблице

Примечание: 1. Работа станка при силовом испытании должна продолжаться каждым шпинделем не менее 30 мин.

2. При силовых испытаниях режимы резания обеспечивают максимальную нагрузку привода.

Проверка точности станка (некоторые показатели).

Общие требования к условиям испытания станка на точность, методам и средствам измерения точности должны соответствовать ГОСТ 8 и ГОСТ 26016, схемы и способы измерений геометрических параметров – ГОСТ 22267.

Плоскостность рабочей поверхности стола:

1) горизонтального;

2) вертикального.

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

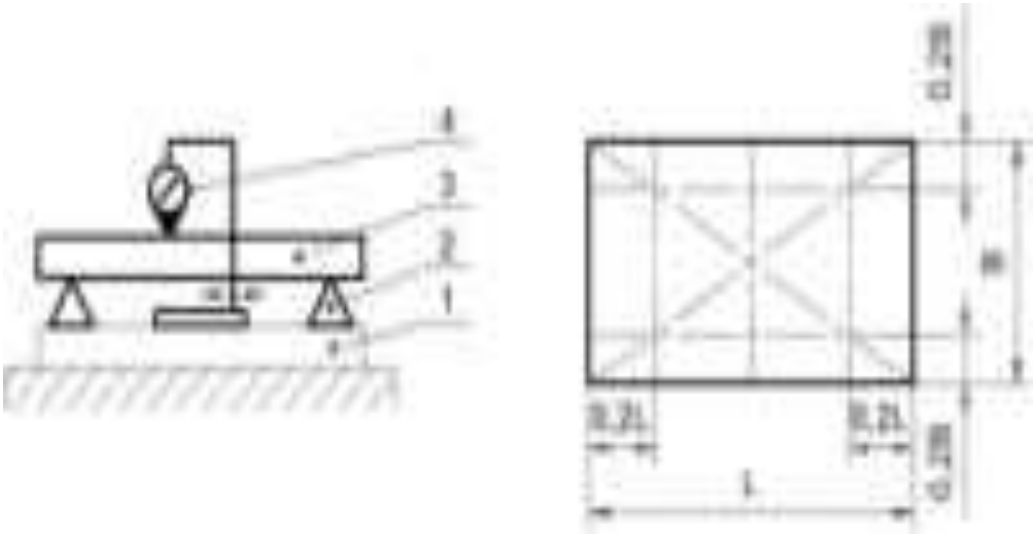


Рис. 4.13. Схема измерения

Допуск:1) 16 мкм на длине 600 мм; 2) 20 мкм. Выпуклость не допускается.

Проведение измерения

На проверяемую поверхность стола 1 в двух точках заданного сечения установить две опоры 2, на которые рабочей поверхностью положить поверочную линейку 3 так, чтобы расстояние от проверяемой поверхности до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны.

Головку 4 установить на проверяемую поверхность так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Головку перемещать по проверяемой поверхности вдоль линейки.

Измерения проводить в двух продольных, трех поперечных и двух диагональных сечениях. Отклонение от плоскостности равно наибольшей алгебраической разности показаний головки во всех сечениях.

Параллельность рабочей поверхности вертикального стола траектории его продольного и вертикального перемещений.

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

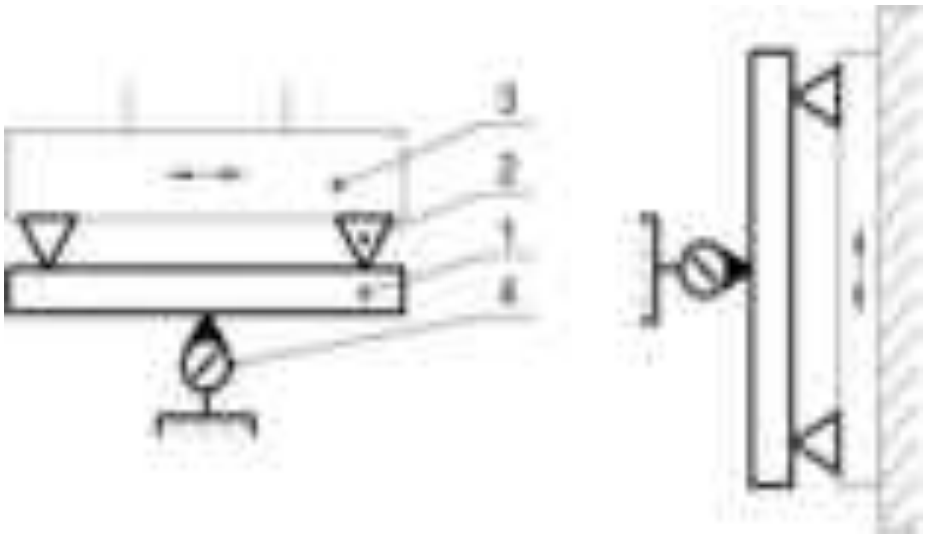


Рис. 4.14. Схема измерения

Допуск:16 мкм на дине 400 мм. Наклон верхней кромки стола в сторону от станины не допускается.

Проведение измерения

Суппорт установить в среднее положение в вертикальной плоскости при проверке параллельности траектории продольного перемещения, и вертикальный стол установить в среднее положение в горизонтальной плоскости при проверке параллельности траектории вертикального перемещения. Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на середине перемещаемого стола 3 вдоль направления его перемещения так, чтобы расстояние от плоскости стола до рабочей поверхности

линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Стол с линейкой перемещать на всю длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности вертикального стола траектории его перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний на всей длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность рабочей поверхности горизонтального стола траектории его продольного перемещения

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

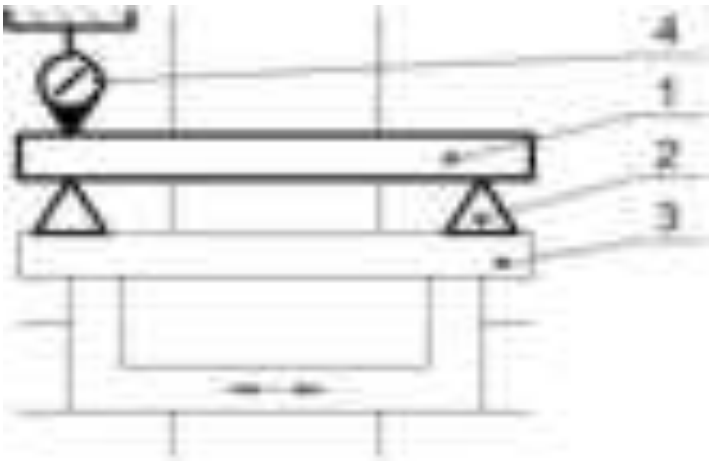


Рис. 4.15. Схема измерения

Допуск:16 мкм на дине 400 мм.

Проведение измерения

Суппорт установить в среднее положение в вертикальной плоскости.

Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на середине перемещаемого стола 3 вдоль направления его перемещения так, чтобы расстояния от плоскости стола до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Стол с линейкой перемещать на

заданную длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности горизонтального стола траектории его продольного перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний головки на всей длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность рабочей поверхности горизонтального стола траектории перемещения корпуса горизонтального шпинделя

Средства измерения: линейка поверочная ЛЧ-0-320, головка 2 ИГ.

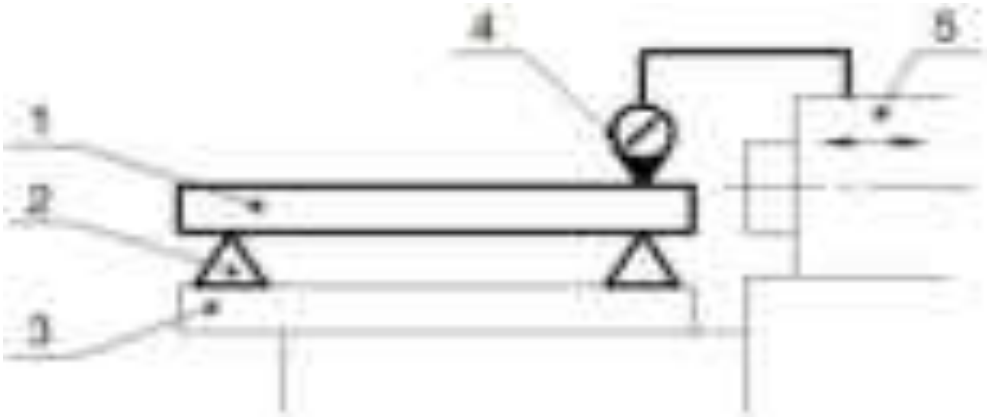


Рис. 4.16. Схема измерения

Допуск:12мкм. Наклон верхней кромки стола в сторону от станины не допускается.

Проведение измерения

Горизонтальный стол установить в среднее положение в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на проверяемую поверхность горизонтального стола 3 вдоль направления перемещения корпуса горизонтального шпинделя так, чтобы расстояния от плоскости стола до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на корпус горизонтального шпинделя 5 так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей.

Корпус горизонтального шпинделя перемещать на всю длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности горизонтального стола траектории перемещения корпуса горизонтального

шпинделя равно наибольшей алгебраической разности показаний головки на длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность боковых сторон направляющего паза вертикального стола и горизонтального стола траектории продольного перемещения

Средства измерения: индикатор мод. V253 фирма «TESA» (Швейцария), цена деления 2 мкм.

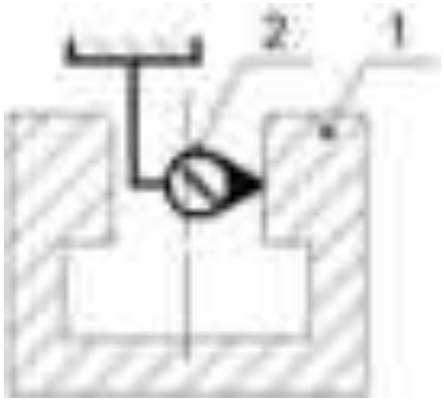


Рис. 4.17. Схема измерения

Допуск:16 мкм на дине 400 мм.

Проведение измерения

Индикатор 2 установить на корпусе горизонтального шпинделя так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемой поверхности. Стол 1 перемещают на заданную длину. Параллельность измеряют по обеим боковым сторонам направляющего паза стола. Отклонение от параллельности траектории перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора на всей длине перемещения. Примечание. Для вертикального стола допускается проверять только нижнюю сторону паза.

Радиальное биение конического отверстия шпинделя:

1) горизонтального:

– у торца шпинделя;

– на длине 150 мм от торца шпинделя;

2) вертикального:

– у торца шпинделя;

– на длине 150 мм от торца шпинделя.

Средства измерения: головка 1 ИГ, оправка специальная контрольная цилиндрическая с радиальным биением не более 0,001 мм.

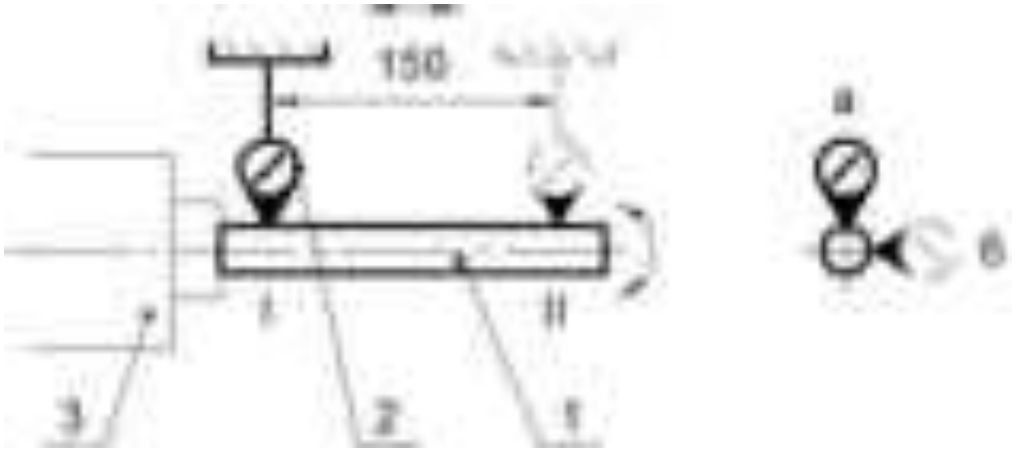


Рис. 4.18. Схема измерения

Допуск: 1) 6 мкм – 10 мкм; 2) 6 мкм – 10 мкм.

Проведение измерения

В коническое отверстие шпинделя 3 установить контрольную оправку 1. Головку 2 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался образующей контрольной оправки и был перпендикулярен ее оси. При измерении шпиндель поворачивать не менее чем на два оборота. Для исключения из результатов измерения влияния неправильной посадки хвостовика контрольной оправки в отверстии шпинделя измерения в сечениях I и II проводить четыре раза. После каждого измерения оправку поворачивать вокруг оси вращения на 90°. При каждом измерении фиксировать показания головки с плоскостью а и б, по которым определяют наибольшую алгебраическую разность.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите виды испытаний промышленных роботов.

2. Какие требования предъявляются к условиям проведения испытаний промышленных роботов?

3. Какие параметры измеряются при проведении испытаний промышленных роботов?

4. Какие параметры измеряются при проведении испытаний мехатронных систем?

5. Какие средства измерения используются при проведении испытаний роботов и мехатронных систем?

6. Как проверяют погрешность позиционирования робота?

7. Как проверяют жесткость конструкции робота?

8. Как проверяют грузоподъемность робота?

9. Как проверяют быстродействие робота?

10. Как проверяют проходимость мобильных роботов?

11. Как оценивается неравномерность движения узлов робота?

12. Как измеряются динамические характеристики робота?

13. Назовите особенности испытаний мехатронных систем.

14. Чем обусловлены ошибки в мехатронных модулях движения?

15. Назовите методы определения ошибок мехатронного модуля движения.

16.Назовите методы диагностирования мехатронных и робототехнических систем.

17. Какова роль моделирования в диагностике мехатронных и робототехнических систем?

18. Приведите структурную схему модели исполнительной системы робота.

19. Назовите основную задачу технического диагностирования.

20. Приведите информационную структуру системы поддержания работоспособности объекта.

21. Какие датчики используются при диагностировании механизмов?

22. Назовите зоны работоспособности диагностируемой системы.

23. Приведите пример схемы определения параметра точности металлорежущего станка.

Глава 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

5.1. Эксплуатация роботов в производственных системах

Промышленные роботы могут быть эффективно применены в условиях производства с различной серийностью для автоматизации вспомогательных и основных технологических операций.

Массовое производство с постоянным объектом выпуска предполагает применение высокопроизводительного специального основного технологического оборудования, объединенного автоматическими транспортно-загрузочными механизмами периодического действия, что в комплексе представляет собой автоматические линии. При создании таких линий стремятся обеспечить минимальный цикл работы. Жесткие автоматические линии отличаются высокой производительностью и широко применяются в подшипниковой промышленности, автомобилестроении, тракторном и сельскохозяйственном машиностроении, производстве изделий бытовой техники и т. д. Так как эти линии нельзя использовать при смене объекта производства, то они должны окупаться за период эксплуатации. Главные требования, предъявляемые к основному и вспомогательному оборудованию, - высокая производительность и надежность при длительной эксплуатации и высокий уровень автоматизации выполняемых операций. Надежность и ресурс основного технологического оборудования, вспомогательных устройств и средств автоматизации ограничены сроком выпуска массовой продукции. Средства автоматизации не обязательно должны быть переналаживаемыми и функционально взаимозаменяемыми, что определяет сравнительную простоту их конструкций.

Однако и в массовом производстве возрастающие темпы технического прогресса обусловливают сравнительно частое изменение конструкций и свойств выпускаемых изделий, что, в свою очередь, вызывает необходимость в переналадке или изменении структуры действующей автоматической линии, замене оборудования и средств автоматизации и т. д. Таким образом, срок эксплуатации жесткой автомати-

ческой линии, ориентированной на выпуск конкретной продукции, сокращается. Это вызывает необходимость широкого применения ПР в массовом производстве.

Применение ПР различного функционального назначения позволяет быстро комплектовать комплексные автоматические линии, в состав которых входит разнородное технологическое оборудование, исключает необходимость создания в каждом конкретном случае специальных транспортных средств, позволяет быстро переналаживать автоматические линии, а также комплектовать и пускать их в эксплуатацию в более сжатые сроки.

Крупносерийное производство характеризуется ограниченным сроком морального старения выпускаемого изделия. Подготовка такого производства должна осуществляться в короткие сроки, так как выпускаемая продукция изготовляется в течение ограниченного времени. Основные требования, предъявляемые к основному и вспомогательному оборудованию, - высокая производительность, надежность, переналаживаемость и возможность перекомпоновки сравнительно легкими способами. Снижение стоимости подготовки производства и себестоимости продукции прямо зависит от соблюдения этих условий.

Перечисленным требованиям вполне удовлетворяет автоматическое и полуавтоматическое обрабатывающее оборудование (прежде всего агрегатные станки и станки с ЧПУ), которое с помощью ПР можно объединить в автоматические линии с гибкой связью. Объединение ПР с высокоавтоматизированным оборудованием в предметные робототехнические комплексы позволит решить задачу создания комплексно-автоматизированных участков и линий с гибкой связью, обеспечить их переналадку, а при необходимости - изменение структуры и переукомплектование.

Среднесерийное многономенклатурное производство характеризуется частой сменой и повторяемостью партий выпускаемых изделий, а также небольшой длительностью выпуска деталей одного типа (от двух-трех смен до нескольких недель). Проблема комплексной автоматизации среднесерийного многономенклатурного производства наибо-

лее эффективно может быть решена на основе создания типовых роботизированных комплексов (РК) различного технологического назначения, в которых ПР осуществляет единичное или групповое обслуживание оборудования (роботизированных позиций). Такие РК должны обеспечивать выполнение наиболее распространенных в машиностроении операций, включая заготовительные и сборочные. Конструктивно-технологические параметры РК должны быть таковы, чтобы можно было объединять их в гибкие производственные системы, построенные на основе методов групповой технологии. Разработка типовых РК для обработки наиболее распространенных деталей машиностроения и выполнения широкой номенклатуры операций позволяет комплектовать автоматизированные участки производства и автоматические линии различных типов, создавая сложные производственные системы, дифференцированные по назначению, составу выполняемых операций и уровню автоматизации процессов обработки и управления.

Мелкосерийное производство, требующее переналадки за время смены, высоких производительности труда и степени автоматизации производственных процессов, находится в настоящее время на наиболее низком уровне. Повышение технико-экономических показателей этого производства предполагается путем широкого применения оборудования с ЧПУ, которое должно быть объединено в участки либо по функциональному признаку (однородные станки), либо по технологическому принципу (обеспечение последовательного технологического маршрута обработки). Перспективно применение РК на основе многооперационных станков с ЧПУ с высоким уровнем концентрации и совмещения операций. Методы групповой технологии позволяют и в мелкосерийном производстве в ряде случаев организовать обработку укрупненных партий однотипных деталей. Основной структурной единицей автоматизированных гибких производственных систем и при мелкосерийном производстве должны стать РК оборудование - робот, программируемые по первой детали методом обучения; такое решение обеспечит рентабельность обработки деталей с партией запуска *5-10 шт.*

Структура. Понятие роботизированная технологическая система (РТС) распространяется на все структурные производственные подразделения, в состав которых в качестве средств автоматизации входят ПР, в том числе на роботизированные комплексы, участки, линии и цехи. Роботизированный комплекс (РК) является основной структурной единицей РТС любой сложности. РК - автономно действующая совокупность технологических средств производства, включающая набор основного технологического и вспомогательного оборудования (в том числе один или несколько ПР, которые выполняют технологические или вспомогательные операции) и обеспечивающая полностью автоматизированный цикл работы внутри комплекса и связь его с входными и выходными потоками остального производства. Необходимо различать роботизированные технологические комплексы (РТК), где ПР выполняет вспомогательные операции типа "взять - перенести - положить", и роботизированные производственные комплексы (РПК), где ПР выполняет основные операции технологического процесса (сборку, сварку, окраску и т. п.). РК может быть образован на основе одного ПР, обеспечивающего индивидуальное или групповое обслуживание состыкованного с ним оборудования или законченный цикл обработки изделия (например, сварки) на одной роботизированной позиции, а также на базе нескольких ПР, выполняющих взаимосвязанные или взаимно дополняющие операции.

Создание гибких производственных систем с применением ПР требует решения комплекса задач, связанных с размещением оборудования и (если это требуется) его модернизации для стыковки с ПР, с выбором ПР и других транспортных средств, а также вспомогательных устройств, с выбором или разработкой средств контроля, информации и управления и т. п. Любая сложная производственная система представляет собой совокупность объектов, связанных причинно-следственной зависимостью так, что их функции, производимые ими действия и выполняемые над ними операции должны приводить к выпуску продукции определенного качества в надлежащем количестве и за установленное время. Оптимальная система отличается максимальной

производительностью при минимальных затратах. В условиях среднесерийного многономенклатурного производства оптимальными могут быть только гибкие производственные системы, обладающие свойством относительной адаптации - способностью приспосабливаться к изменениям внутри и вне системы, сохраняя при этом производительность, близкую к максимальной.

По структуре каждую производственную систему можно представить как совокупность основных компонентов.

Подсистема обработки (формообразования) деталей включает в себя серийные или специально разработанные модели основного технологического оборудования, целесообразность применения которых определяется требованиями конкретного производственного процесса, уровнем концентрации и совмещения операций и требуемой степенью автоматизации переходов обработки. В ряде случаев комплектуется ПР, выполняющими основные технологические операции.

Подсистема потока (транспортирования) деталей осуществляет складирование, внутрицеховое и межстаночное транспортирование деталей и заготовок, а также установку, снятие, переориентацию (если потребуется) и фиксацию деталей при обслуживании основного технологического оборудования.

В состав подсистемы потока деталей (заготовок) входят автоматизированные склады, роботы различных конструкций, конвейеры, тележки и другие средства автоматизации транспортно-складских операций. При выборе или разработке транспортных средств необходимо согласовывать их действия с общезаводскими и цеховыми средствами транспортирования заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей; правильно выбирать тип и емкость накопительных устройств, комплектующих РК, а также способ ориентации, комплектации и фиксации заготовок (деталей) на начальной позиции РК.

Подсистема потока инструмента и приспособлений обеспечивает комплектацию, наладку, доставку и смену вспомогательной оснастки и приспособлений, формообразующего и измерительного инструмента в подсистемах обработки и контроля, а также захватных устройств и инструмента, для ПР. При создании автоматизированных

участков (линий) целесообразно устанавливать на всех РК унифицированные устройства (магазины), допускающие автоматическую смену и закрепление инструментов, приспособлений и захватных устройств (для ПР). Подача инструмента, приспособлений и захватных устройств может осуществляться общей подсистемой потока деталей. При этом становится возможным комплектовать запускаемую партию заготовок набором приспособлений и инструментов, необходимых для ее обработки. Установка инструментов в унифицированных по форме и размерам оправках (блоках) позволяет применять ПР, обслуживающие поток деталей, для выполнения операций смены инструмента на станках.

Подсистема контроля качества продукции предназначена для контроля производства с целью получения заданных показателей качества.

Подсистема управления и информации осуществляет управление и взаимосвязь между основным и вспомогательным оборудованием, транспортно-загрузочными устройствами и складом; контроль и диагностику работы оборудования, в том числе фиксацию отказов и простоев; сбор и распределение информации о местонахождении партий заготовок и деталей, а также о степени укомплектования оснасткой, приспособлениями, формообразующим и мерительным инструментом; расчет последовательности обработки партий деталей на станках; учет изделий, заготовок, полуфабрикатов, материалов, комплектующих изделий и узлов, а также оперативную оценку степени заполнения склада; выдачу информации диспетчеру и прочие операции, связанные с планированием, организацией производства и управлением другими подсистемами.

Вспомогательная подсистема поддерживает работоспособность сложной производственной системы в целом. В ее функции входят обеспечение энергопотока, уборка отходов производства, материальное обеспечение и т. д.

Перечисленные подсистемы взаимосвязаны, поэтому конкретное организационное и конструктивно-технологическое решение по одной из них предъявляет, как правило, определенные требования к остальным. Таким образом, создаются сложные производственные системы,

различающиеся назначением, сложностью структуры, степенью автоматизации основных и вспомогательных операций и управления, дифференцированные по уровню организации причинно-следственных зависимостей внутри подсистем и между ними.

Так как основная цель - экономия рабочей силы и повышение производительности труда, т. е. увеличение объема выпускаемой продукции, приходящейся на одного работника, то характер и степень автоматизации должны быть оправданы экономически и в то же время должна быть продемонстрирована возможность наращивания и совершенствования всего комплекса в целом.

При создании автоматизированных участков и производств для их постепенного превращения в оптимальные гибкие производственные системы, характеризующиеся постоянным снижением участия человека в их работе и управлении, необходимо обеспечить работоспособность и надежность; возможность стыковки оборудования различного технологического назначения и широкого варьирования транспортно-загрузочных схем; гибкость и возможность наращивания функций подсистемы управления и информации; обеспечение адаптации производственного комплекса к изменению условий производства; возможность совершенствования и расширения автоматизированного участка.

Применительно к структуре участка эти показатели могут быть обеспечены агрегатно-модульным построением его основных функциональных подсистем (обработки, транспортирования) и иерархической системой управления и информации. Необходимая гибкость транспортно-загрузочных схем может быть достигнута применением роботизированных комплексов, которые могут рассматриваться как основные структурные единицы при агрегатном построении автоматизированных участков.

Основой агрегатного построения, как известно, является наличие определенных структурных единиц, способных состыковываться между собой с помощью связующих звеньев. Применительно к участкам связующими звеньями таких единиц должны служить подсистема управления и информации, транспортно-складская система, система

автоматической переналадки (если она имеется). Связь между станком и ПР может носить индивидуальный характер ввиду возможного разнообразия обслуживаемого оборудования. Обеспечение индивидуальных связей внутри РК достигается применением ПР. Для возможности стыковки РК между собой требуется унификация их приемных позиций, транспортных тар, спутников, конструктивных элементов устройств непрерывного транспортирования, выходных элементов систем управления и информации.

Состав и структура РТС определяются содержанием производственного процесса, который формируется на основе следующих показателей: конструктивно-технологических параметров детали (или номенклатуры деталей); заданной годовой программы выпуска; состава технологического оборудования; организации подсистем обработки, потока деталей и инструмента, контроля качества продукции, управления и информации, а также вспомогательной подсистемы, включающей службы ремонта и техники безопасности. На рис. 5.1 показан характер внутренних связей между основными составляющими производственного процесса.

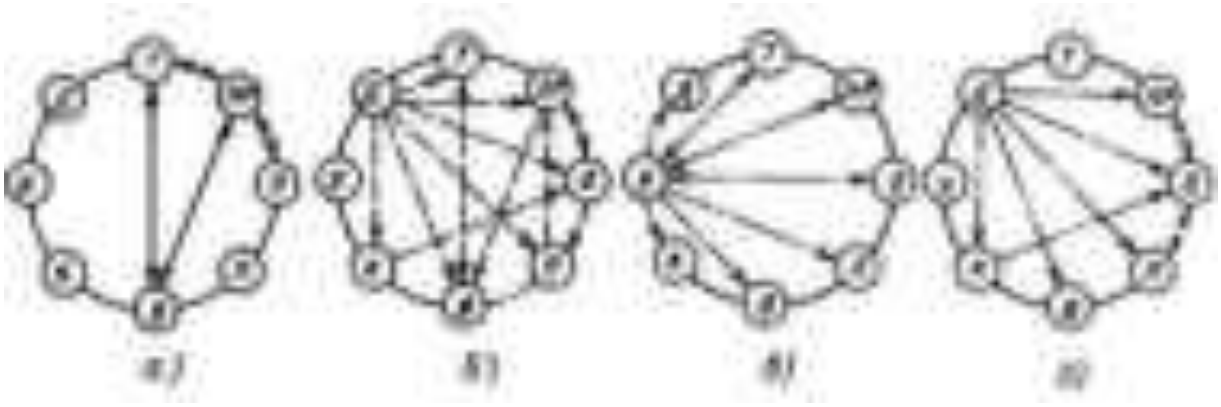


Рис. 5.1. Внутренние связи между основными составляющими элементами производственного процесса в роботизированной производственной системе: *а - планировочные; б - конструктивные; в - информационные; г - технологические; О - технологическое оборудование; ПР - промышленный робот; Д - деталь; П - оснастка технологического оборудования (приспособления и устройства для базирования и закрепления детали); В - вспомогательное оборудование комплекса для подачи деталей и инструмента на загрузочные позиции, ориентации, отвода изделий и т. п (тары, ориентирующие магазины, роликовые конвейеры, питатели); К - средства контроля; У - средства управления; Т - входные и выходные транспортные связи комплекса*

В зависимости от назначения РК, состава комплектующего оборудования и характера организации производства задачи, связанные с созданием комплексов, могут быть различными. На рис. 5.2 приведен пример организации РТК станок - робот.

Рис. 5.2. Структура роботизированного технологического комплекса станок робот: *1 - блок управления роботом и станком; 2 - автоматические зажимные и базирующие приспособления станка; 3 - устройство очистки баз деталей и зажимных приспособлений станка от грязи и стружки; 4 - захватное устройство робота, оснащенное средствами опознавания заготовок, контроля их размеров и правильности установки заготовок в рабочей зоне станка; 5 - переналаживаемые -ориентирующие магазины для деталей; 6 - ячейки автоматизированного склада; 7 - конвейер для уборки стружки; 8 - блок автоматической смены захватных устройств; 9 - робот; 10 - головка с режущим инструментом для автоматической смены инструмента, оснащенная устройствами дробления стружки, контроля затупления и поломки инструмента; 11 - автоматизированное ограждение рабочей зоны стенка; 12 – станок*

Эффективное использование средств робототехники па промышленных предприятиях в значительной мере определяется четкой организацией эксплуатации ПР. Под эксплуатацией ПР понимают совокупность действий по транспортировке, хранению, подготовке и использованию по назначению ПР, а также их техническому обслуживанию и текущему ремонту.

5.2. Эксплуатация роботов в транспортно-накопительных системах автоматизированных производств

Эффективность производственной системы в целом определяется не только качеством технологического оборудования, но и качеством процессов (подсистем), обеспечивающих производство, в частности – производственной логистикой. Завод может быть оснащен совершенными станками, но несвоевременная доставка к станку заготовок, оснастки, инструмента приведет к срыву производственного задания и снижению эффективности производственной системы.

О роли производственной логистики говорят следующие данные: на крупных европейских производственных предприятиях, в среднем 87% производственного времени затрачивается на внутрицеховую логистику, в которой задействовано 25% производственного персонала и 55% производственных площадей. В 2018 году 17% европейский фабрик уже применяли системы автоматизации внутрицеховой логистики, а к 2023 году таких предприятий будет уже 35%. На текущий момент, наиболее распространенным принципом организации производства остается конвейерная сборка и роботизированные системы внутрицеховой логистики активно внедряются для обеспечения конвейера инструментом, заготовками, сборочными единицами и т.п. Но роботизированные системы внутрицеховой логистики позволяют реализовать и новые принципы организации и управления технологическими процессами – гибкие производственные системы. Именно роботизированные транспортно-накопительные системы позволяют осуществлять прием, накопление, транспортирование, выдачу заготовок, полуфабрикатов, инструмента, технологической оснастки и готовых изделий в ГПС для обеспечения ее наиболее эффективного функционирования.

К роботизированным транспортно-накопительным системам предъявляются следующие требования:

1. *Масштабируемость.* При загрузке производственного оборудования на 35% сразу внедрять логистическую систему, способную обеспечить 100% загрузку экономически не целесообразно. Вы получите еще одну производственную систему, у которой КИМ (коэффициент использования производственных мощностей) будет далек от идеального. Поэтому система должна позволять поэтапное наращивание производительности без существенного изменения топологии цеха и, желательно, без проведения капитальных строительно-монтажных работ.

2. *Логистическая система должна быть автоматической*, т.е. не требовать участия человека-оператора и перенастраиваться под производственные задания по командам от автоматизированных систем управления производством. Адаптация к конкретному технологическому процессу, или производственному оборудованию должна осуществляться заменой оснастки. В системе должны быть предусмотрены сценарии работы как в рамках регулярного технологического процесса, так и в рамках аварийных ситуаций. Т.е. при возникновении аварийной ситуации, система должна попытаться разрешить ее без остановки технологического процесса.

3.*Способность системы строить цифровую модель технологического процесса*, которая будет использоваться вышестоящими системами управления для формирования производственного плана.

Для автоматизации внутрицеховой логистики применяются различные технические решения – от безлюдных складов до транспортных роботов для автоматизации перемещения деталей, материалов, инструмента. Наиболее универсальным решением, обладающим достаточной гибкостью для встраивания в уже существующий технологический процесс, выступат транспортные роботы – мобильные роботы, предназначенные для перемещения на своей платформе физических объектов (определение по ГОСТ Р 60.0.0.2 – 2016). Транспортные роботы можно классифицировать по функциональности:

1. Роботы-тягачи – транспортные роботы, предназначенные для транспортировки различных грузов на тележках и оснащённые специальным зацепом (штоком) для автоматического сцепления с транспортируемой тележкой (рис.5.3)

Рис. 5.3. Роботы-тягачи на линии сборки автомобилей

2. Универсальные мобильные роботы – транспортные роботы, функциональность которых определяется установленной на них оснасткой. Могут оснащаться как роботом-манипулятором, так и различной подъемной, поворотной и подъемно-поворотной оснасткой, адаптированной под определенный технологический процесс (Рис.5.4).

Рис. 5.4. Универсальные мобильные роботы

Типичным представителем этой серии является универсальный мобильный робот M100, способный перевозить 75 кг (оснастка + груз) на платформе или тянуть тележку весом до 200 кг. Типичной оснасткой для данного робота выступает рольганг с электроприводом, позволяющий подавать, или снимать с конвейера различные грузы, но могут применяться и другие виды оснастки, вплоть до установки робота-манипулятора. Особенностью универсальных мобильных роботов Geek+ является навигация SLAM, позволяющая свободно перемещаться в сложной производственной среде и объезжать возникающие препятствия, например, выставленный на маршруте движения поддон.

3. Роботы-погрузчики. Как правило, представляют из себя стандартные форклифтеры и ричтраки, оснащенные автоматической системой управления, но представлены и моделями на специально разработанной мобильной платформе (Рис.5.5). Роботы-погрузчики серии CC представляют из себя стандартные самоходные погрузчики Linde, которые оснащаются системой лазерной навигации. Система управления позволяет роботам-погрузчикам работать в помещениях с людьми, перемещать паллеты и другие грузы, и размещать их на стеллажах с высокой точностью (+10 мм). В модельной линейке представлены как роботы - форклифтеры, так и роботы-ричтраки, грузоподъемностью до 2-х тонн и высотой подъема до 2,9 метра.

4.

Рис. 5.5. Робот-погрузчик

Компания Casun также производит робот-паллетоперевозчик CA-BY1000 на специально разработанной компактной мобильной платформе. Робот оснащен системами лазерной и инерциальной навигации и, несмотря на компактные размеры, сравнимые с ручной гидравлической тележкой, может транспортировать грузы на паллетах весом до 1000 кг.

4. Специализированные роботы – транспортные роботы, специально разработанные под определенный технологический процесс.

Любое производство уникально, поэтому, несмотря на широкую номенклатуру транспортных роботов, производимых серийно, существует потребность в роботах, специально разработанных под определенный технологический процесс. Компания Casun производит специализированные роботы для электронной промышленности (доставка компонентов на линии монтажа печатных плат), автомобильной промышленности (транспортный робот большой грузоподъемности для сборочной линии) и других отраслей промышленности. Для создания специальных транспортных роботов используется модульная платформа, хотя некоторые модели разрабатываются под задачу клиента с нуля. Нужно понимать, что транспортные роботы являются частью роботизированной системы, ее исполнительными устройствами, которая также включает в себя автоматизированную систему управления роботизированной системой (АСУ), подсистему передачи данных, станции заряда АКБ роботов, элементы системы позиционирования (магнитные ленты, QR-code, отражатели для лазерных датчиков).

Внутрицеховые склады являются неотъемлемой частью внутрицеховой логистики и служат для обеспечения производственного технологического процесса комплектующими, инструментом и оснасткой, а также хранения готовой продукции и незавершенного производства. Автоматические склады позволяют осуществлять адресное хранение и выдачу единиц хранения, обеспечивая высокую плотность хранения, скорость и точность загрузки/выгрузки и могут применяться для автоматизации инструментально-раздаточных кладовых, цеховых складов материалов, деталей и сборочных единиц, а также складов готовой продукции. Но важно не только компактно хранить и быстро находить нужную единицу хранения, но и своевременно доставлять ее к соответствующему технологическому оборудованию, поэтому воз-

можность и способ интеграции автоматического склада с внутрицеховой транспортной системой является значимой характеристикой автоматического склада. На рис.5.6 представлен вид горизонтального карусельного склада.

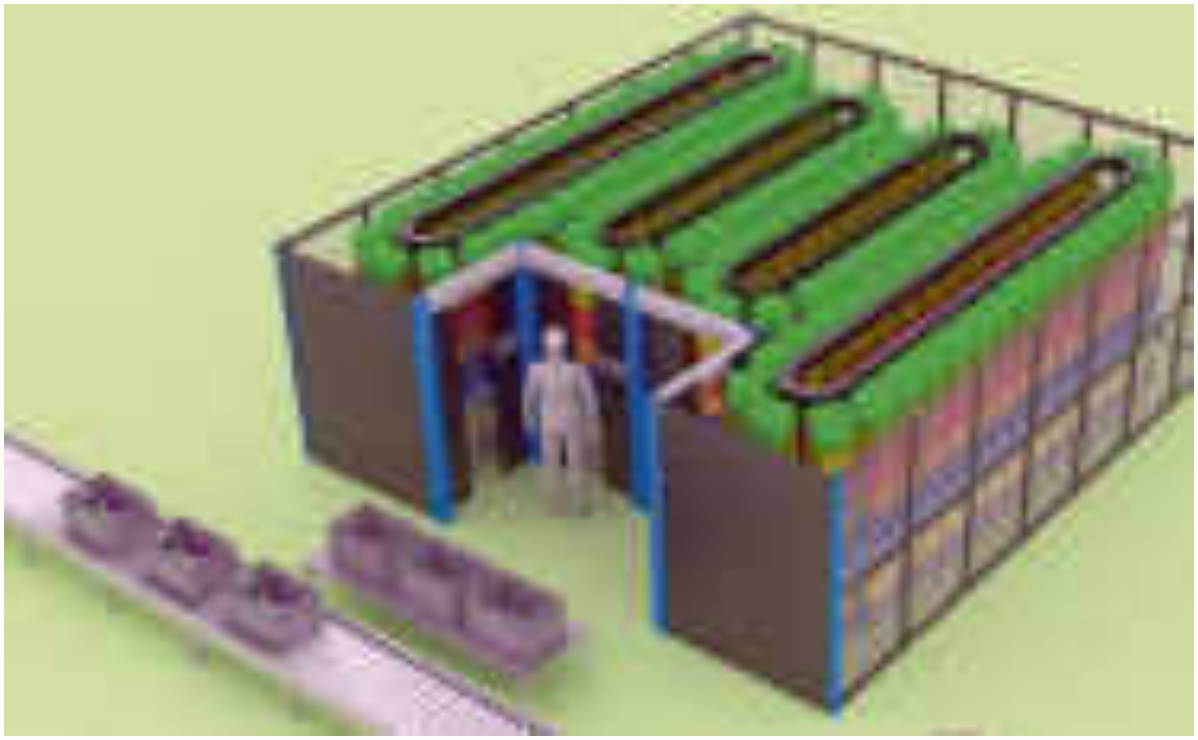


Рис. 5.6. Вид горизонтального карусельного склада

Карусельные системы предназначены для хранения и выдачи мелких единиц хранения – метизов, деталей, инструмента и оснастки и т.п. Хранение в таких системах осуществляется в пластиковых контейнерах, размещенных на полках (вертикальная карусель), либо в ячейках стеллажей (горизонтальная карусель). Полки/стеллажи, в свою очередь закреплены на карусельном механизме, перемещающем полку/стеллаж с нужной единицей хранения к окну выдачи, одновременно перемещая остальные полки/стеллажи, либо по вертикали (вертикальная карусель), либо по горизонтали (горизонтальная карусель). Автоматическая выгрузка единиц хранения в таких системах не предусмотрена, поэтому интеграция с внутрицеховой роботизированной транспортной системой затруднительна, но может осуществляться с участием человека, перекладывающего единицы хранения на транспортный робот.

Лифтовые системы предназначены для хранения и выдачи единиц хранения как в лотках, так и на паллетах и полках (длинномеры и плитные материалы). Единицы хранения размещаются и подаются к окну выдачи на полках стеллажей (несущие полки) с помощью экстрактора - подъемного механизма (лифта), оснащенного специальными захватами для полок. В отличии от карусельных систем хранения нужная полка подается к окну выдачи без перемещения других полок. Лифтовые системы получили широкое распространение на предприятиях машиностроения, для хранения металлических листов, труб, профиля. Хранение длинномеров и плитных материалов осуществляется в кассетах – специальных несущих полках. Некоторые модели лифтовых систем, предназначенных для хранения грузов на поддонах, или хранения плитных материалов, могут оснащаться автоматизированными системами загрузки/выгрузки - таким образом, возможна интеграция лифтовых систем с внутрицеховой роботизированной транспортной системой.

Шаттл-системы предназначены для хранения и выдачи единиц хранения в лотках, коробах или на паллетах. Лотки, или паллеты размещаются на стеллажах, а функцию их загрузки/выгрузки выполняют грузовые автоматические тележки – шаттлы. Шаттлы перемещаются по рельсам, закрепленным на стеллажной системе, а для загрузки/выгрузки лотков (паллет) применяется специальный механизм, закрепленный на шаттле – экстрактор. Шаттл-системы обладают высокой эффективностью – шаттл оперирует одним поддоном, или лотком/коробом, в отличии от карусельных или лифтовых систем, оперирующих полками, или целыми стеллажами, что не требует выполнять дополнительную операцию – отбор с полки/стеллажа нужного груза и обеспечивает хорошую возможность интеграции с транспортными роботами. Кроме того, шаттлы перемещаются с высокой скоростью – до 5 м/с, обеспечивающую высокую производительность системы.

В качестве альтернативы лифтовым и карусельным система хранения может применяться **роботизированный склад**, широко применяемый для комплектации заказов на складах интернет-магазинов. В данном решении, хранение осуществляется в ячейках мобильных стеллажей, а загрузка/выгрузка на станциях комплектации (Рис.5.7).

Рис. 5.7. Склад с роботом-штабелером

Перемещение стеллажей осуществляется мобильными роботами Р-серии. Конфигурация мобильных стеллажей позволяет организовать как мелкоячеистое хранение, так и хранение крупногабаритных грузов на поддонах. Грузоподъемность мобильных роботов – до 1000 кг. Интеграция с транспортной внутрицеховой системой, для грузов, размещаемых в ячейках стеллажей, осуществляется с участием человека, перекладывающего на станции комплектации грузы из ячеек стеллажей на транспортные роботы, а для грузов, размещаемых на поддонах, может осуществляться автоматическая интеграция.

Еще одним решением для организации роботизированного склада являются роботы-погрузчики, описанные в предыдущей статье, посвященной внутрицеховым роботизированным транспортным системам РТНС. Такие роботы могут применяться для размещения на хранение и выдачу с хранения крупногабаритных грузов как на поддонах, так и с применением других видов тары. Стоит отметить, что роботы, применяемые в составе роботизированного склада, могут выполнять и функцию внутрицехового транспорта, доставляя единицы хранения к основному технологическому оборудованию.

5.3. Техническое обслуживание мехатронных и робототехнических систем

Эффективное использование мехатронных и робототехнических в значительной мере определяется четкой организацией их эксплуатации. Под эксплуатацией понимают совокупность действий по транспортировке, хранению, подготовке и использованию по назначению технических средств, а также их техническому обслуживанию и текущему ремонту. Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение в следующих областях:

- станкостроение и оборудование для автоматизации технологических процессов;
- робототехника (промышленная и специальная);
- авиационная, космическая и военная техника;
- автомобилестроение (например, антиблокировочные системы тормозов, системы стабилизации движения автомобиля и автоматической парковки);
- нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, грузовые тележки, электророллеры, инвалидные коляски);
- офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты);
- элементы вычислительной техники (например, принтеры, плоттеры, дисководы);
- медицинское оборудование (реабилитационное, клиническое, сервисное);
- бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и другие машины);
- микромашины (для медицины, биотехнологии, средств связи и телекоммуникации);
- контрольно-измерительные устройства и машины;
- фото- и видеотехника;
- тренажеры для подготовки пилотов и операторов;
- шоу-индустрия (системы звукового и светового оформления) и др.

Очевидно, что для каждой из перечисленных областей присуще свои специфические особенности эксплуатации мехатронных модулей и систем. В тоже время можно выделить некоторые общие положения

эксплуатации и обслуживания рассматриваемых мехатронных и робототехнических систем.

Техническое обслуживание (ТО) – это комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих поддержание исправности и работоспособности ПР при подготовке и использовании их по прямому назначению. ТО является одним из этапов технической эксплуатации, главная задача которого–поддержание надежности работы изделия. Эта задача решается путем выбора оптимальной периодичности профилактических работ и быстрого восстановления его работоспособности для обеспечения требуемой вероятности исправной работы в произвольный момент времени. Не менее важной задачей ТО является организация и проведение технических мероприятий, благодаря которым параметры и характеристики изделия в течение всего периода эксплуатации будут находиться в требуемых по техническим условиям (ТУ) пределах. Профилактические работы занимают особое место в системе ТО и направлены на предупреждение преждевременного изнашивания, повреждений и отказов. Отказы предупреждают регулированием параметров элементов в пределах предусмотренного при проектировании диапазона, а также заменой элементов, у которых износ или рабочие характеристики близки к предельно допустимым. Конечная цель профилактики – окончательное исключение ремонта или выполнение его только при повреждениях, полученных в результате аварии.

При проведении профилактических работ с целью уточнения объема ремонта определяют техническое состояние ПР. Для этого производят контрольные замеры параметров и сравнение их с номинальными значениями, указанными в формуляре или в инструкции по эксплуатации. При несоответствии хотя бы одного из параметров номинальному значению ПР считается неисправным. В этом случае определяют причину неисправности и принимают меры для ее устранения. Объем планового ТО определяется при проектировании изделия и уточняется в период эксплуатации. Объем непланового (текущего) ТО определить заранее невозможно. Поэтому сокращение общей трудоемкости ТО достигается более тщательным выполнением профилактических работ и выбором их оптимальной периодичности. Это, в свою очередь, снижает вероятность появления повреждений и отказов, а значит уменьшает трудоемкость непланового ТО и затраты на него. Однако следует помнить, что основные материальные затраты на ТО

определяются необходимостью содержания высококвалифицированных специалистов.

Для сокращения затрат на ТО, составляющих основную часть эксплуатационных расходов, в современных автоматизированных системах предусматривается встроенная система автоматизированного контроля, которая может не только обнаружить отказы, но и выявить их причины. Такая система контроля позволяет оценить правильность функционирования и техническое состояние изделия в любой момент времени при участии менее квалифицированного персонала.

В перечень работ по ТО входят осмотр, контроль технического состояния ПР и системы управления, чистка, промывка и смазка узлов ПР, регулировка его отдельных систем, замена отдельных износившихся деталей и вышедших из строя элементов системы управления, чистка контактов элементов системы управления, проверка и наладка приводов и системы управления, а также работы по устранению неисправностей.

В комплекс работ по ежедневному обслуживанию входят проверки: визуальная; отсутствия вибрации ПР и отдельных его элементов; уровня шума механизмов ПР и мехатронных модулей; отсутствия нагрева подшипников; показаний манометров гидросистем; работы смазочных систем по маслоуказателям; отсутствия ударов в механизмах ПР и системах; плавности перемещения исполнительных механизмов и отсутствия рывков при реверсировании; отсутствия утечки масла; наличия и исправности защитных устройств, предохранительных щитков и кожухов; надежности захватных устройств, индикации и сигнализации системы управления. Помимо проверок оператор ежедневно протирает и очищает ПР, смазывает места и механизмы, требующие ежедневной смазки.

Одним из признаков изношенности подвижных сопрягаемых и вращающихся деталей в мехатронных модулях движения и ПР является наличие в масле продуктов износа. Интенсивность нарастания содержания металла в масле в функции времени характеризует скорость износа сопряженных деталей. Для определения этой зависимости через равные промежутки времени из гидросистемы ПР отбирают пробы масла' и определяют концентрацию металла в них. По данным измерения определяется степень износа. На практике для определения состава масла наиболее часто применяют спектрометр МФС-3, спектрограф

ИСП-30, а также фотоколориметр ФЭК-М. При отсутствии специальной аппаратуры чистота масла проверяется по цвету и форм пятна от капли масла, наносимого на фильтровальную бумагу. Черный цвет пятна указывает на недопустимое количество механических примесей. Измерение давления, расхода и утечек рабочей жидкости наиболее часто выполняется при диагностирований гидропривода ПР. Снижение давления и расхода рабочей жидкости в гидросистеме свидетельствует об износе деталей насоса, повышенных утечках жидкости и неправильной регулировке гидропривода. Признаком нарушения нормальной работы гидропривода может быть и повышенное давление. Давление в гидросистемах контролируется различными типами манометров и преобразователей давления. Серийно выпускаются пьезоэлектрические преобразователи ЛХ600, ЛХ604, ЛХ608 и др. При стендовых испытание их применяют манометры М1М, в которых измеряемое давление рабочей жидкости преобразуется в пропорциональный по величине электрический ток, подводимый к электрическому показывающему или регистрирующему прибору. Для измерения подачи рабочей жидкости применяют расходомеры, основанные на эффекте Кармана, а также струйные, электромагнитные, ультразвуковые, тахометрические и др. Диагностирование систем управления ПР осуществляется по параметрам сигналов в контрольных точках электрических схем либо по периодическим проверкам функционирования с помощью специальных тестовых программ.

В организации технического обслуживания ПР важное место занимает обеспечение техники безопасности. При неправильном использовании и обслуживании роботы могут представлять опасность для работающих в том же помещении людей и оборудования. Установлено, что при регулярном техническом обслуживании роботы отличаются высокой степенью безопасности. Техническое обслуживание позволяет обнаружить незначительные повреждения, которые могут привести к несчастному случаю. Например, при малейшем повреждении гидравлического шланга может произойти утечка рабочей жидкости в виде струи высокого напора, которая может травмировать находящихся поблизости рабочих, если они не защищены в соответствии с требованиями технической безопасности. Могут возникнуть и более серьезные осложнения, приводящие к отказу комплекса, если допуска-

ется корродирование деталей системы управления. Даже при техническом обслуживании не исключается вероятность повреждений. В целях повышения безопасности применяют чувствительный к давлению настил, отключающий робот, если в его рабочую зону входит человек. Иногда вокруг ПР развешиваются тонкие пластиковые ленты, выполняющие роль занавеса и затрудняющие доступ к роботу. Для предотвращения опасных ситуаций используют щиты, ограждения, аварийные сигналы и предусматривают отключение самого робота. С этой же целью роботы оснащаются чувствительными устройствами, обнаруживающими факт нарушения границы зоны обслуживания, после чего следует запрет на любые действия ПР. Иногда рука робота жестко фиксируется в определенном положении механическим приспособлением. Это повышает безопасность в тех случаях, когда рабочий находится в рабочей зоне ПР, выполняя его техническое обслуживание.

5.4. Эксплуатация мехатронных и робототехнических систем

К эксплуатации мехатронных систем, ПР и созданных на их основе РТК может допускаться только персонал, прошедший специальное обучение по безопасному обслуживанию со сдачей экзамена специальной комиссии. Перед допуском на обслуживание РТК персонал должен получить вводный инструктаж, а в процессе работы строго руководствоваться инструкцией по безопасности труда. Вводный инструктаж проводится для ознакомления со специфическими особенностями данного производства, включая потенциально опасные участки, которые могут проявиться при нарушении требований безопасности труда. Обращается особое внимание на возможность появления опасностей при выполнении технологического процесса, на опасные зоны работающего оборудования, оградительные устройства и правила пользования ими, на необходимость перед началом работы убедиться в исправности и нормальном функционировании оборудования. Инструктаж должен сопровождаться показом безопасных методов и приемов работы. При изменении технологического процесса работы оборудования или в других случаях изменения условий труда для обслуживающего персонала должен проводиться внеочередной инструктаж.

Эксплуатация ПР и РТК должна проводиться в строгом соответствии с эксплуатационной документацией. Согласно ГОСТ 2.601–2013 эксплуатационными называются документы, предназначенные для

изучения изделия и правил его эксплуатации. В комплект эксплуатационных документов входят: техническое описание; инструкция по эксплуатации; инструкция по ТО; инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке на месте применения (сокращенно инструкция по монтажу); формуляр или паспорт; ведомости одиночного, ремонтного и группового комплектов ЗИПа; ведомость эксплуатационных документов. Техническое описание и инструкция по эксплуатации объединяются в один документ и предназначаются для следующих целей: изучения конструкции, принципа действия и правил эксплуатации ПР; изучения правил техники безопасности; руководства при обнаружении и устранении неисправностей и отказов; руководства при регулировочных и наладочных работах силами обслуживающего персонала; руководства при проведении ТО в процессе эксплуатации и при длительном бездействии.

В инструкции по ТО указываются меры безопасности, порядок и правила ТО для различных условии эксплуатации. Большое внимание уделяется видам ТО, их периодичности; приводится перечень основных проверок для оценки технического состояния ПР, которые следует выполнять после каждого вида ТО.

Основной раздел инструкции по монтажу содержит требования по монтажу, регулировке, наладке и вводу в действие ПР в период монтажных и наладочных работ, а также в период приемо-сдаточных испытаний. В инструкции излагаются также меры предосторожности и правила пожарной безопасности при выполнении работ, даются указания по проведению технических мероприятий при транспортировании, установке и хранении ПР на месте эксплуатации.

Формуляром называется документ, в котором приводятся гарантированные заводом-изготовителем основные параметры и технические характеристики ПР и отражаются сведения по его техническому использованию, обслуживанию и ремонту за весь период эксплуатации. Например, по мере технического использования ПР в формуляр заносятся сведения о замене и восстановлении деталей, о наработке ПР с начала эксплуатации, о моменте возникновения неисправностей и отказов. В формуляре записываются способы отыскания и устранения неисправностей и затраченное на них время. Формуляр является единственным из эксплуатационных документов, в котором отражаются все

изменения, происходящие с ПР в процессе эксплуатации. По этой причине формуляр всегда хранится совместно с изделием.

Паспорт предназначен для тех же целей, что и формуляр. Он выпускается для мехатронных и робототехнических систем, гидравлических, пневматических и электрических устройств и приборов, поставляемых по ТУ.

Ведомости ЗИПа являются документами, определяющими номенклатуру, необходимое количество, назначение и укладку запасных частей, инструмента, принадлежностей и материалов, необходимых для обеспечения и восстановления работоспособности ПР в течение всего периода эксплуатации, включая заводской средний ремонт с выводом ПР из эксплуатации.

Ведомость эксплуатационных документов содержит перечень документов с указанием мест их укладки.

Перед первоначальным включением устройства в работу обслуживающий персонал должен тщательно изучить основной эксплуатационный документ – техническое описание и инструкцию по эксплуатации. Особо внимательно необходимо изучить разделы, касающиеся пультов управления оператора и мер безопасности при эксплуатации ПР. Основными причинами возникновения аварийных ситуаций могут явиться: неправильные (непредусмотренные) движения ПР; ошибочные действия оператора при обслуживании ПР, работающего в автоматическом режиме (в том числе появление человека в рабочем пространстве ПР, ошибки в программировании и т. п.); отсутствие четкой информации оператору о ситуации в рабочей зоне ПР, параметрах движения ПР и причинах, возникающих на РТК неполадок. Таким образом, для обеспечения безопасности труда при эксплуатации ПР и РТК наряду с использованием специальных технических средств необходимо применять соответствующие приемы и методы проведения работ, а также строго соблюдать регламентированные режимы эксплуатации ПР.

Неполадки и аварийные ситуации, которые возникают в процессе эксплуатации ПР, должны ежемесячно регистрироваться оператором или наладчиком в специальном журнале.

Перед началом работы оператор должен убедиться в исправном состоянии основного и вспомогательного технологического оборудования, средств обеспечения безопасности, в отсутствии посторонних лиц и предметов в рабочем пространстве ПР.

Для обеспечения движений ПР в соответствии с требованиями технологического процесса необходимо произвести ввод программы. Непосредственному программированию предшествует разработка алгоритма функционирования управляющей программы. Этот алгоритм формируется с учетом специфики конкретного технологического процесса и оборудования. В указанном алгоритме определяется последовательность использования всей требуемой для функционирования ПР информации, включая очередность выполнения отдельных операций и длительность их реализации. Помимо этого, в алгоритме предусматривается информация, необходимая для обеспечения взаимодействия ПР с оборудованием. Особенности программирования ПР в значительной степени определяются их назначением. Так, управляющая программа ПР, выполняющего окрасочные, сварочные и другие аналогичные работы, представляет собой не разветвляемую последовательность выполняемых операций, которая запоминается в режиме обучения. Управляющая программа ПР, обслуживающего металлорежущие станки, в значительной степени определяется как его конструкцией, так и числом единиц оборудования. Управляющая программа промышленных роботов набирается непосредственно с пульта оператора путем нажатия соответствующих кнопок. Контроль правильности набора осуществляется по цифровому дисплею. Если программа набрана верно, нажимается кнопка ЗП (запись) и производится загрузка программы в ячейку ОЗУ с выбранным адресом. Ввод последующей команды производится аналогично. В робототехнике широкое используется программирование методом обучения. Процесс обучения подразделяется на следующие виды:

- обучение ПР с целью формирования кадров управляющей программы. Производится путем задания оператором рабочих движений ПР, при которых положение рабочего органа определяется показаниями датчиков положений звеньев ПР;

- обучение ПР адаптивным формам поведения. Осуществляется путем ввода алгоритмов коррекции управляющих программ при изменении внешних условий, либо ввода в память данных о положении и характеристиках объектов внешней среды.

Системы обучения следует подразделять на три класса:

А – простейший, обучение производится путем ввода в память устройства программного управления последовательности состоянии

ПР и технологических команд. Возможно наличие линейной интерполяции, средства организации адаптивной работы ПР отсутствуют. Точность рабочих движений ПР соответствует точности движения в процессе обучения. При изменении размеров или ориентации рабочего органа ПР требуется переобучение ПР;

В – расширенный, средства класса А дополняются средствами редактирования исходной формы управляющей программы, линейной, круговой (и возможно других типов) интерполяции и средствами обратного преобразования координат для ПР непрямоугольной кинематической схемы. Обучение производится путем организации движений в системе координат объектов внешней среды с использованием обратного преобразования координат. Допускается использование средств трансляции исходной формы управляющей программы в рабочую форму вне режима реального времени после окончания процесса обучения и до включения рабочего режима. Изменение размеров или ориентации рабочего органа ПР не требует переобучения ПР;

С –высший, обучение производится комбинированным методом и обеспечивает получение адаптивной управляющей программы в виде последовательности операторов и команд условных переходов в системе команд ЭВМ устройства программного управления и соответствующих структур данных, содержащих все необходимые числовые параметры и операции для выполнения рабочих движений и контрольных действий ПР с адаптацией к неизвестным параметрам рабочего процесса. Точность рабочих движений ПР соответствует точности работы его системы управления, определяемой ТУ на ПР. Использование специальных видов интерполяции, преобразований координат и трансляции обеспечивает повышение производительности обучения по сравнению с системой класса А.

Обучение с целью последующего воспроизведения роботом рабочей программы является наиболее распространенным методом управления промышленными роботами. Программирование обучением выполняется за несколько шагов:

– обучение робота в медленном режиме при ручном управлении для выполнения технологической операции и запись углов суставов робота с целью повторного воспроизведения движения;

– корректировка и воспроизведение обученного движения;

– если обученное движение правильно, робот приступает к выполнению повторяющихся операций с заданной скоростью.

Обучение робота может проводиться в системе координат сочленений **joint,** мировой системы координат **world** или координат рабочего органа **tool**, путем непосредственного ввода численных значений координат обученной точки либо с использованием режима пульта.

В последнем случае робот выводится в нужную позицию и текущие координаты запоминаются. Для обычной точки запоминаются координаты **X,Y,Z, o, a, t,** а для прецизионной точки**- q , q , q , q , q , q .**

При обучении робота следует помнить, что в случаях, когда требуется сохранить ориентацию инструмента относительно рабочей поверхности, необходимо применять обучение в системе координат **world** или **tool.** Обучение в системе **world** можно применить, если, рабочая поверхность параллельна плоскости XY мировой системы координат. При этом следует учитывать, что положение системы **world** может быть перемещено на эту плоскость с помощью инструкции BASE. При обучении схват манипулятора движется вдоль осей повернутой базовой системы координат, относительно которой будут запоминаться координаты обученной точки. При использовании точек, запомненных относительно смещенной базовой системы координат, в управляющей программе необходимо указать величину смещения базовой системы координат с помощью инструкции BASE X,Y,Z.

При обучении в системе координат инструмента необходимо обеспечить желаемую ориентацию системы **tool** относительно рабочей плоскости, после чего схват манипулятора будет двигаться вдоль осей системы **tool,** а координаты точки будут запоминаться в мировой системе координат **world.** Данный метод применяется в случае более сложного расположения рабочей поверхности либо, когда требуется сохранить ориентацию инструмента на всей траектории движения. В более общих случаях используется одновременно обучение во всех трех системах координат. Если при обучении использовалась инструкция BASE, то данная инструкция должна быть также применена и в управляющей программе.

В процессе эксплуатации в мехатронных и робототехнических устройствах периодически возникают различного рода неисправности. Многие современные модели имеют весьма сложное схемное построение, и зачастую процесс отыскания в них неисправностей бывает таким же сложным и очень трудоемким, что требует от специалиста,

осуществляющего ремонт, хороших знаний и навыков работы. Ремонт изделий в основном осуществляется в соответствии с общими принципами ремонта модулей, блоков и самого оборудования, но следует иметь в виду, что есть и характерные отличия, связанные с технологией изготовления, спецификой использования, условиями эксплуатации мехатронных составляющих. Процедура ремонта любого технического объекта может быть представлена в виде последовательности мероприятий, основными из которых являются:

• установление факта неработоспособности;

• определение отказавшего блока (модуля);

• выявление неисправных элементов в вышедшем из строя блоке (модуле);

• восстановление вышедших из строя блоков (модулей);

• контроль работоспособности устройства;

• регулировка устройства.

Неисправности могут быть вызваны различными факторами. Их можно разделить на механические и электрические.

Механические неисправности связаны с поломкой или повреждением элементов различных кинематических схем привода, загрузки носителей информации, галетных или кнопочных переключателей, механизмов настройки и многих других.

Электрические неисправности вызываются выходом из строя тех или иных элементов электрической принципиальной схемы, а также дефектами монтажа. Большинство механических неисправностей и в ряде случаев – электрических выявляются при проведении визуального осмотра аппаратуры. Визуальным осмотром определяют качество монтажа, отсутствие обрывов в печатных дорожках и проводниках, качество паек (холодные пайки), а также контролируют соответствие номиналов резисторов и емкостей конденсаторов (рабочих напряжений) требованиям принципиальных схем. Часто при визуальном осмотре выявляются обуглившиеся резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, наличие подтеков пропиточного материала в трансформаторах, механические повреждения в керамических конденсаторах и др. О наличии электрических неисправностей в аппаратуре могут свидетельствовать запахи от перегретых обмоток трансформаторов, дросселей, резисторов, изменение тона звуковых колебаний, вызванных работой трансформатора (гул с частотой 50 Гц). При проведении визу-

ального осмотра необходимо вручную проверять качество крепления механических узлов (трансформаторов, дросселей, переключателей электрических конденсаторов, переменных и полупеременных резисторов и др.).

После проведения ремонта проводится контроль работоспособности оборудования, который заключается в проверке нескольких технических параметров (например, проверяется, регулируется резкость и яркость изображения телевизионного приемника устройства видеоконтрольного и т. д.). Если контроль работоспособности объекта дал положительные результаты, то проводится регулировка. Практика показывает, что найти причину неисправности в современном оборудовании, комплексе часто бывает значительно сложнее, чем устранить ее. Знание наиболее распространенных практических методов поиска места отказа позволит провести ремонт с наименьшими затратами времени и средств.

Описание моделей объектов ремонта. Процесс поиска неисправностей в устройствах представляет собой совокупность элементарных проверок, т. е. физических экспериментов над ремонтируемым устройством, целью которых является изучение его реакции на некоторое воздействие. Выявить неисправность можно только в том случае если существует такое тестовое воздействие, реакция на которое у работоспособного и неработоспособного устройств различна. В общем случае может существовать несколько элементарных проверок, позволяющих выявить определенное техническое состояние устройства. Они различаются множеством контрольных точек, видом и последовательностью выходных тестовых воздействий. Разнообразие перечисленных возможностей вызывает необходимость разработки процесса поиска неисправностей в устройстве. Первый этап предполагает наличие некоторого описания ремонтируемого устройства и его поведения в работоспособном и неработоспособном состояниях. Описание в аналитической, векторной, графической или табличной форме называют *математической моделью ремонтируемого устройства.* Любое электронное устройство характеризуется зависимостью множества выходных параметров Y – {Y^ от множества входных X = $\{X_k\}$ и внутренних A = $\{A_J\}$ переменных. Поведение модели устройства в общем случае зависит от времени *t.*

$$Y= F (X, A). \quad (5.1)$$

Такая запись представляет собой систему передаточных функций работоспособного устройства. Неисправность, возникшая в устройстве, приводит к искажению передаточных функций, характеризуемых множеством моделей неработоспособного объекта:

$$Y = F(X, A^i > т), \quad (5.2)$$

где $i = 1, 2, 3, ..., m$ – номера неисправных состояний.

Часто в явном виде задается только модель (1) работоспособного устройства, а модели (2) подлежат разработке. Для большинства сложных устройств обычно не удается составить модель (2), используя только внешние узлы – основные входы и выходы. Поэтому эта система уравнений должна включать описание внутренних, электрических и временных зависимостей, выявленных на расширенном множестве функциональных узлов. Обозначим множество всех допустимых элементарных проверок ремонтируемого устройства P = {P}. Допустимыми будем считать все физически осуществимые элементарные проверки при поиске неисправностей. Каждая проверка характеризуется значением *X* воздействия, подаваемого на ремонтируемое устройство, составом контрольных точек и значением реакций устройства на эти воздействия. Число возможных результатов проверки определяется числом контрольных точек в устройстве и числом воздействий на него. Ответные реакции на входные воздействия Xj соответственно для работоспособного и неработоспособного устройств определяются следующими уравнениями:

$$R = F(A). \quad (5.3)$$

Элементарные проверки позволяют обнаруживать любое состояние из множества неработоспособных состояний устройства, если найдется хотя бы одна проверка P, для которой ответные реакции у работоспособного R и неработоспособного P. устройств различны, т. е. P не равно R. Для разработки процедуры поиска неисправностей необходимо получить множество реакций для всех допустимых элементарных проверок P и выбрать те проверки из множества {P}, которые позволяют различить все состояния из множества технических состояний устройства S. Процесс поиска неисправности при этом требует глубокого анализа результатов измерений большого числа вычислительных операций и многократного сравнения их результатов. Ввиду сложности аналитические методы разработки этого процесса нашли применение в тех случаях, когда устройства по схемным решениям просты и мощность

множества технических состояний ограничена (например, только с одиночными неисправностями), а элементарные проверки проводятся с помощью однотипных входных воздействий. Более проста, наглядна и удобна при анализе и разработке процедуры поиска неисправностей табличная модель устройства. Очевидно, что достоверно обнаруживать неисправности в устройствах помогает множество элементарных проверок. Одна из задач оптимизации этого процесса состоит в сокращении числа элементарных проверок, обеспечивающих требуемую глубину поиска неисправностей.

Требования безопасности при обслуживании и эксплуатации мехатронных и робототехнических систем изложены в ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011. При разработке ПР и средств защиты лиц и обслуживающего персонала должны учитываться специфические свойства ПР, связанные с особенностями конструкции, выполняемых функций, динамики и алгоритмов управления перемещением рабочих органов. Средства защиты должны быть разработаны с учетом необходимости нахождения обслуживающего персонала в рабочем пространстве ПР при его включении, программировании, контроле и обслуживании, при этом должна быть учтена возможность возникновения опасной ситуации, связанной с несогласованностью работы ПР и сопряженного с ним оборудования. Способ защиты лиц и обслуживающего персонала должен быть выбран с учетом анализа конструкции ПР, методов его программирования и обслуживания. Перед выбором способа защиты должны быть определены вредные производственные факторы и оценен риск (степень риска) возникновения опасной ситуации.

Обеспечение безопасности лиц и обслуживающего персонала должно основываться на следующих принципах:

- во время производственного процесса не допускается нахождение лиц и обслуживающего персонала в рабочем пространстве;

- во время программирования, контроля, обслуживания и в других случаях, требующих нахождения обслуживающего персонала в рабочем пространстве ПР, вероятность возникновения опасной ситуации должна быть минимальной.

Для обеспечения выполнения этих принципов могут быть реализованы следующие мероприятия:

- ограничение рабочего пространства с помощью физических барьеров, защитных ограждений, в том числе с блокировками, а также использование устройств обнаружения;

- организация рабочих мест обслуживающего персонала таким образом, чтобы все работы по наладке и обслуживанию ПР производились вне рабочего пространства;

- внедрение дополнительных мер защиты обслуживающего персонала, разрабатываемых в зависимости от конструктивных особенностей ПР и необходимых для обеспечения безопасности в случаях, когда нахождение обслуживающего персонала в рабочем пространстве не может быть полностью исключено.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте структуры автоматизированных производств в зависимости от серийности выпускаемой продукции.
2. Объясните структуру роботизированных комплексов.
3. Охарактеризуйте структуру гибкой производственной системы.
4. Какие требования предъявляются к роботизированным транспортно-накопительным системам?
5. Приведите примеры устройства роботизированных складов.
6. В чем заключается техническое обслуживание роботов и мехатронных систем?
7. То входит в перечень работ по ТО?
8. Виды организации эксплуатации оборудования.
9. Назовите признаки изношенности деталей.
10. Назовите признаки изношенности элементов пневмо и гидропривода.
11. Назовите признаки изношенности элементов электропривода.
12. Назовите признаки изношенности системы управления.
13. Назовите состав эксплуатационных документов.
14. Регламент работ перед пуском оборудования.
15. Как формируется управляющая программа для робота и мехатронной системы?
16. Как осуществляется обучение робота?
17. Назовите классы систем обучения роботов.
18. Что является моделью ремонтируемого изделия?
19. Назовите основные требования безопасного обслуживания мехатронных и робототехнических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы построения исполнительных устройств роботов и мехатронных модулей, их информационных и управляющих устройств; структура роботизированных технологических центров. Проанализированы организация и проведение монтажных работ робототехнических и мехатронных систем, включая механическую часть, устройств пневмо- и гидросистем, устройств управления и электрооборудования, роботизированных технологических комплексов. Представлены основы наладки механических устройств промышленных роботов и мехатронных систем и их компонентов, параметрическая настройка регуляторов тока, скорости и положения в электроприводах роботов и мехатронных систем, в том числе по компьютерным моделям, пример наладки мехатронной системы металлорежущего станка и мехатронной системы лазерного технологического комплекса. Описаны также методы и средства испытаний и диагностики роботов и мехатронных систем, основы их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт промышленных роботов. Малахов М. В., Нейбергер Н. А., Сидорин Г. Н. – М.: Металлургия, 1989. 224 с.

2. Введение в мехатронику: Уч. пособие / Грабченко А.И., Клепиков В.Б., Доброскок В.Л., Крыжный Г.К., Анищенко Н.В., Кутовой Ю.Н., Пшеничников Д.А., Гаращенко Я.Н. – Х.: НТУ "ХПИ", 2014. – 274 с. 3. Сырямкин В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.

4. Бастрон, А.В. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие. Часть 1. – 2-е изд., испр. и доп. / А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев, А.Г. Черных; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 291 с.

5. Таугер В. М. Конструирование мехатронных модулей : учеб. пособие. - Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – 336 с.

6. Сибикин М.Ю. Технологическое оборудование. Металлорежущие станки : учебник М. : ФОРУМ, 2017. - 448 с.

7. Феофанов, А.Н. Техническое обслуживание, ремонт и испытание мехатронных систем [Текст] : учебник : для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальности "Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)" / А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина. - Москва: Академия, 2018. – 302с.

8. Науменко, А. П. Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль : учеб. пособие / А. П. Науменко ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 152 с. : ил.

9. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : URSS, 2019. – 240 с.

10. ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Введ. 1982-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 24 с.

11. ГОСТ20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. Введ. 1991-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 11 с.

12. Глебов, Н. А. Надежность и диагностика устройств управления робототехническими и мехатронными системами : учеб. пособие для студентов специальностей "Роботы и робототехн. системы" и "Мехатроника" направления "Мехатроника и робототехника" / Н. А. Глебов ; М-во образования Рос. Федерации, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т). - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004. - 91 с.

13. Схиртладзе А. Г., Новиков В. Ю. Технологическое оборудование машиностроительных производств. – М.: Высш. шк., 2009.

14. ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011 Роботы и робототехнические устройства. Часть 2. Робототехнические системы и их интеграция. Требования по безопасности для промышленных роботов. М. : Стандартинформ, 2020. – 70 с.

15. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник в 3-х т. Т.3: Проектирование станочных систем /Под общей ред. А.С. Проникова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Изд-во МГТУ «Станкин», 2000.

16. М.А. Босинзон. Автоматизированные мехатронные модули линейных и вращательных перемещений./ Журнал «Приводная техника» №1,2002.с.10-19.

17. Умнов, В.П. Построение и моделирование манипуляционных исполнительных систем многофункциональных роботизированных технологических центров: учебное пособие / В. П. Умнов - Владимир: ВлГУ, 2016. – 118с.

18. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение : учебное пособие / Подураев Ю.В.. – Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 256 с.

19. Приводы серии CSD-DH/ Инструкция по эксплуатации БТКУ. 435121-001.001ИМ1. – С. Петербург, 2014. - 88с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Б1.В.09.14 ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Автоматики и компьютерных технологий	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Бочков В. С.	Осипов П. А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 20.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 7
Модуль 1. Основы полупроводниковой электроники 8
1. Физические основы работы полупроводниковых приборов 9
1.1. Электропроводность полупроводников 9
1.2. Электрические переходы 15
1.3. Смещение *p–n*-перехода 19
1.4. Емкость *p–n*-перехода 22
1.5. Пробой *p–n*-перехода 23
1.6. Полупроводниковые диоды 25
2. Биполярные транзисторы 27
2.1. Структура и принцип действия биполярного транзистора 27
2.2. Физическая нелинейная модель транзистора и эквивалентные схемы 30
2.3. Способы включения биполярных транзисторов 34
2.4. Основные режимы работы транзистора 35
2.5. *h*-параметры биполярного транзистора 36
2.6. Основные параметры биполярных транзисторов 38
2.7. Транзисторы с инжекционным питанием 40
3. Полевые транзисторы 41
3.1. Транзистор с управляющим *p–n*-переходом 41
3.2. МДП (МОП)-транзисторы 45
3.3. МДП-транзисторы со встроенным каналом 49
3.4. Способы включения полевых транзисторов 51
3.5. Полевой транзистор как четырёхполюсник 51
3.6. МДП-структуры специального назначения 52
3.7. Нанотранзисторы 54
4. Электронные приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением 58
4.1. Туннельный и обращенный диоды 58
4.2. Двухбазовый диод (однопереходный транзистор) 59
4.3. Лавинный транзистор 61
4.4. Динисторы и тиристоры 64
5. Компоненты оптоэлектроники 69
5.1. Излучающие диоды 71
5.2. Фоторезисторы 72
5.3. Фотодиоды 74
5.4. Фототранзисторы 76

5.5. Оптроны 77
6. Краткая характеристика индикаторов и лазеров 79
6.1. Вакуумные люминесцентные индикаторы 80
6.2. Электролюминесцентные индикаторы 82
6.3. Жидкокристаллические индикаторы 83
6.4. Полупроводниковые знакосинтезирующие индикаторы 84
6.5. Дисплеи 86
6.6. Лазеры 87
Модуль 2. Основы аналоговой схемотехники электронных средств 92
7. Электронные усилительные устройства 92
7.1. Общие сведения об усилителях электрических сигналов 92
7.2. Основные параметры и характеристики усилителей 94
7.3. Усилительные каскады на биполярных транзисторах 101
7.4 Усилительные каскады на полевых транзисторах 110
7.5. Режимы работы усилительных каскадов 115
8. Усилители мощности и усилители постоянного тока 117
8.1. Усилители с трансформаторным включением нагрузки 118
8.2. Безтрансформаторные двухтактные усилители 119
8.3. Усилители постоянного тока 121
8.4. Дифференциальный усилитель 125
8.5. Некоторые схемные решения, используемые в усилителях 129
9. Операционные усилители 133
9.1. Общие сведения 133
9.2. Идеальный операционный усилитель 134
9.3. Основные параметры и характеристики операционных усилителей 136
9.4. Обратные связи в усилительных устройствах 140
9.5. Примеры использования операционных усилителей и обратных связей в некоторых схемах 144
9.6. Области применения операционных усилителей в электронных схемах 150
10. Генераторы электрических колебаний и электронные ключи 151
10.1. Общие сведения 151
10.2. Генераторы гармонических сигналов 153
10.3. Кварцевые генераторы 155
10.4. Генераторы колебаний прямоугольной формы (мультивибраторы) 156

10.5. Импульсные сигналы 161
10.6. Электронные ключи 164
10.7. Использование МОП-ключей в электронных устройствах с переключаемыми конденсаторами..... 172
Модуль 3. Основы цифровой схемотехники электронных средств 179
11. Основы теории логических (переключательных) функций 179
11.1. Логические функции и элементы..... 179
11.2. Аксиомы, законы, тождества и теоремы алгебры логики (булевой алгебры) 183
11.3. Представление и преобразование логических функций.... 186
11.4. Понятие о минимизации логических функций..... 188
11.5. Структура и принцип действия логических элементов..... 192
11.6. Основные параметры и характеристики логических элементов..... 196
12. Комбинационные логические устройства 201
12.1. Шифраторы и дешифраторы 202
12.2. Мультиплексоры и демультиплексоры 205
12.3. Сумматоры..... 208
12.4. Цифровой компаратор..... 210
12.5. Преобразователи кодов 211
12.6. Арифметико-логическое устройство..... 213
13. Триггеры и цифровые автоматы..... 214
13.1. Триггерная схема на двух усилительных каскадах..... 215
13.2. RS-триггеры на логических элементах..... 217
13.3. Разновидности RS-триггеров..... 222
13.4. JK-триггеры 227
13.5. D-триггер и T-триггер 229
13.6. Несимметричные триггеры..... 233
13.7. Цифровые автоматы 236
14. Регистры и счётчики 240
14.1. Общие сведения о регистрах 240
14.2. Сдвиговые регистры..... 243
14.3. Синхронные сдвиговые регистры с обратными связями 246
14.4. Функциональные узлы на базе регистров сдвига..... 248
14.5. Электронные счетчики 256
15. Запоминающие электронные устройства 262

15.1. Основные параметры и виды запоминающих устройств .. 262
15.2. Статические оперативные запоминающие устройства 264
15.3. Динамические оперативные запоминающие устройства .. 266
15.4. Энергонезависимые оперативные запоминающие устройства 267
15.5. Основные структуры оперативных запоминающих устройств 269
15.6. Постоянные запоминающие устройства 272
15.7. Структурная схема РПЗУ-ЭС (EPROM) 277
15.8. Постоянные запоминающие устройства РПЗУ-УФ 278
15.9. Условные обозначения микросхем и сигналов управления запоминающими устройствами (примеры УГО ЗУ) 279
15.10. Флэш-память 281
16. Направления и перспективы развития электроники 284
Литература 288

ВВЕДЕНИЕ

Специалист в любой технической или научной области, тем более связанной с разработкой и применением электронных средств, должен уверенно ориентироваться в мире электроники.

Основное внимание в конспекте лекций уделено изложению принципов действия, свойств и характеристик как элементарных электронных приборов (диодов, транзисторов, микросхем и т.п.), так и электронных устройств и средств, их использующих.

Конспект лекций состоит из описания теоретического материала трёх модулей дисциплины, тематически связанных между собой.

В модуле 1 рассматриваются, в основном, принципы действия и характеристики дискретных электронных приборов, а модули 2 и 3 посвящены основам схемотехники простейших электронных средств.

МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Электроника – отрасль науки и техники, изучающая законы взаимодействия электронов и других заряженных частиц с электромагнитными полями и разрабатывающая методы создания электронных приборов, в которых это взаимодействие используется для преобразования электромагнитной энергии с целью передачи, обработки и хранения информации, автоматизации производственных процессов, создания аппаратуры, устройств и средств контроля, измерения и управления [25].

Различают три основных направления электроники (рис. 1.1).

Рис. 1.1. Основные направления электроники

С точки зрения применения электронных приборов и устройств в настоящее время наибольшее развитие и распространение получила техническая электроника: аналоговая и цифровая (рис. 1.2).

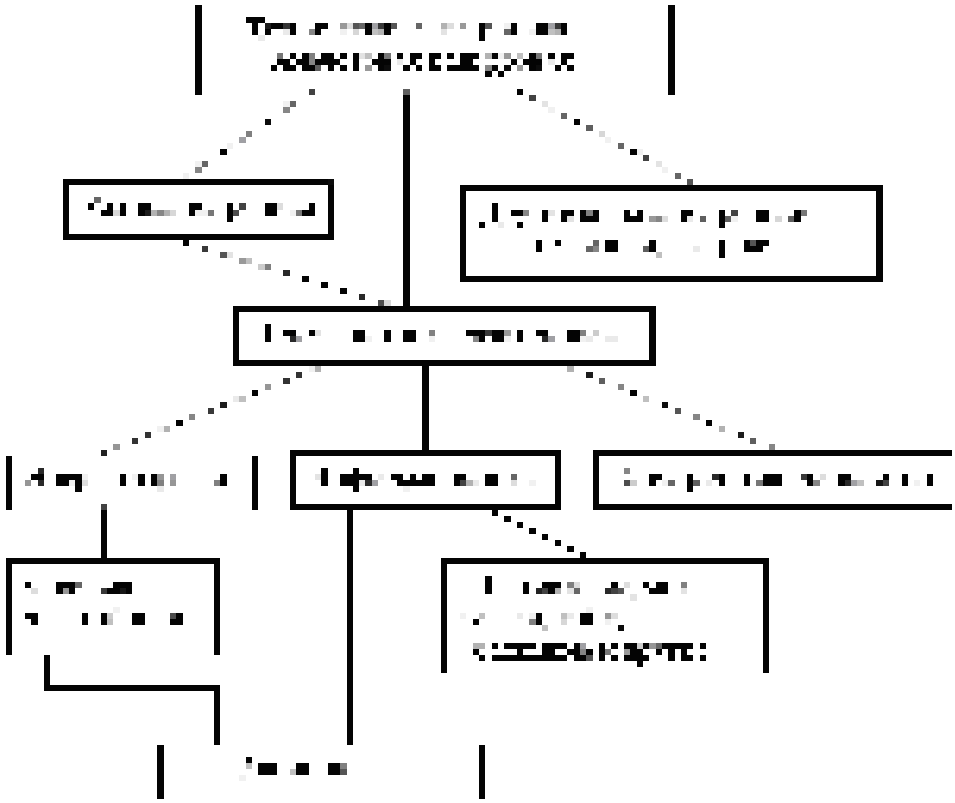


Рис. 1.2. Основные направления технической электроники

Информационная электроника составляет основу электронно-вычислительной и информационно-измерительной техники и устройств автоматики. На базе информационной электроники разрабатываются и изготавливаются электронные устройства получения, обработки, передачи, хранения и использования информации, устройства управления различными объектами и технологическими процессами.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

1.1. Электропроводность полупроводников

Полупроводниками *называют материалы, удельное сопротивление которых при комнатной температуре (25 – 27 ^{0}C) находится в пределах от 10^{-5} до 10^{10} Ом·см и занимающими промежуточное положение между металлами и диэлектриками (металлы ток пропускают, диэлектрики – нет) [8]. Сейчас известно множество полупроводников, их больше, чем металлов и диэлек-*

триков. Наиболее известны из полупроводников Si, Ge, Se, GaS – арсенид галлия. Существенным свойством полупроводника является возможность в широких пределах изменять свою проводимость под действием температуры, облучения и введения примесей.

Удовлетворительное объяснение этому явлению дает теория электропроводности, согласно которой атом вещества состоит из ядра, окруженного облаком электронов [8]. Электроны находятся в движении на некотором расстоянии от ядра в пределах слоев (оболочек), определяемых их энергией. Каждому из этих слоев можно поставить в соответствие определенный *энергетический уровень* электрона, причем чем дальше электрон находится от ядра, тем выше его энергетический уровень. Совокупность уровней образует *энергетический спектр*. Если электрон переходит с одного энергетического уровня на другой, то происходит либо выделение, либо поглощение энергии, причем это делается порциями – *квантами*.

В структуре атомов можно выделить оболочки, которые полностью заняты электронами (внутренние оболочки) и незаполненные оболочки (внешние). Электроны внешних оболочек слабее связаны с ядром и легче вступают во взаимодействие с другими атомами. Электроны внешних оболочек называют *валентными*.

Для полупроводниковых материалов характерно кристаллическое строение, при котором между атомами возникают так называемые *ковалентные связи* за счет «присвоения» соседних валентных электронов. Это наглядно можно показать на плоской модели кристаллической решетки, например для четырехвалентного германия Ge (рис. 1.3).

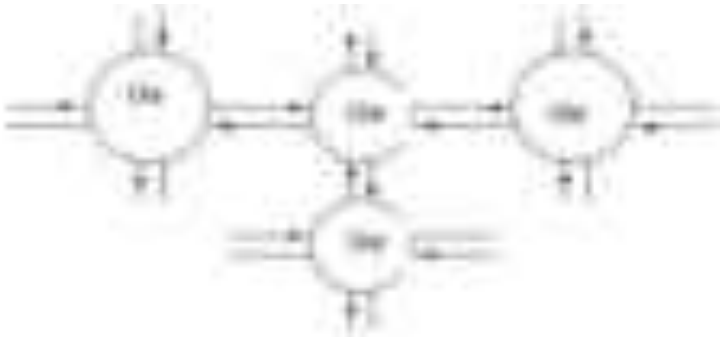


Рис. 1.3. Плоская модель кристаллической решетки Ge

Атомы связаны между собой, т.е. их электроны находятся на взаимозависимых энергетических (расщепленных) уровнях, при этом

на каждом уровне (для Ge) находится не более двух электронов. Совокупность энергетических уровней, на которых могут находиться электроны, называют *разрешенными зонами*. Между ними будут в этом случае располагаться *запрещенные зоны*, т.е. энергетические уровни, на которых электроны находиться не могут. В соответствии с зонной теорией по отношению к энергетическим состояниям (уровням) электронов различают *валентную* зону, *запрещенную* зону, зону *проводимости*. В такой интерпретации можно более определенно разделить все вещества на три большие группы: металлы, полупроводники, диэлектрики (рис. 1.4).

Рис. 1.4. Зонные диаграммы веществ

Зона проводимости – это совокупность расщепленных энергетических уровней, на которые может переходить электрон в процессе взаимодействия атомов или воздействия на атом, например, при нагреве, облучении и т.п.

У полупроводников при некотором значении температуры часть электронов приобретает энергию тепла и оказывается в зоне проводимости. Эти электроны «делают» полупроводник электропроводным. Если электрон «покидает» валентную зону, то образуется свободный энергетический уровень, как бы вакантное место (состояние), которое назвали «*дыркой*». Валентные электроны соседних атомов могут переходить на эти свободные уровни, при этом создают дырки в других атомах. Такое перемещение электронов рассматривается как движение *положительных зарядов – «дырок»*. Соответственно электропроводность, обусловленная движением электронов называется *электронной*, а движением дырок – *дырочной*. У абсолютно чистого и однородного вещества свободные электроны и дырки образуются попарно.

Процесс образования положительных и отрицательных зарядов в теле полупроводника можно представить следующим образом. Например, фотон выбивает электрон с его энергетического уровня, электрон становится свободным, а атом приобретает положительный заряд (становится положительно заряженным ионом). Процесс образования пары электрон – «дырка» называют *генерацией* зарядов, обратный процесс – *рекомбинацией* (рис. 1.5).

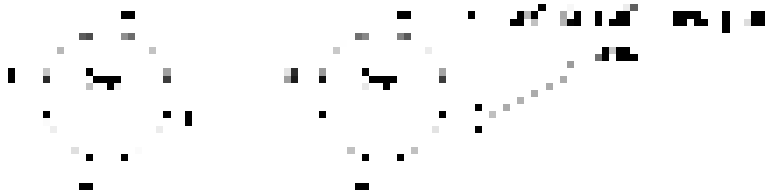


Рис. 1.5. Процессы генерации и рекомбинации

Движение зарядов, обусловленное тепловой энергией, называют *диффузией*. Средний промежуток времени между генерацией и рекомбинацией характеризует так называемое время жизни носителей заряда, а расстояние, которое успевает преодолеть заряд за это время, называется *диффузионной длиной*. Эти характеристики используются для сравнения различных полупроводниковых (ПП) веществ между собой.

Собственная электропроводность полупроводников. Приложим к образцу ПП вещества электроды источника постоянного тока, т.е. создадим в нём электрическое поле с напряженностью E. В этом случае по законам электродинамики электроны и дырки должны перемещаться. Возникнут два встречно направленных потока движения носителей зарядов, в цепи потечет ток, носящий название *ток дрейфа* (*дрейфовый ток)* (рис. 1.6).

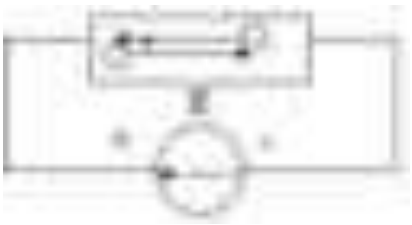


Рис. 1.6. Возникновение тока в полупроводнике

Плотности токов определяются следующим образом:

$$j_n = q_n \cdot n \cdot \mu_n \cdot E; \quad j_p = q_p \cdot p \cdot \mu_p \cdot E, \tag{1.1}$$

где j_n , j_p – плотности токов, созданных соответственно электронами и дырками;

$q_{n,}$ q_p – заряды электрона и дырки; $q_n = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*;

n, p – удельная концентрация зарядов (количество в единице объема);

$\mu_{n,}$ μ_p – подвижность зарядов, т.е. средняя скорость зарядов под действием электрического поля с напряжённостью поля E = 1 В/см.

Результирующая плотность дрейфового тока:

$$j_{дрейф} = E\left(q_n \cdot n \cdot \mu_n + q_p \cdot p \cdot \mu_p\right), \qquad (1.2)$$

а удельная электропроводность полупроводника:

$$\sigma = j_{дрейф} E = q_n \cdot n \cdot \mu_n + q_p \cdot p \cdot \mu_p. \qquad (1.3)$$

Выражение (1.3) показывает, что удельная собственная электропроводность полупроводника зависит от концентрации зарядов и их подвижности.

Примесная электропроводность полупроводника. Известно, что электропроводность полупроводника зависит от наличия примесей, которые могут быть двух видов: акцепторные и донорные. В_структуре вещества примесные атомы «замещают» основные атомы кристаллической решетки, образуя ковалентные связи. Однако, если валентности основного материала и примесного разные, то могут быть два случая (рис. 1.7).

а *б*

Рис. 1.7. Иллюстрация образования положительных (*а*) и отрицательных (*б*) зарядов

Первый случай – валентность примеси меньше, чем у основного материала, например Ge – четырехвалентный, а In – трехвалентный (рис. 1.7, *а*) В этом случае, чтобы образовать кристаллическую решетку, In «отбирает» один электрон у атома Ge, связывая его в ковалентные связи. Образуется «свободная» дырка – положительно заря-

женный атом Ge. Такой вид примеси называется *акцепторным*. В этом случае полупроводник приобретает дырочную электропроводность и его называют *полупроводник p*-типа.

Второй случай возникает, если валентность примеси больше, чем валентность основного материала (рис. 1.7, *б*). В этом случае оказывается «свободным» электрон, материал приобретает электронную электропроводность и его называют *полупроводник n*-типа, а примесь – *донорного* типа.

Если обозначить E_C – нижнюю границу зоны проводимости, E_V – верхнюю границу валентной зоны, то $E_C - E_V = \Delta E$ – ширина запрещенной зоны, а E_e – середина запрещенной зоны. Зонные диаграммы для рассмотренных двух случаев будут иметь вид, представленный на рис. 1.8.

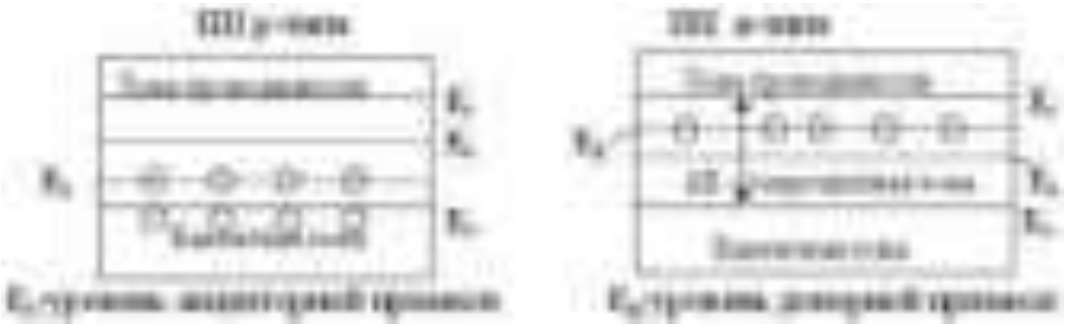


Рис. 1.8. Зонные диаграммы ПП для разных видов примесей

Часто в теории полупроводников взаимодействие и свойства зарядов характеризуются не самой энергией E, а потенциалом, определяемым, как отношение энергии к величине заряда электрона:

$$\phi = E/q\,.$$

В расчетах используется так называемый *температурный потенциал*, который рассчитывается по формуле:

$$\phi_T = \frac{K \cdot T}{q}, \qquad (1.4)$$

где K – постоянная Больцмана, $K = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$,

T – абсолютная температура, ^{0}К.

Доказано [8], что

$$n \cdot p = N_c \cdot N_y \cdot e^{-\frac{\Delta E}{K \cdot T}} = \text{cons}\ , \qquad (1.5)$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны.

Таким образом, произведение концентраций носителей зарядов есть величина постоянная при заданной температуре. Здесь N_c и N_y – эффективные плотности состояний соответственно в зоне проводимости и валентной зоне, определяемые массами зарядов и температурой.

Обычно при анализе свойств полупроводников используют *потенциал Ферми*, определяющий энергетические уровни электронов и дырок по отношению к ширине запрещенной зоны и зависящий от концентрации примесей.

$$\varphi_{Fn} = \varphi_E + \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{N_d}{n_i}\right),\ \varphi_{Fp} = \varphi_E - \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{N_a}{p_i}\right), \qquad (1.6)$$

где N_d , N_a – соответственно концентрации донорной и акцепторной примесей;

n_i , p_i – концентрации собственных носителей зарядов;

$\varphi_E = \dfrac{(E_c - E_v)}{2 \cdot q}$ – так называемый *электростатический потенциал* (потенциал середины запрещенной зоны).

1.2. Электрические переходы

Электрический переход – это граничный слой между двумя областями материалов, физические характеристики которых различаются. Переходы могут быть: электронно-дырочные (*p–n*-переходы); электронно-электронные (n^+–*n*-переходы); дырочно-дырочные (p^+– *p*-переходы). Знак ($^+$) показывает, что одна область перехода имеет повышенную концентрацию соответствующих носителей.

Широко используются *гетеропереходы*, в которых полупроводниковые материалы (от греч. heteros – другой) имеют различную ширину запрещенной зоны, а также *(p–i, n–i, p–i–n)-переходы*, в которых в одной области проводимость собственная, в другой – примесная.

Переходы металл-полупроводник. Свойства этих переходов играют важную роль в электронных приборах, так как электрические выводы от полупроводниковой части микросхем выполняют металлическими проводниками, которые должны допускать хотя бы кратковременное воздействие на них высоких температур при пайке. Электрические переходы образуются не механическим соединением,

а по специальным технологиям. Рассмотрим упрощенную картину процессов на границе металл-полупроводник *p*-типа. Обозначения, принятые на рис. 1.9, имеют следующий смысл: $\varphi_{Fм}$, φ_{Fp} – потенциалы Ферми для металла и полупроводника; φ_E – потенциал середины запрещенной зоны; φ_C, φ_V – соответственно потенциалы нижней границы зоны проводимости и потенциал верхней границы валентной зоны полупроводника.

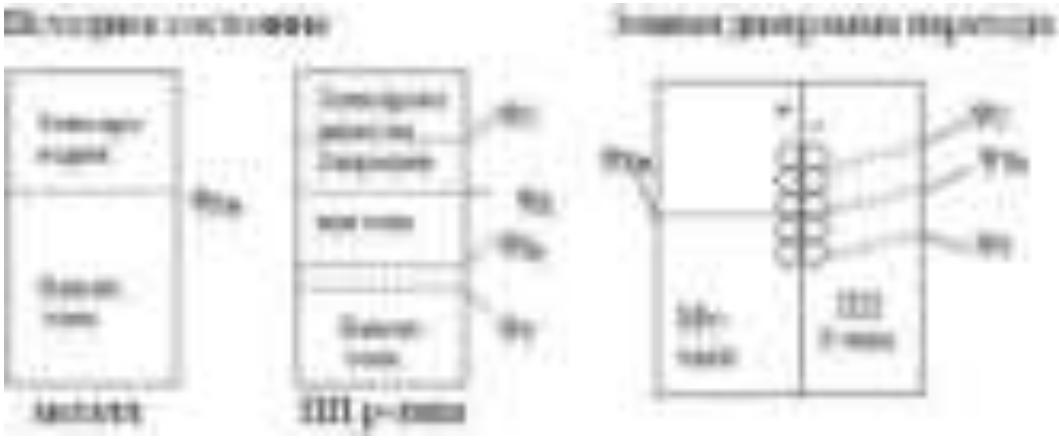


Рис. 1.9. Образование перехода металл-полупроводник

Образование перехода металл-полупроводник обусловлено следующим: $\varphi_{Fм} > \varphi_{Fp}$, поэтому электроны проникают в приграничную область полупроводника *p*-типа, там рекомбинируют с дырками, образуя слой отрицательно заряженных ионов и оставляя в граничном слое металла положительные ионы. В результате у границы образуется свое *внутреннее электрическое поле*, «вытягивающее» электроны из металла и не препятствующее переходу электронов из полупроводника в металл.

Процесс будет идти до тех пор, пока не станут равными потенциалы Ферми и не установится динамическое равновесие. При этом результирующий ток равен нулю, так как образовавшееся электрическое поле препятствует прохождению основных носителей зарядов, а потоки встречного движения зарядов будут одинаковы. У границ контакта образуются объемные заряды, появляется *контактная разность потенциалов*. В полупроводнике концентрация дырок в приграничном слое уменьшится [$n \cdot p$ = Const, см. (1.5)], поэтому этот слой будет иметь повышенное удельное сопротивление.

Приложим к такому переходу внешнее электрическое поле: «+» источника э.д.с. E подключим к полупроводнику, а «–» к металлу. В этом случае внешнее электрическое поле будет направлено встречно внутреннему полю $E_{внутр}$, созданному зарядами в области перехода

металл-полупроводник (рис. 1.10). Сопротивление приконтактного слоя уменьшится и через переход потечёт ток.

Если сменить полярность внешнего источника, то внешнее электрическое поле еще более увеличит сопротивление приконтактного слоя.

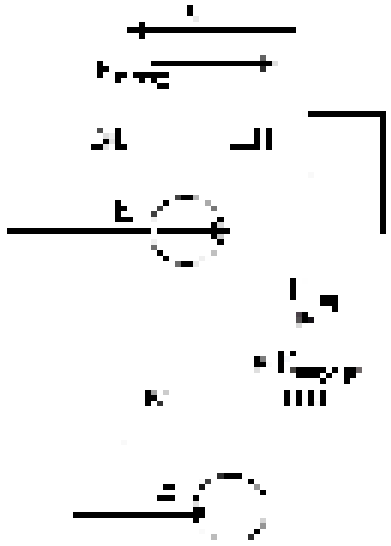


Рис. 1.10. Переход металл (М) – ПП
с внешним электрическим полем

В этом случае оба поля не препятствуют прохождению через барьер неосновных носителей заряда, однако их концентрация очень мала и ток ничтожно мал. Таким образом, переход между металлом и полупроводником не одинаково пропускает ток при разной полярности приложенного напряжения. Такой переход назван *барьером Шоттки*. Его главное свойство в том, что он обладает *вентильным* свойством (*односторонней проводимостью*), т.е. пропускает ток только в одном направлении. Аналогичное явление наблюдается, если рассмотреть контакт металла с полупроводником *n*-типа, у которого уровень Ферми выше, чем у металла.

Для практики особо важен случай, когда уровень Ферми металла меньше уровня Ферми ПП *p*-типа, либо выше уровня Ферми ПП *n*-типа. В этом случае граничный слой будет обогащаться основными носителями зарядов и удельное сопротивление граничного слоя понижается. Это явление используется для обеспечения малого переходного сопротивления (омического контакта) в месте присоединения металлических выводов к кристаллу полупроводника.

***p–n*-переход.** *p–n*-переход – это переход между двумя областями полупроводника, имеющими различный тип проводимости. Если концентрации зарядов одинаковы ($p_p \sim n_n$), то переход называется

симметричным. Обычно $n_n >> p_p$ или $p_p >> n_n$ (в 100 – 1000 раз) – такие переходы несимметричны.

Рассмотрим явления в *p* – *n*-переходе (рис. 1.11), например, если $p_p >> n_n$.

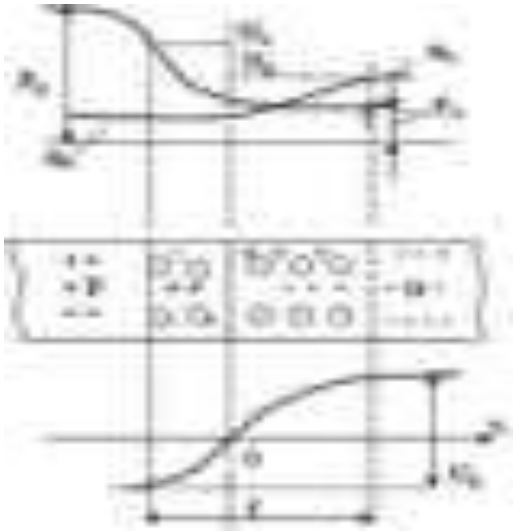


Рис. 1.11. *p–n*-переход без внешнего электрического поля

Так как концентрация дырок *p*-области больше, то дырки диффундируют из *p*-области в *n*-область, рекомбинируют с электронами этой области и создают в приграничной *n*-области повышенную концентрацию ионов донорной примеси (положительных зарядов). Электроны из *n*-области перемещаются в *p*-область, где их концентрация мала $(n_p << n_n)$ и рекомбинируют с дырками, создавая повышенную концентрацию отрицательных ионов акцепторной примеси в приграничной *p*-области. Перемещение происходит до выравнивания потенциалов (уровней) Ферми приграничных областей.

Область образовавшихся неподвижных пространственных зарядов (ионов) называется *областью p–n-перехода*. В этой области концентрации основных носителей зарядов понижены, следовательно удельное сопротивление *p–n*-перехода выше, чем вдали от перехода. За пределами *p–n*-перехода заряды взаимно компенсируют друг друга, т.е. полупроводник в целом остается нейтральным. Поле, созданное объемными зарядами, уменьшает поток дырок из области *p* в область *n* и поток электронов из области *n* в область *p*, однако не препятствует потоку электронов из *p* области в *n* и потоку дырок из области *n* в область *p*, т.е. поле не препятствует прохождению неосновных носителей через переход. Эти носители имеют тепловое проис-

хождение. Суммарная плотность тока равна нулю, так как потоки неосновных носителей уравновешивают друг друга.

Таким образом, в зоне *p–n*-перехода образуется разность потенциалов, которую называют *потенциальным барьером* либо *контактной разностью потенциалов* U_k .

С некоторыми упрощениями [8] можно считать, что значение U_k зависит от концентрации зарядов:

$$U_k = \varphi_T \ln\left(\frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}\right), \tag{1.7}$$

где N_a и N_d – соответственно концентрации акцепторной и донорной примесей;

n_i – собственная концентрация электронов.

Принято считать, что для германия (Ge) $U_k \approx 0{,}3\,B$, для кремния (Si) $U_k \approx 0{,}7\,B$.

1.3. Смещение *p–n*-перехода

Смещением *p–n*-перехода называют подачу на переход напряжения постоянного тока. Если «+» источника приложить к области *p*, а «–» к области *n* (непосредственно или через другие элементы), то считается, что на переход подано *прямое смещение*. В этом случае потенциальный барьер уменьшится и станет равным $U_1 = U_k - U$ (рис. 1.12). Условный исходный размер *p–n*-перехода l_0 уменьшится ($l_{см}$ на рис. 1.12) вместе с уменьшением потенциального барьера ($U_1 < U_k$).

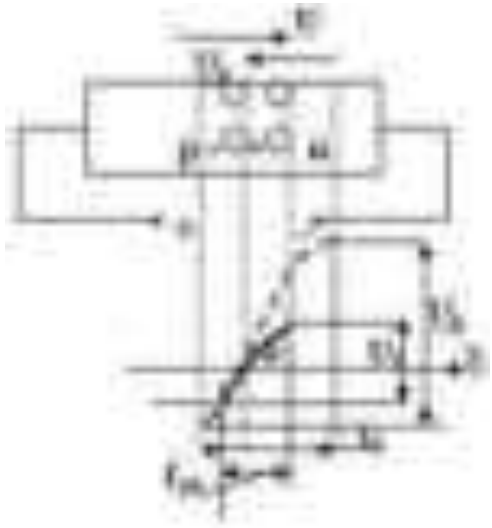


Рис. 1.12. *p–n*-переход при прямом смещении

Картина сохраняется до тех пор, пока $|U_k| > |U|$, ток будет еще мал. Расчетный (условный) размер смещённого *p–n*-перехода:

$$l_{см} = \sqrt[n]{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0(U_k - U)}{qN_d}}. \qquad (1.8)$$

Ток увеличится незначительно, так как обусловлен диффузионным движением носителей заряда, перемещение которых увеличивается с уменьшением размера перехода и барьера.

Если $U_k = U$, барьер исчезает, ток диффузии увеличивается, через барьер течет ток, называемый *прямым током*. Прямой ток обусловлен токами *дрейфа и диффузии*.

Ток диффузии обусловлен разностью концентраций носителей, а *ток дрейфа* – приложенным напряжением и сопротивлением *p–n*-перехода. Здесь наблюдается явление *инжекции* – введение носителей заряда через переход в ту область, где эти заряды не являются основными (электронов из *n*-области в *p*-область и дырок из *p*-области в *n*-область), из области с большей концентрацией в область с малой концентрацией. Инжекция зарядов происходит из области с малым удельным сопротивлением в область с большим удельным сопротивлением.

Инжектирующий слой с большой концентрацией зарядов (малым удельным сопротивлением) называют *эмиттером*. Слой с малой удельной концентрацией зарядов (большим удельным сопротивлением) называют *базой.*

Установлено, что прямой ток основных носителей заряда, возникающий за счет снижения потенциального барьера, связан с приложенным напряжением экспоненциальным соотношением:

$$I_t' = I_{t0} \cdot e^{\frac{u}{\varphi_T}}, \qquad (1.9)$$

где I_{t0} – ток, протекающий через *p–n*-переход, находящийся в равновесном состоянии (*тепловой ток, обратный ток насыщения*).

Однако существует и ток диффузии, направленный встречно, обусловленный тепловым состоянием. Тогда можно считать, что

$$I_{пр} = I_t' - I_{t0} = I_{t0} \cdot (e^{\frac{u}{\varphi_T}} - 1), \qquad (1.10)$$

где $I_{пр}$ – прямой ток через барьер. Особую роль играет ток I_{t0} – обратный ток насыщения. Экспериментально доказано, что он экспоненциально зависит от температуры.

Обратное смещение *p–n*-перехода. Приложим «+» к *n*-области, а «–» к *p*-области полупроводника, т.е. обеспечим обратное смещение на *p–n*-переходе (рис. 1.13). Теперь потенциальный барьер увеличится ($U_1=U_k + U$), движение основных зарядов будет затруднено. Ток через переход будет обусловлен неосновными носителями зарядов, которые «вытягиваются» из областей полем обратной полярности. Этот процесс называется «*экстракцией*». В результате через обратносмещённый переход будет протекать малый *обратный ток*.

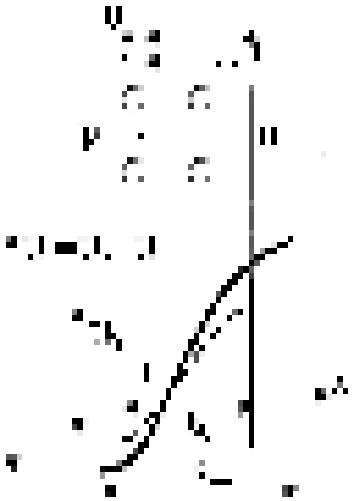


Рис. 1.13. *p–n*-переход при обратном смещении

Величину обратного тока через переход определим аналогично (1.10), учитывая, что приложенное напряжение значительно больше величины теплового потенциала ($U >> \varphi_t$).

Тогда обратный ток определится по формуле:

$$I_{пр} = I_{t0} \cdot \left(e^{\frac{u}{\phi_t}} - 1 \right) \approx -I_{t0} \,. \qquad (1.11)$$

По выражениям 1.10, 1.11 можно сделать вывод о том, что *p–n*-переход обладает *вентильным* свойством, которое заключается в том, что при прямом смещении через переход протекает прямой ток, зависящий от приложенного напряжения по экспоненциальному закону, а в случае обратного смещения через *p–n*-переход течет ма-

лый обратный ток (тепловой ток), который практически от напряжения не зависит, но увеличивается по экспоненциальному закону с увеличением температуры.

Условный исходный размер p – n-перехода l_0 при наличии обратного смещения возрастает до величины $l_{см}$ (рис. 1.13) вместе с увеличением потенциального барьера ($U_1 > U_k$).

Зависимость тока через p–n-переход от приложенного к нему напряжения называют *вольт-амперной характеристикой (ВАХ) p–n-перехода* (рис. 1.14).

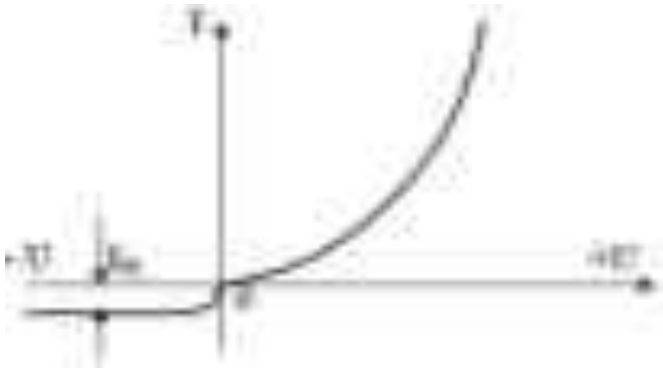


Рис. 1.14. Идеализированная ВАХ p–n-перехода

1.4. Емкость *p–n*-перехода

Рассматривая электропроводность p–n-перехода при приложении к нему внешнего электрического поля, можно видеть, что толщина p–n-перехода изменяется (модулируется), а по обе стороны границы перехода имеются объемные электрические заряды. Следовательно, p–n-переход должен обладать определенной емкостью. Различают две составляющих емкости: *барьерную*, отражающую перераспределение зарядов в p–n-переходе, и *диффузионную*, отражающую перераспределение зарядов вблизи p–n-перехода. При прямом смещении проявляется в основном диффузионная емкость $C_{диф}$. При обратном смещении большую роль играет барьерная емкость $C_{бар}$ [2].

Емкость $C_{бар}$ обусловлена наличием в p–n-переходе ионов донорной и акцепторной примесей, как бы образующих две обкладки конденсатора:

$$C_{бар} = \left(\varepsilon\varepsilon_0 \cdot \frac{S}{l_{см}} \right) \cdot \sqrt[n]{\frac{U_k}{U_k + |U|}}, \qquad (1.12)$$

где U_k – значение контактной разности потенциалов;

U – приложенное напряжение;

l_0 – толщина p–n перехода при $U = 0$;

– относительная диэлектрическая проницаемость материала;

ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума;

S – площадь поперечного сечения p–n-перехода;

$n = 2$ для резких переходов, $n = 3$ для плавных переходов.

С увеличением приложенного обратного напряжения барьерная емкость $C_{бар}$ уменьшается из-за увеличения толщины перехода. Величина $C_{диф}$ отражает физический процесс изменения концентрации подвижных носителей заряда, накопленных вследствие изменения концентраций инжектированных носителей при изменениях приложенного напряжения. $C_{диф}$ значительно меньше $C_{бар}$ и очень слабо зависит от приложенного напряжения. Зависимость барьерной ёмкости от напряжения (рис. 1.15) ощутимее, поэтому часто используется в электронике.

$C_{диф}$ зависит от величины прямого тока, протекавшего через p–n-переход в момент начала изменения приложенного напряжения. Это имеет важное значение при изготовлении быстродействующих полупроводниковых приборов.

Рис. 1.15. Зависимость $C_{бар}(U)$
при обратном смещении p–n-перехода

1.5. Пробой *p–n*-перехода

Пробоем называется значительное уменьшение сопротивления перехода при обратном смещении, сопровождающееся возрастанием обратного тока. Различают три вида пробоя: туннельный, лавинный и тепловой.

Туннельный пробой обусловлен туннельным эффектом, т.е. прохождением электронов сквозь потенциальный барьер (из валентной зоны одного полупроводника в зону проводимости другого), высота которого больше, чем энергия носителей заряда (рис. 1.16) [9].

В этом случае энергетические зоны искривляются настолько, что $\varphi_{vp} > \varphi_{cn}$, т.е. энергия электронов валентной зоны полупроводника *p*-типа становится равной энергии электронов зоны проводимости полупроводника *n*-типа.

Рис. 1.16. Зонные диаграммы
при тунельном пробое

Лавинный пробой вызывается ударной ионизацией, когда напряженность электрического поля при обратном смещении так велика, что неосновные носители заряда, движущиеся через *p–n*-переход, ускоряются настолько, что при соударении с атомами ионизируют их. Появляются пары электрон-дырка, которые ускоряются и ионизируют другие атомы. Процесс нарастает лавинообразно, при этом величина тока ограничивается только внешним сопротивлением.

Ток лавинного пробоя можно приближенно определить по формуле:

$$I_{лав} = M_л I_{обр}, \qquad (1.13)$$

где $M_л$ – коэффициент лавинного умножения.

Лавинный пробой возникает в сравнительно высокоомных ПП, (имеющих большое удельное сопротивление, т.е. малую концентрацию основных носителей) и при достаточно большой ширине *p–n*-перехода.

ВАХ перехода при различных видах пробоев показаны на рис. 1.17. Напряжение лавинного пробоя зависит от температуры и увеличивается с ее ростом (из-за сокращения длины свободного пробега носителей заряда).

Рис. 1.17. ВАХ реального *p–n*-перехода

Тепловой пробой возникает в результате разогрева *p–n*-перехода, когда количество тепла, выделяемое током в *p–n*-переходе, больше количества тепла, отводимого от него. Известно, что увеличение температуры приводит к увеличению интенсивности генерации электронно-дырочных пар, что выражается в увеличении обратного тока по экспоненциальному закону. Это в свою очередь увеличивает температуру *p–n*-перехода, в результате чего наступает тепловой пробой. ВАХ *p–n*-перехода при тепловом пробое отличается от ВАХ при туннельном и лавинном пробоях (с увеличением тока теплового пробоя падает напряжение, приложенное к *p–n*-переходу).

1.6. Полупроводниковые диоды

Диод – это полупроводниковый прибор с одним *p–n*-переходом и двумя выводами. Рассмотренные выше свойства *p–n*-перехода дают возможность рассматривать свойства диодов путем анализа их ВАХ (рис. 1.18) Полупроводниковый диод можно получить из ПП с *p–n*-переходом, если снабдить этот полупроводник омическими (металлическими) контактами. Наиболее распространены германиевые и кремниевые диоды.

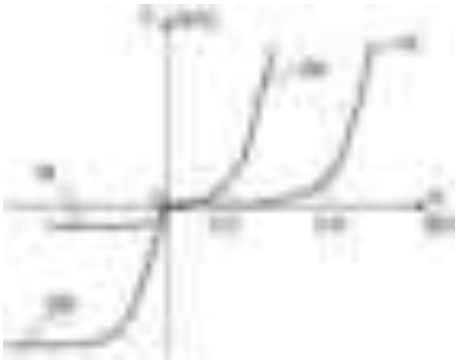


Рис. 1.18. ВАХ германиевого и кремниевого диодов

Краткая классификация диодов. Диоды, как наиболее многочисленные полупроводниковые приборы, классифицируют по различным признакам: назначению, конструкции, току и напряжению, по частоте, видам устойчивости к воздействиям внешней среды и т.д. (рис. 1.19) [13].

Назначение диодов. Различают диоды выпрямительные, импульсные, туннельные, обращенные и т.п.

Выпрямительные диоды используются для выпрямления переменного тока (преобразования переменного тока в постоянный). *Импульсные* диоды предназначены для работы в импульсных цепях, так как отличаются малой емкостью *p–n*-перехода и другими характеристиками, обеспечивающими быстродействие. Разновидность импульсных диодов – диоды Шоттки, выполненные на основе перехода металл-полупроводник, отличающиеся очень малыми (нА) обратными токами.

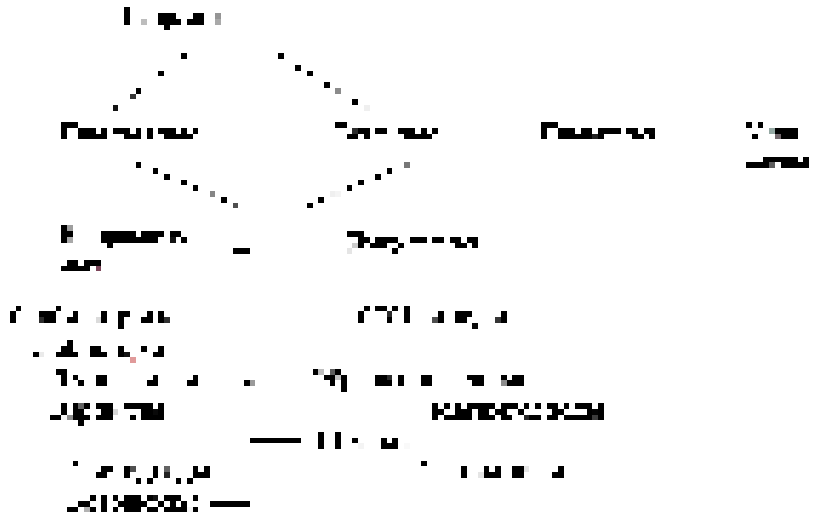


Рис. 1.19. Примерная классификация диодов

Туннельные диоды (ТД) – диоды, в которых туннельный эффект приводит к появлению на ВАХ участка с отрицательным сопротивлением (рис. 1.20). Участок 0-1 (рис. 1.20) определяется дрейфовым током. Участок 1-2 имеет отрицательное сопротивление. Участок 2-3 определяется диффузионным током. ТД используют в генераторах высокой частоты (до 1 ГГц).

Обращенный диод служит для выпрямления малых напряжений.

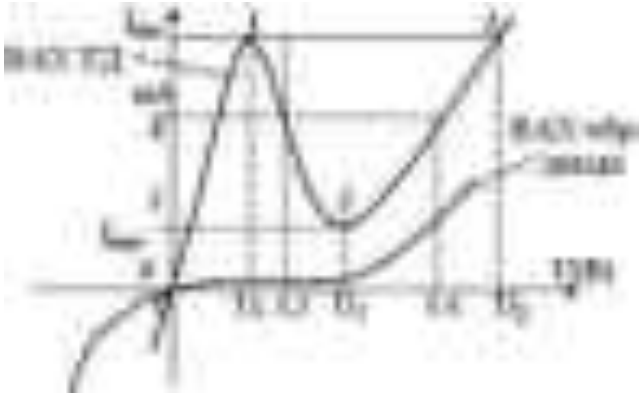


Рис. 1.20. ВАХ туннельного и обращенного диодов

Стабилитроны – полупроводниковые диоды, напряжение на которых в области электрического пробоя слабо зависит от тока. Предназначены для стабилизации напряжения.

Варикапы – полупроводниковые диоды, предназначенные для использования в качестве емкости, управляемой электрическим напряжением. Варикап работает при обратном смещении *p–n*-перехода, его емкость определяют согласно формуле:

$$C = C_0 \cdot \left[\frac{U_k}{U_k + |U|} \right]^{\frac{1}{n}}, \qquad (1.14)$$

где n =2 для резких и n = 3 для плавных переходов;

U_k – значение контактной разности потенциалов;

U – приложенное обратное напряжение;

C_0 – начальная емкость *p–n*-перехода.

Варикап, используемый в умножителях частоты, называют *варактором*.

Фотодиоды, светодиоды – диоды, использующие эффект взаимодействия оптического излучения (видимого, инфракрасного) с носителями заряда в зоне *p–n*-перехода. В фотодиодах при облучении повышается обратный ток, в светодиодах в режиме прямого тока в зоне *p–n*-перехода возникает видимое или инфракрасное излучение.

Имеются еще *магнитодиоды, тензодиоды,* в которых меняется электропроводность под действием магнитного поля или механических деформаций [9].

2. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

2.1. Структура и принцип действия биполярного транзистора

Транзистор – прибор, содержащий два или более электронно-дырочных перехода, имеющий не менее трех выводов и пригодный для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов.

Упрощенные структурные схемы и условные обозначения транзисторов изображены на рис. 2.1.

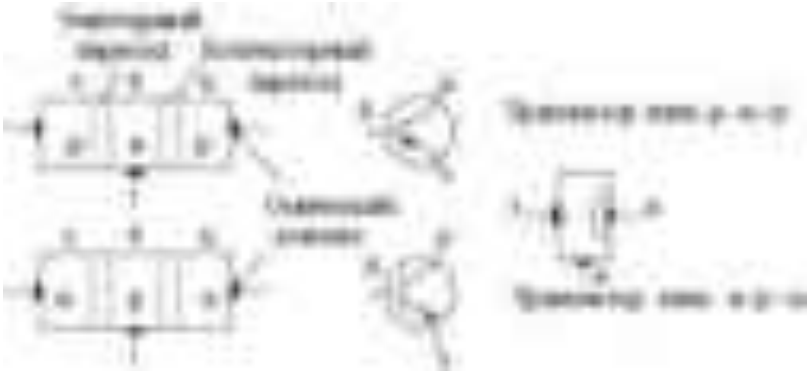


Рис. 2.1. Структурные схемы и условные графические обозначения (УГО) биполярных транзисторов

Транзистор изготавливается по специальной технологии на кристалле полупроводника путем создания трех областей с различной проводимостью. Средняя область – *база*, другие называются *эмиттер* и *коллектор*. Между областями образуется два *p–n*-перехода, связанных между собой. Область, являющаяся источником носителей заряда при прямом смещении, называют эмиттером. Область, выполняющая функцию собирания зарядов, называют коллектором. На практике этими терминами называют выводы прибора. Соответственно *p–n*-переходы называют эмиттерным и коллекторным. В обычном включении на эмиттер относительно базы подается напряжение, создающее прямое смещение, а на коллектор – обратное смещение. Иногда используется так называемое инверсное включение, при котором коллектор и эмиттер меняются местами. При этом можно

иметь различные способы включения транзистора: по схеме с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК). На рис. 2.2 изображены названные выше три способа включения биполярного транзистора со структурой *p–n–p* с указанием условных входа, выхода и обозначением электродов (э – эмиттер, к – коллектор, б – база). Показаны также направления протекания токов в электродах (выводах) транзистора.

Рис. 2.2. Три схемы включения биполярного транзистора

Соединив между собой два любых электрода, можно получить различные диодные структуры.

Рассмотрим принцип действия транзистора, включив его по схеме с ОБ (рис. 2.3).

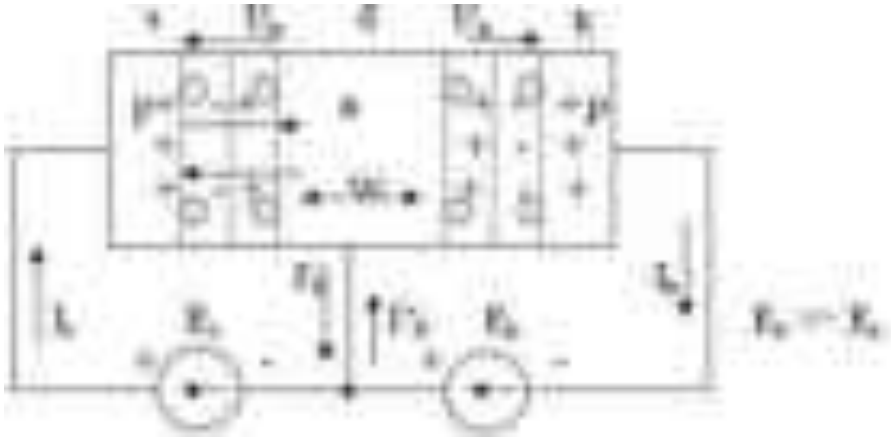


Рис. 2.3. Структурная схема включения транзистора по схеме ОБ

В структуре кристалла происходит инжекция дырок в область базы и встречное движение электронов в эмиттер, при этом

$$I_{эр} = \gamma \cdot I_э;\ \gamma = I_{эр} / I_э\ , \qquad (2.1)$$

где $I_{эр}$ – ток, обусловленный движением дырок;

$I_э$ – полный ток через эмиттерный *p–n*-переход;

γ – коэффициент инжекции.

Дырки, проникающие в базу, частично компенсируются притоком электронов от источника $E_э$, создавая ток $I_б$. Главная особенность лю-

бого транзистора – ширина базы во много раз меньше диффузионной длины:

$$W << 0{,}2 l_{диф},$$

где $l_{диф}$ – диффузионная длина (среднестатистическая величина свободного пути заряда).

По этой причине основные носители заряда из эмиттера (дырки) диффундируют в область базы и достигают второго *p–n*-перехода, смещённого в обратном направлении. Большинство дырок не успевают рекомбинировать с электронами и попадают вблизи коллекторного перехода в поле, втягивающее их в область коллектора (экстракция дырок). Электроны, число которых равно числу дырок, ушедших через коллекторный переход, уходят через базовый вывод, создавая составляющую тока базы $I'_б$.

Относительное число *неосновных для базы* носителей заряда (дырок), достигших коллекторного перехода, характеризуется коэффициентом переноса χ, показывающим, что только часть тока $I_{эр}$ достигает коллектора – это I_{kp}:

$$I_{kp} = \chi \cdot I_{эр}; \; \chi = I_{kp} / I_{эр}; \qquad (2.2)$$

где I_{kp} и $I_{эр}$ – дырочные составляющие токов коллектора и эмиттера.

Учитывая, что только часть носителей достигает коллектора, можем записать

$$I_{kp} = \alpha \cdot I_{эр}, \qquad (2.3)$$

где $\alpha = \gamma \cdot \chi = I_{kp} / I_э$ – коэффициент передачи тока в схеме ОБ.

Известно [18], что через коллекторный *p–n*-переход обязательно будет течь ток *неосновных для коллектора* носителей, создающих ток $I_{кбо}$ – неуправляемый ток *p–n*-перехода (обратный ток). Результирующий ток в коллекторной цепи:

$$I_k = \alpha \cdot I_э + I_{кбо} \; . \qquad (2.4)$$

2.2. Физическая нелинейная модель транзистора и эквивалентные схемы

Упрощенная эквивалентная схема идеализированного транзистора, имеющего структуру *p–n–p* [2], представлена на рис. 2.4.

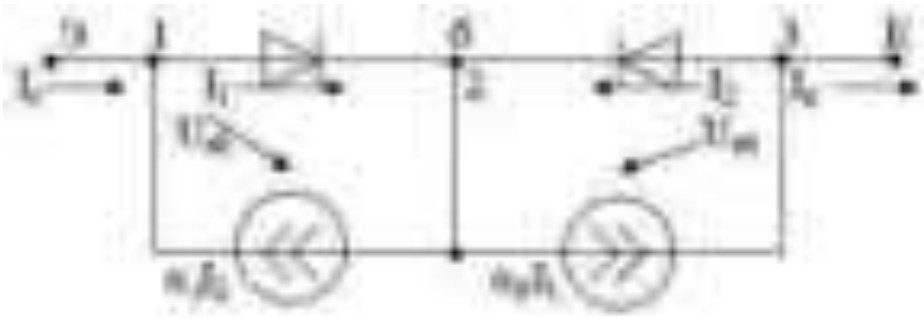


Рис. 2.4. Упрощенная эквивалентная схема биполярного транзистора

Коэффициенты α_i, α_N – это коэффициенты передачи тока, учитывающие тот факт, что не все заряды достигают соответствующих областей через переходы при инверсном (α_i) и прямом (нормальном) (α_N) включении ($\alpha_N < 1$, $\alpha_i << \alpha_N$). Формально можно записать:

$$\begin{aligned} I_э &= I_1 - \alpha_i \cdot I_2, \\ I_k &= \alpha_N \cdot I_1 - I_2. \end{aligned} \qquad (2.5)$$

Токи через *p–n*-переходы можно выразить известным способом через так называемые токи насыщения:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{нас.э}\left(e^{\frac{U_{эб}}{\varphi_T}} - 1 \right), \text{ если } U_{кб} = 0, \text{ а } U_{эб} > 0, \\ I_2 &= I_{нас.к}\left(e^{\frac{U_{кб}}{\varphi_T}} - 1 \right), \text{ если } U_{эб} = 0, \text{ а } U_{кб} < 0. \end{aligned} \qquad (2.6)$$

Токи I_1 и I_2 удобнее выразить через обратные токи переходов, учитывая, что в справочниках [15] приводятся значения именно обратных токов:

$$I_{эб\,o}, \text{ при } U_{кб} = 0 \text{ и } I_k = 0, U_{эб} < 0$$

$$I_{кб\,o}, \text{ при } U_{эб} = 0 \text{ и } I_э = 0, U_{кб} < 0$$

В этом случае

$$I_{нас.к} = \frac{I_{кб\ о}}{1-\alpha_i \cdot \alpha_N}; I_{нас.э} = \frac{I_{эб\ о}}{1-\alpha_i \cdot \alpha_N}. \qquad (2.7)$$

Возвращаясь к (2.5), с учетом (2.6, 2.7), получим:

$$I_э = \frac{I_{эб\ о}}{(1-\alpha_i \cdot \alpha_N)\cdot\left(e^{\frac{U_{эб}}{\varphi T}}-1\right)} - \frac{\alpha_i \cdot I_{кб\ о}}{(1-\alpha_i \cdot \alpha_N)\cdot\left(e^{\frac{U_{кб}}{\varphi T}}-1\right)},$$

$$I_к = \frac{\alpha_N}{(1-\alpha_i \cdot \alpha_N)\cdot I_{эб\ о}\cdot\left(e^{\frac{U_{эб}}{\varphi T}}-1\right)} - \frac{I_{кб\ о}}{(1-\alpha_i \cdot \alpha_N)\cdot\left(e^{\frac{U_{кб}}{\varphi T}}-1\right)}, \qquad (2.8)$$

$$I_б = I_э - I_к.$$

Полученная система уравнений носит название уравнения Эберса – Молла. Характеристики, соответствующие этим уравнениям, приведены на рис. 2.5.

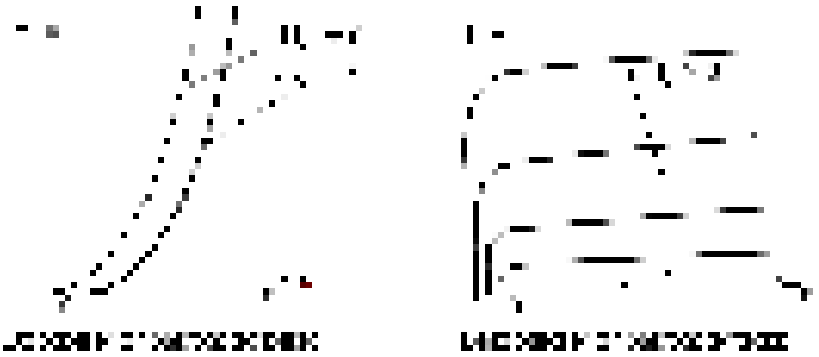


Рис. 2.5. Статические характеристики транзистора, включённого по схеме ОБ

Рассмотренная физическая модель нелинейна и применяется для анализа работы только при относительно больших изменениях напряжения и тока.

Во многих случаях на фоне сравнительно больших постоянных составляющих токов и напряжений на транзистор действуют малые переменные составляющие. В этом случае эти составляющие могут анализироваться раздельно, причем при анализе переменных составляющих используются *малосигнальные эквивалентные схемы,* состоящие из линейных элементов. Параметры линейных элементов

получают линеаризацией исходных статических характеристик транзисторов в окрестности режима работы по постоянному току.

Наиболее часто встречается Т-образная эквивалентная схема. Для транзистора, включенного по схеме ОБ, Т-образная схема имеет вид, представленный на рис. 2.6.

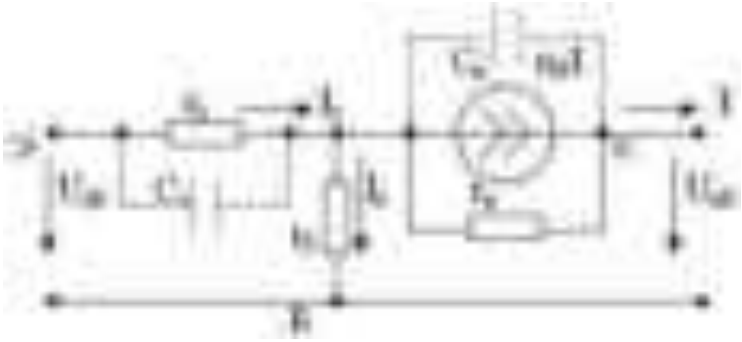


Рис. 2.6. Вариант Т-образной схемы замещения транзистора:
$r_э, r_k$ – дифференциальные сопротивления переходов;
$r_б$ – сопротивление базы; включение нормальное (неинверсное),
коэффициент передачи тока $\alpha_N = \alpha$; $C_к, C_э$ – ёмкости переходов

Т-образная схема (рис 2.6) не единственная. Наиболее распространенные варианты приводятся на рис. 2.7 и 2.8.

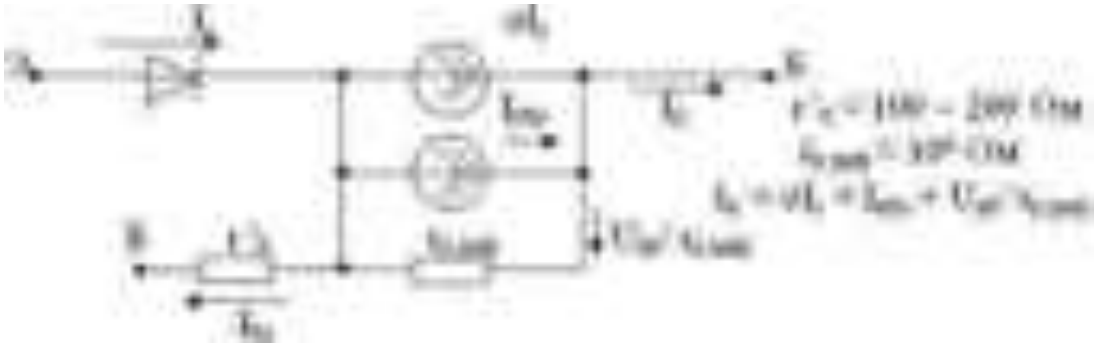


Рис. 2.7. Вариант схемы замещения транзистора,
включенного по схеме ОБ

Т-образная эквивалентная схема транзистора, включенного по схеме ОЭ, представлена на рис. 2.8. В схему введен диод, отражающий наличие *p–n*-перехода Э-Б. Ток базы $I_{бз}$ в цепи коллектора увеличивается в β раз, причем $\beta = \alpha/(1 - \alpha)$. Статические характерисики для схемы с ОЭ показаны на рис. 2.9.

В схеме замещения (рис. 2.8) отражается факт зависимости тока коллектора от тока базы и свойств транзистора, учитываемых коэффициентом β, который называется *коэффициентом усиления базового тока в схеме ОЭ*. Коэффициент передачи тока $\alpha < 1$, поэтому $\beta > 1$.

Анализируя выражения (2.8), можно заметить два важных обстоятельства:

1) при отсутствии тока базы (обрыв базы) обратный ток в цепи коллектор – эмиттер увеличивается многократно;

2) сопротивление коллекторного перехода $r'_{кдиф} << r_{кдиф}$, где $r_{кдиф}$– сопротивление коллекторного перехода в схеме замещения ОБ (рис. 2.7).

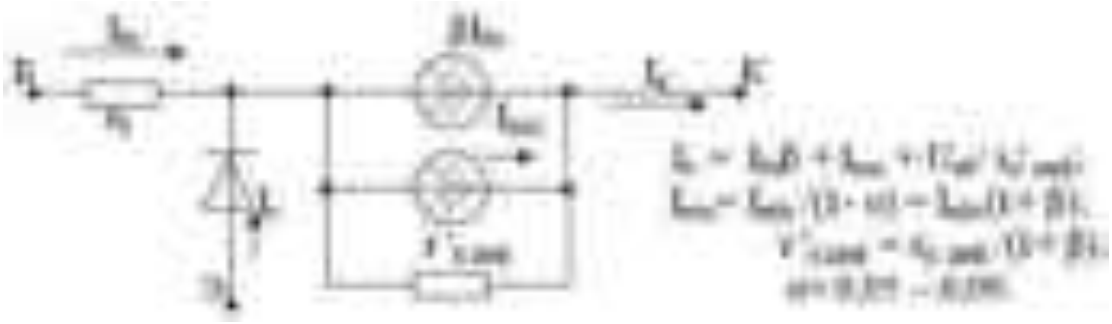


Рис. 2.8. Т-образная схема замещения транзистора, включённого по схеме ОЭ

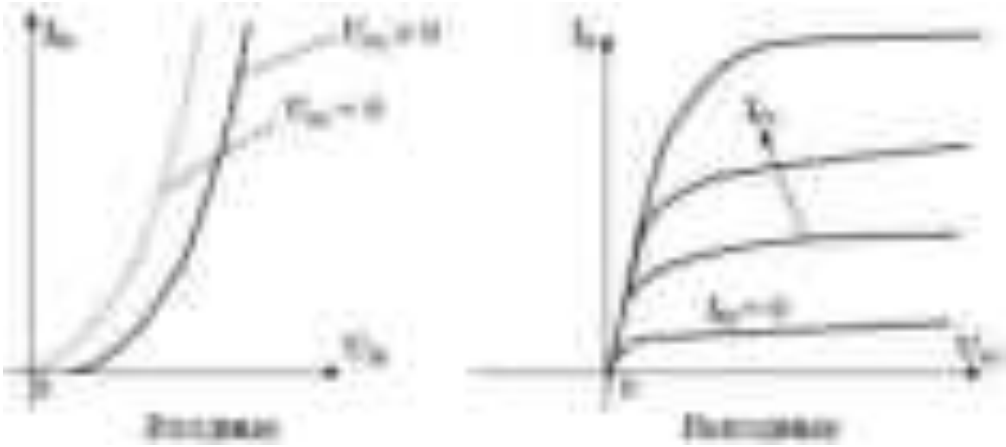


Рис. 2.9. Статические характеристики для схемы ОЭ

2.3. Способы включения биполярных транзисторов

В электрических схемах биполярные транзисторы могут включаться тремя различными способами: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК) (рис. 2.2). Название способа включения происходит от названия того электрода биполярного транзистора, который в рассматриваемой схеме является общим для входного и выходного контуров электрической цепи.

Важность способа включения транзистора состоит в том, что схемы в зависимости от этого приобретают разные свойства при совершенно одинаковых параметрах транзисторов.

Примеры возможных способов включения транзисторов показаны на рис. 2.10.

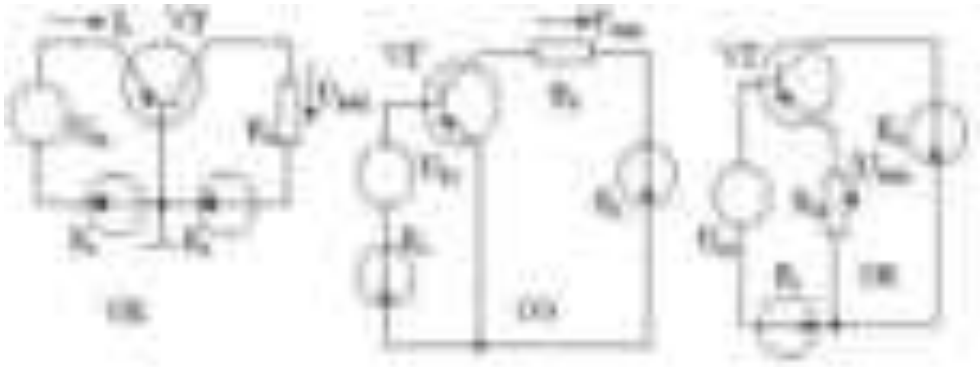


Рис. 2.10. Три способа включения биполярного транзистора в электрической схеме с источниками питания, смещения и входного сигнала:
$U_{вх}$ – входной (усиливаемый) сигнал; $E_э$, $E_к$ – источники эмиттерного и коллекторного смещений (внешние источники питания); R_k – резистор для ограничения тока в цепи коллектора в схемах ОБ и ОЭ (или сопротивление нагрузки); R_H – резистор (сопротивление нагрузки) в цепи эмиттера схемы ОК

Отличительным признаком схемы ОК является отсутствие ограничивающего резистора в цепи коллектора. Схему ОК часто называют *эмиттерным повторителем*.

Каждая из схем использует биполярный транзистор в качестве элемента, обеспечивающего усиление входного сигнала $U_{вх}$. Стрелки напряжения $U_{вх}$ не показаны, так как это напряжение может быть положительным, отрицательным либо переменным. Рассматриваемые схемы обладают разными свойствами при совершенно одинаковых, включенных по-разному, транзисторах.

Принцип усиления входного сигнала для схем одинаков. Он состоит в том, что входной сигнал воздействует на базовую (управляющую) цепь транзистора и вызывает изменение сопротивления основной (управляемой) цепи (коллектор – эмиттер) транзистора, вследствие чего ток в этой цепи, созданный источником питания, будет изменяться, обеспечивая изменение выходного напряжения $U_{вых}$. При этом вследствие нелинейности характеристик транзистора малые изменения $U_{вх}$ могут вызвать гораздо большие изменения выходного сигнала $U_{вых}$, создавая эффект усиления входного сигнала.

Области использования схем определяются их разными свойствами, наибольшее распространение получили схемы ОЭ и ОК.

2.4. Основные режимы работы транзистора

Различают три основных режима работы транзистора: активный, отсечки, насыщения.

Активный режим – нормальный: эмиттер смещен в прямом направлении, коллектор – в обратном. *Инверсный режим* – наоборот. В уравнениях в нормальном активном режиме $U_{эб}$ имеет знак «+», $U_{кб}$ имеет знак «–».

Режим отсечки: глубокая отсечка – оба перехода смещены в обратном направлении, причем модули этих напряжений должны быть:

$$U > (3 – 5)\, m\, \varphi_T,$$

где $m \approx (1{,}5 – 2)$.

В режиме отсечки $I_к = I_{кбо.}$ Режим отсечки характеризует закрытое состояние транзистора (транзистор заперт), при котором его сопротивление максимально, токи – минимальны.

Режим насыщения характеризует открытое состояние транзистора, когда его сопротивление минимально, а токи определяются внешними источниками, но не должны превышать некоторых допустимых значений. В режиме насыщения оба перехода транзистора с помощью внешних напряжений смещены в прямом направлении. Напряжение транзистора $U_{кэ}$ минимально:

$$U_{кэ\,нас} \approx \varphi_T(1 – \alpha_i) / \alpha_i. \qquad (2.9)$$

Ток коллектора $I_к \le I_{к\,max}$.

Режим отсечки и насыщения широко используется в электронных ключах. Достигаются эти режимы различными способами, в том числе и изменением подводимых к транзистору напряжений.

2.5. *h*-параметры биполярного транзистора

Транзистор можно представить в расчетном отношении как активный четырехполюсник, имеющий два входных и два выходных зажима (рис. 2.11). Это представление во многих случаях существенно упрощает расчеты схем с транзисторами.

Согласно теории электрических цепей [11] связь между токами и напряжениями четырехполюсника может быть показана с помощью системы уравнений:

$$U_1 = h_{11}\, i_1 \; + \; h_{12}\, U_2 \,,\; i_2 = \; h_{21}\, i_1 + h_{22}\, U_2. \qquad (2.10)$$

Коэффициенты *h*, входящие в уравнения, получили название «*h-параметры*».

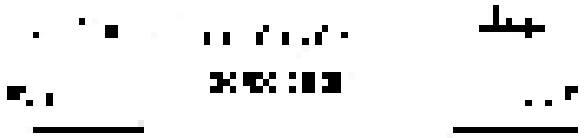


Рис. 2.11. Четырехполюсник – аналог транзистора:
i_1, i_2 – входной и выходной токи, V_1, V_2 – входное и выходное напряжения

Физический смысл этих коэффициентов выясняется, если рассматривать два характерных режима: холостой ход (ХХ) и короткое замыкание (КЗ) на входе и выходе четырехполюсника. Режим ХХ характеризуется отсутствием тока при наличии напряжения, режим КЗ – отсутствием напряжения при наличии тока. В этих случаях:

$h_{11} = U_1/i_1\,(U_2 = 0)$ – входное сопротивление при КЗ на выходе;

$h_{12} = U_1/\, U_2\;(i_1 = 0)$ – коэффициент передачи напряжения при ХХ на входе (коэффициент обратной связи по напряжению);

$h_{21} = i_2 \,/\, i_1\;(U_2 = 0)$ – коэффициент передачи тока при КЗ на выходе;

$h_{22} = i_2 / U_2\,(i_1 = 0)$ – выходная проводимость при ХХ на входе.

В усилительных устройствах с транзисторами *h*-параметры определяют обычно по соотношениям между приращениями токов и напряжений. Например, для схемы с общим эмиттером:

$$\Delta\, U_{бэ} = \; h_{11э}\, \Delta\, I_{бз} + \; h_{12э} \Delta U_{кэ}, \qquad (2.13)$$
$$\Delta\; I_к = \; h_{21э} \Delta\, I_{бз} + \; h_{22э}\, \Delta\, U_{кэ}.$$

Получив опытным путем входные и выходные характеристики, можно вычислить *h*-параметры, как частные производные в заданных точках характеристик, полагая неизменными нужные величины. Например, в схеме ОЭ:

$$h_{11э} = \left.\frac{\Delta\, U_{бэ}}{\Delta\, I_{бз}}\right|_{\substack{U_{кэ} = \text{Const} \\ (\Delta\, U_{кэ} = 0)}} \qquad h_{12э} = \left.\frac{\Delta\, U_{бэ}}{\Delta\, U_{кэ}}\right|_{I_{бз} = \text{Const};} \qquad (2.14)$$

$$h_{21э} = \left.\frac{\Delta\, I_к}{\Delta\, I_{бз}}\right|_{\substack{U_{кэ} = \text{Const} \\ (\Delta\, U_{кэ} \;= 0)}} ; \qquad h_{22э} = \left.\frac{\Delta\, I_к}{\Delta\, U_{кэ}}\right|_{I_{бз} = \text{Const};}$$

h-параметры определяются для любой из трех схем включения транзистора, чаще всего используются $h_{ппэ}$, причем система

h-параметров позволяет в расчетах использовать обобщенную схему замещения транзистора для *h*-параметров, показанную на рис. 2.12.

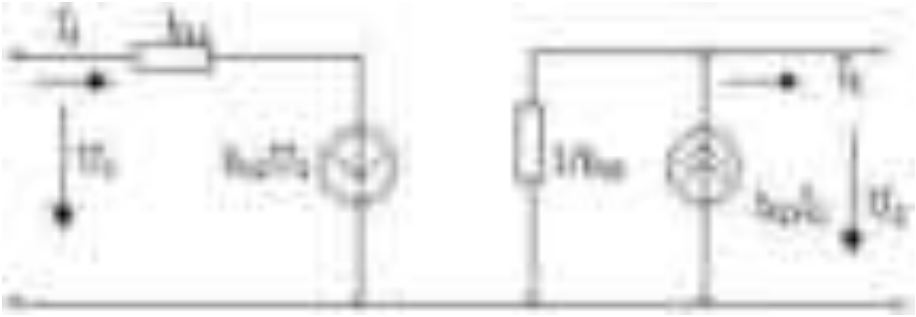


Рис. 2.12. Обобщенная схема замещения биполярного транзистора

Упрощенные (пренебрегаем h_{12}) схемы замещения транзисторов для *h*-параметров будут иметь вид, представленный на рис. 2.13.

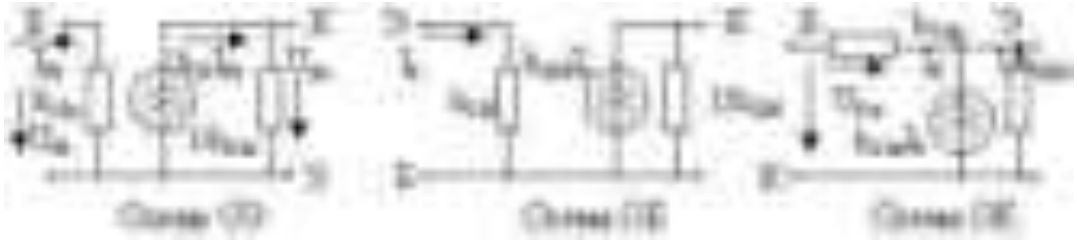
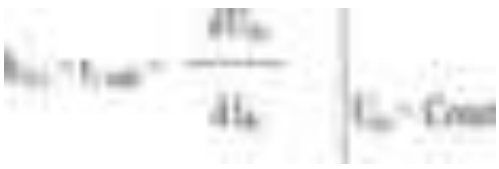


Рис. 2.13. Схемы замещения транзисторов в *h*-параметрах

2.6. Основные параметры биполярных транзисторов

К основным параметрам биполярных транзисторов относятся:

1. Коэффициенты $h_{21э}$, $h_{21б}$, $h_{21к}$ – это коэффициенты передачи тока (коэффициенты усиления по току) (в схеме ОЭ $h_{21э}$ – это β, в схеме ОБ $h_{21б} - \alpha$).
2. Граничная частота для коэффициента передачи тока – это частота, на которой $h_{21э}$ уменьшается до 1.
3. Частота усиления $f(h_{21})$ – это частота, на которой $h_{21э}$ уменьшается в $\sqrt{2}$ раз – этим значением определяется так называемая полоса пропускания частот, т.е. диапазон частот, в которых характеристики усиления удовлетворительны.
4. Дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода в схеме ОЭ



(Значения $h_{11э}$ – Омы, десятки Ом).

5. Выходная проводимость $h_{22э}$ связана с дифференциальным сопротивлением коллекторного перехода.

6. Коэффициент обратной связи по напряжению:

7. Объемное сопротивление базы: $r_б$ = (десятки – сотни Ом).

8. Емкость коллекторного перехода $C_к$. Это фактически барьерная емкость коллекторного перехода $C_к \approx (5 – 50)\ pF$.

9. Максимальная частота генерации:

где $f_{макс}$ – это наибольшая частота, при которой транзистор может работать (способен работать в схеме автогенератора).

10. Обратный ток коллекторного перехода при заданном обратном напряжении: $I_{кбо} = I_к$ при $I_э$=0, $U_{кб}$<0. О значении этого тока говорилось выше. Величина тока $I_{кбо}$ от μA до нескольких мА в зависимости от мощности и качества изготовления транзистора.

11. Максимально допустимый ток коллектора – $I_{к\ макс.}$

12. Наибольшая допустимая мощность рассеяния коллектора:

$$P_{к\ макс} = I_{к\ макс}\, U_{кэ}\,.$$

13. Тепловое сопротивление между коллектором и корпусом:

$$R_т = \Delta T / P_{к\ макс}\,,$$

где ΔT – перепад (градиент) температур между коллектором и корпусом.

Следует помнить, что приведенные в справочных материалах параметры транзисторов определены для заданного диапазона их изменения, т.е. для определенных режимов работы и в заданном диапазоне температур. Поэтому для представления о том, как будут меняться параметры, в литературе [15, 18] приводятся обобщенные зависимости физических параметров от режима работы и от температуры. Вид этих зависимостей (например, для схемы ОЭ) представлен на рис. 2.14.

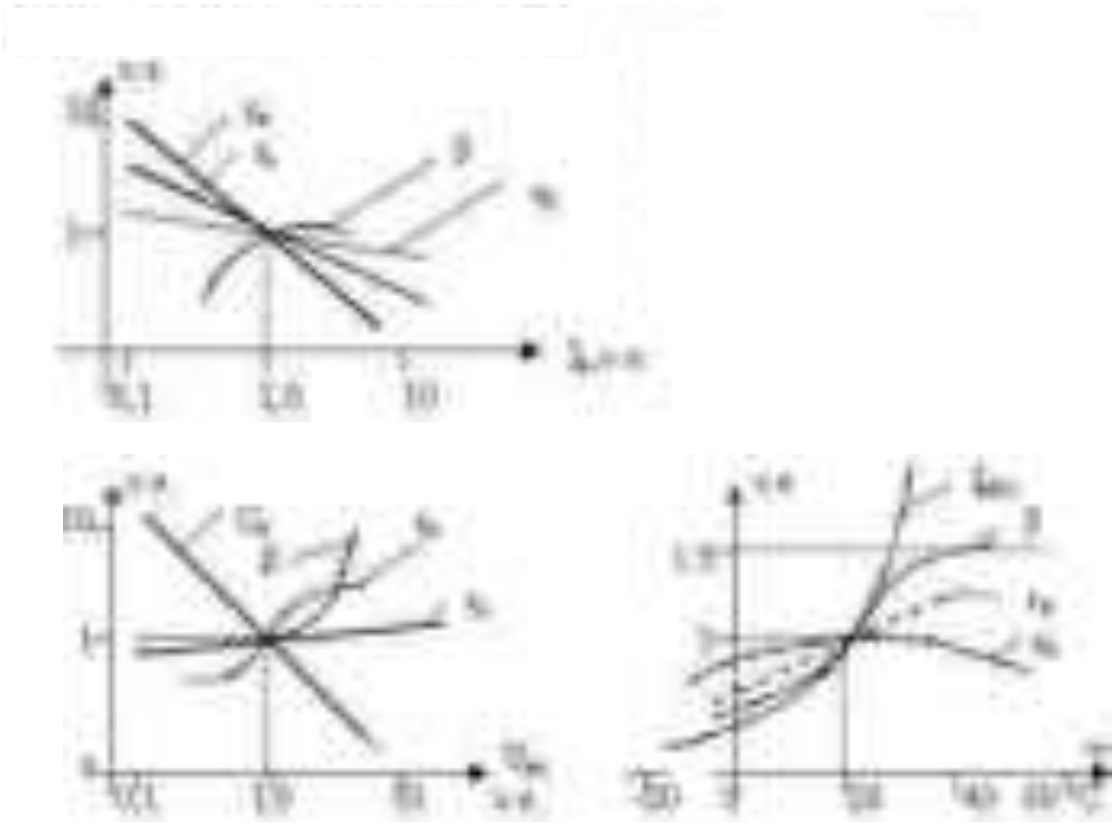


Рис. 2.14. Примерный вид обобщенных зависимостей физических параметров биполярных транзисторов от тока $I_э$ (а), напряжения $U_{кэ}$ (б) и температуры Т (в)

Известно, что для Ge *p–n*-переходов максимально допустимая температура 80 ÷ 100 ºС, для – 150 ÷ 200 ºС.

2.7. Транзисторы с инжекционным питанием

Интересным развитием биполярных транзисторов являются полупроводниковые приборы с инжекционным питанием (предложены в 1971 году, используются в составе микросхем) [7, 9]. Благодаря особой конструкции, эти приборы обладают весьма полезными свойствами. В составе интегральных схем (их называют $И^2Л$ – элементы)

они позволяют получить высокую степень интеграции, так как для их действия требуется очень малая энергия переключения $Э_n = 10^{-12}$ Дж. Хорошо работают в диапазоне температур от – 60 до + 125 ^{0}С. Особенностями являются: инверсный режим (по схеме), ключевой режим (по действию), небольшой логический уровень высокого и низкого напряжений U^1 = (0,6 – 0,7) В, U^0 =(0,1 – 0,2) В, наличие общего для групп четвертого электрода – инжектора, высокое

быстродействие ($t_{здр} \approx 10$ нс). Упрощенная структура транзистора и УГО представлены на рис. 2.15.

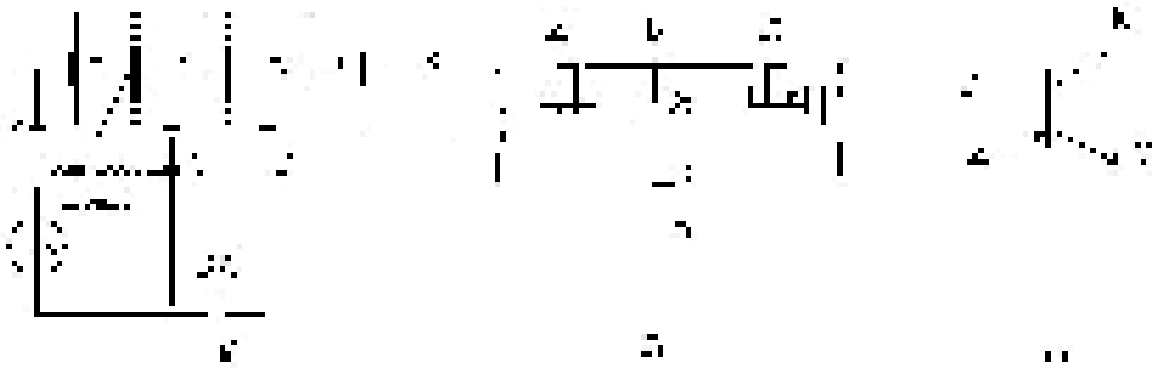


Рис. 2.15. И^{2}Л-элемент: структуры (*а*), (*б*) и УГО (*в*):
И – инжектор, SW – ключ

Принцип действия И^{2}Л-элемента: заряды инжектируются в область P_1, область эмиттера обогащается, поэтому понижается барьер перехода n_1–p_2, а следовательно и перехода p_2–n_2. Между эмиттером и коллектором образуется малое сопротивление (возникает режим насыщения). Если эмиттер соединить с базой, замкнув ключ SW, то сопротивление перехода p_2–n_2 резко увеличивается (возникает режим отсечки). Роль ключа SW может выполнять такой же точно транзистор, а инжектор у них будет общим.

3. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевой транзистор – это полупроводниковый прибор, работа которого обусловлена током основных носителей зарядов, протекающим через проводящий канал, сопротивление которого модулируется (управляется) электрическим полем. Другое название – *униполярные* транзисторы – обусловлено тем, что ток в них создается носителями заряда одного знака (электронами или дырками). Полевые транзисторы имеют определенные преимущества перед биполярными транзисторами, такие как высокое входное сопротивление, малые мощности для управления, высокие частотные свойства, возможность работы при низких температурах, высокая технологичность изготовления.

Полевые транзисторы делятся на транзисторы с затвором в виде *p–n*-перехода (с управляющим *p–n*-переходом) и с изолированным затвором [со структурой металл – диэлектрик – полупроводник (МДП – транзисторы)], (другое название МОП-транзисторы).

3.1. Транзистор с управляющим *p–n*-переходом

Транзистор с управляющим *p–n*-переходом представляет собой пластину (участок) полупроводника *p* или *n* типа, от торцов которой сделаны отводы, называемые сток и исток, а вдоль пластины выполнен электрический переход (*p–n*-переход или барьер Шоттки), имеющий свой вывод, называемый затвором. На затвор подается такое по отношению к истоку напряжение, чтобы *p–n*-переход между затвором и кристаллом был смещен в обратном направлении (рис. 3.1).

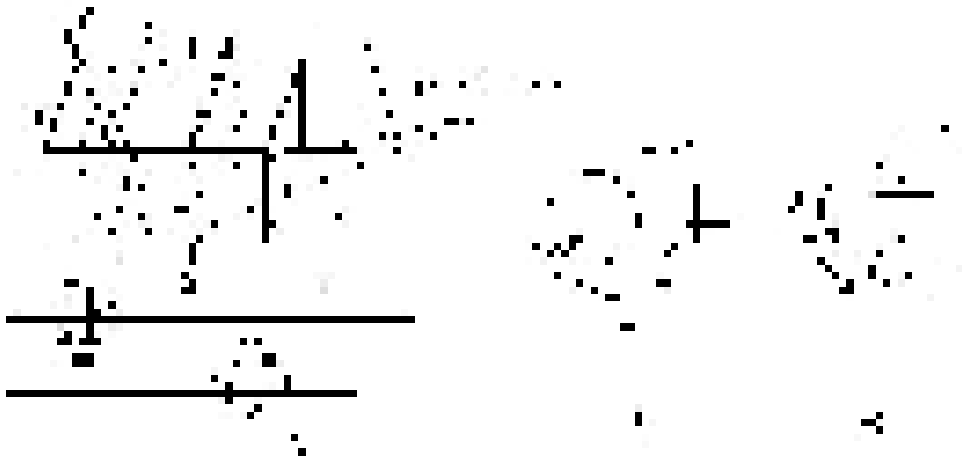


Рис. 3.1. Структура и УГО транзистора с управляющим *p–n*-переходом и каналом *n*-типа (*а*), (*б*); УГО транзистора с каналом *p*-типа (*в*)

Статические характеристики полевого транзистора с управляющим *p–n*-переходом и каналом *n*-типа представлены ниже на рис. 3.2.

Рис. 3.2. Стоко-затворная (*а*) и выходные (*б*) статические характеристики полевого транзистора с управляющим *p–n*-переходом и каналом *n*-типа

Ток стока, при котором достигается значение тока насыщения, называется *начальным током стока* (обозначено $I_{с\ нач}$). Напряжение $U_{си}$, при котором происходит насыщение канала, называется *напряжением насыщения* (обозначено $U_{си\ нас}$). Напряжение $U_{зи}$, при котором ток стока $I_с$ =0, называется *напряжением отсечки* (обозначено $U_{зи\ отс}$). Значения токов насыщения $I_{снас}$ и напряжений $U_{си\ нас}$ зависят от значений $U_{зи}$, причем геометрическое место точек, соответствующих перекрытию канала и наступлению режима насыщения (пунктирная линия), образуют кривую, похожую на прямую ветвь ВАХ диода. С увеличением модуля $U_{зи}$ уменьшается пробивное напряжение между стоком и истоком $U_{си\ пр}$, так как к *p–n*-переходу прикладывается сумма напряжений $U_{си}+U_{зи}$.

На выходных характеристиках имеются три участка: ОА, АБ, БВ. На участке ОА зависимость $I_с = f\ (U_{си})$ практически линейна и имеет большую крутизну. Участок АБ-область насыщения, участок БВ-область электрического пробоя. Участок ОА похож на ВАХ резистора, поэтому полевые транзисторы (ПТ) можно использовать как управляемое сопротивление. Участок АБ используется для усилительных режимов.

Основные параметры ПТ с управляющим *p–n*-переходом. Основными параметрами полевого транзистора являются:

1. Ток стока I_c в области насыщения выходных характеристик при неизменном значении $U_{си}$ определяется по аналитическому выражению стоко-затворной характеристики (3.1):

$$I_c = I_{c\,нач}\,(1 - U_{зи} / U_{зи\,отс})^2. \qquad (3.1)$$

2. Крутизна характеристики S (оценка управляющего действия затвора):

$$S = dI_c / dU_{зи} \;\big|\; Ucu = \text{Const}. \qquad (3.2)$$

Наибольшую крутизну характеристика (3.1) имеет в области $U_{зи}$=0, причем

$$S = S_{нач}\,(1 - U_{зи} / U_{зи\,отс})^2,\ \ S_{нач} = -(2\,I_{с\,нас} / U_{зи\,отс}), \qquad (3.3)$$

где S ≈ (0,3 – 3) мА\В.

3. Температурные свойства ПТ характеризуются семейством стоко-затворных характеристик при разных значениях температуры окружающей среды (рис. 3.3). По характеристикам видно, что ПТ с управляющим *p–n*-переходом имеет «термостабильную» точку Т.

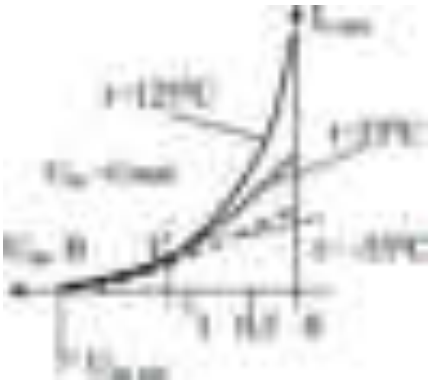


Рис. 3.3. Стоко-затворные характеристики ПТ при разных температурах

Наличие точки, в которой сходятся характеристики, снятые в широком диапазоне температур, свидетельствует о том, что параметры ПТ в этой точке мало зависят от температуры. Нужно заметить, что и крутизна характеристики в этой точке не велика.

4. Усилительные свойства ПТ помимо крутизны *S* характеризуются ещё коэффициентом усиления напряжения *M*, причем

$$M = dU_{си} / dU_{зи} \;\big|\; Ic = \text{Const}. \qquad (3.4)$$

5. Дифференциальное внутреннее сопротивление

$$R_{си\ диф} = dU_{си} / dI_c \;\big|\; Uзи = \text{Const}, \qquad (3.5)$$

$R_{си\ диф}$ = (0,1 – 1) Мом.

Учитывая (3.3), (3.4), (3.5), получим

$$M = S\,R_{си\ диф}\,. \qquad (3.6)$$

6. Емкость *p–n*-перехода между затвором и каналом характеризуют двумя значениями: ёмкостью между затвором и истоком $C_{зи}$ и между затвором и стоком $C_{зс}$. Величина ёмкости составляет (5 – 20)*pF*.

7. Эквивалентные схемы ПТ с управляющим *p–n*-переходом разнообразны в зависимости от условий применения. Наиболее часто используются так называемые малосигнальные (для сигналов переменного тока) эквивалентные схемы, показанные на рис. 3.4.

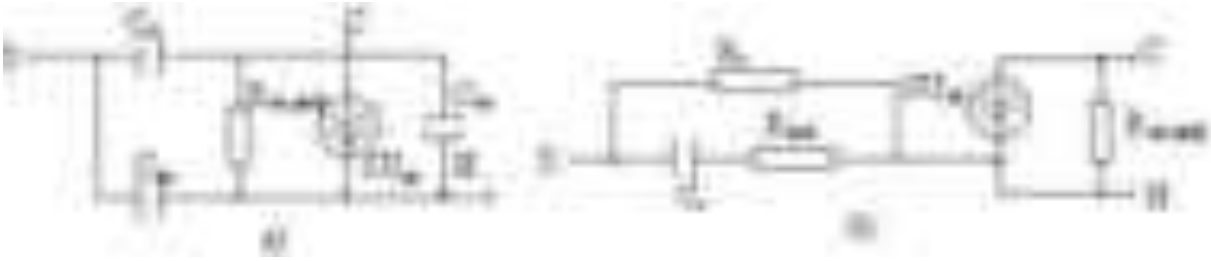


Рис. 3.4. Малосигнальные эквивалентные схемы ПТ:
исходная (*а*), преобразованная (*б*);
$R_З$ – омическое сопротивление затвора,
$R_{экв}$ – усредненное эквивалентное сопротивление,
через которое заряжается эквивалентная емкость затвора $C_з$

Ориентировочные значения для параметров ПТ с управляющим *p–n*-переходом [15]:

S = (0,3 – 3) мА/В; $R_З = 10^{10}$ Ом; $R_{си}$ = (0,1 – 1) мОм;

$R_{экв}$ = (50 – 800) Ом; $C_з$ = (0,2 – 10) пФ.

Изменение параметров и характеристик ПТ с изменением температуры обусловлено изменением:

– обратного тока *p–n*-перехода;

– контактной разности потенциалов;

– удельного сопротивления канала.

Особое свойство ПТ с управляющим *p–n*-переходом – наличие термостабильной точки (рис. 3.3). Это свойство обусловлено тем, что с ростом температуры удельное сопротивление канала увеличивается, вызывая уменьшение тока стока. Это дает возможность правильным выбором режимов взаимно компенсировать изменения тока стока, вызванные изменением контактной разности потенциалов и удельного сопротивления канала. При этом можно добиться, чтобы ток I_c оставался неизменным в широком диапазоне изменения темпе-

ратур (рис. 3.3). Это объясняется тем, что контактная разность потенциалов с увеличением температуры уменьшается приблизительно на 2,2 мВ/град, что должно (при неизменном $U_{зи}$) приводить к увеличению тока стока. Увеличение удельного сопротивления канала должно приводить к уменьшению этого тока. Ориентировочное положение термостабильной точки на стоко-затворной характеристике определяется значением: $|U_{зи\ т}| = |U_{зи\ отс}| - 0{,}63$ В. Недостаток этого режима – малая крутизна характеристик.

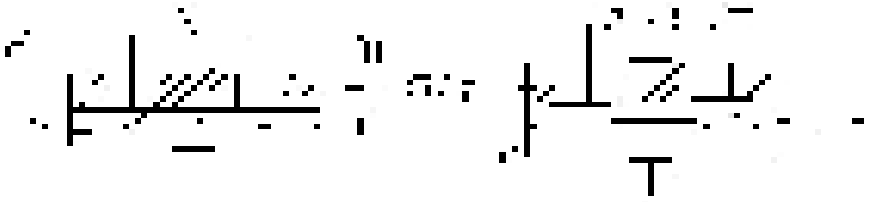
3.2. МДП (МОП)-транзисторы

МДП-транзисторы (полевые транзисторы с изолированным затвором) могут быть двух видов:

а) с индуцированным каналом (канал возникает под действием напряжения, приложенного к управляющим электродам);

б) со встроенным каналом (канал создается при изготовлении).

У МДП-транзистора, в отличие от ПТ с управляющим *p–n*-переходом, металлический затвор изолирован от полупроводника слоем диэлектрика и имеется дополнительный вывод П (рис. 3.5) от кристалла, называемый подложкой.



а *б*

Рис. 3.5. Схематичная структура МОП транзисторов с индуцированным каналом (*а*) и со встроенным каналом (*б*), (каналы *p*-типа)

МДП-транзистор с индуцированным каналом *p*-типа устроен следующим образом. Основа – пластина слаболегированного кремния *n*-типа называется подложкой (вывод П на рис. 3.5). В теле подложки созданы две сильно легированные области с полупроводником *p*-типа. Одна из них – сток (С), другая – исток (И). Электрод затвора З изолирован от областей тонким слоем диэлектрика SiO_2 толщиной (0,2 – 0,3) мкм.

Вследствие физических явлений, возникающих на границе раздела диэлектрика SiO_2 с полупроводником *n*-типа, в подложке индуцируется обогащенный электронами поверхностный слой (рис. 3.6).

Между *p*-областями стока и истока будет располагаться слой отрицательных зарядов, образуя структуру *p–n–p* на пути от истока к стоку.

В месте контакта двуокиси кремния и полупроводника образуется контактная разность потенциалов, достигающая значения (1,4 – 2,4) В.

p-области с подложкой *n*-типа образуют *p–n*-переходы. К стоку и истоку прикладываются противоположные по знаку потенциалы, поэтому при любой полярности приложенного к электродам стока и истока напряжения один из *p–n*-переходов будет смещен в обратном направлении и препятствует протеканию тока. Следовательно, в данном приборе в исходном состоянии между стоком и истоком отсутствует токоведущий канал. Проводящий канал возникает при достижении напряжением на затворе некоторого порогового значения $U_{зи\ пор}$ при $U_{си} \neq 0$, $|U_{зи\ пор}| \approx (2 – 4)$ В.

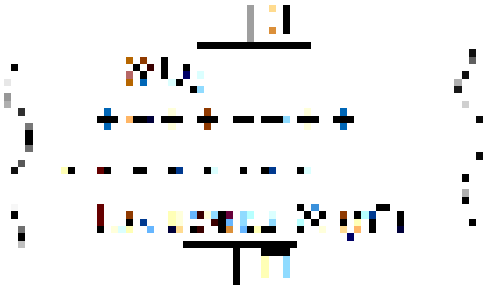


Рис. 3.6. Исходное распределение зарядов на границе раздела двуокиси кремния и полупроводника

При увеличении (в данном случае отрицательного относительно истока) напряжения на затворе выше порогового значения в подложке на границе раздела образуется слой зарядов с электропроводностью *p*-типа. Этот слой соединяет *p*-области стока и истока, образуя токопроводящий (индуцированный) канал. Чем больше значение отрицательного напряжения на затворе, тем больше толщина индуцированного канала и его проводимость. Таким образом, рассматриваемая структура обладает признаками управляемого ключевого элемента. Если на затворе установлен положительный или нулевой потенциал, ток между стоком и истоком протекать не может (цепь «разомкнута», т.е. имеет очень большое сопротивление). Если же на затворе установить отрицательный потенциал, по модулю больший $U_{зи\ пор}$, в цепи сток – исток может протекать ток, зависящий от управляющего напряжения $U_{зи}$ и напряжения питания $U_{си}$ (рис. 3.7, *в*).

Стоко-затворную характеристику часто называют характеристикой управления, так как от величины и знака напряжения на затворе относительно истока $U_{зи}$ зависит величина тока стока I_c.

Рис. 3.7. Иллюстрация образования токопроводящего канала (*а*), условное графическое обозначение (*б*) и стоко-затворная характеристика (*в*) МДП-транзистора с индуцированным каналом *p*-типа

Статические стоковые (выходные) характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом *p*-типа (рис. 3.8) по виду похожи на таковые для транзистора с управляющим *p–n*-переходом и каналом *n*-типа (рис. 3.2, *б*).

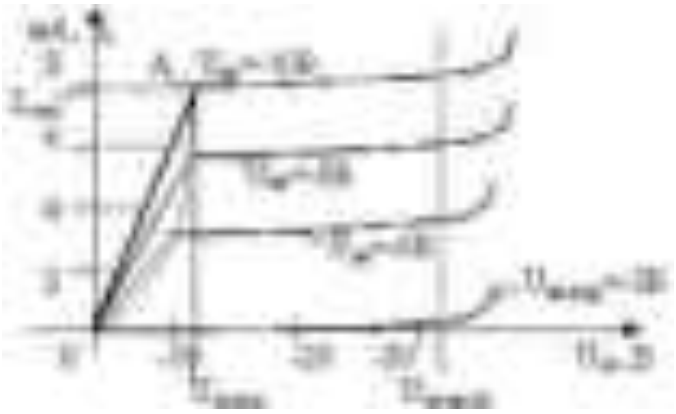


Рис. 3.8. Упрощённые стоковые характеристики МДП-транзистора с индуцированным *p*-каналом (электрические величины ориентировочные)

При $|U_{зи}| < |U_{зи\ пор}|$ ток очень мал (доли μА), поэтому до пробивного напряжения $U_{си\ проб}$ величина тока I_c практически незаметна. Если $|U_{зи}|$ превышает $|U_{зи\ пор}|$, то при малых значениях $|U_{си}|$ ток стока изменяется вначале прямо пропорционально изменению $U_{си}$ (участок ОА). Затем из-за сужения канала и уменьшения его общей проводимости рост тока I_c уменьшается. В точке А ток достигает значения тока на-

сыщения, соответствующего значению $U_{зи}$ для данной характеристики. Ток стока можно представить состоящим из двух составляющих:

$$I_c = I_к + I_{c\,ост},$$

где $I_к$ – ток канала (управляемая часть);

$I_{c\ ост}$ – остаточный ток стока (это ток утечки плюс обратный ток неосновных носителей), $I_{c\,ост} \approx 0$.

В точке А (рис. 3.8) управляемая часть тока уже не растет (достигнут режим насыщения), поэтому при дальнейшем увеличении $U_{си}$ ток стока остается неизменным, равным насыщенному значению $I_{c\ нас.}$ При увеличении напряжения $U_{си}$ до значения $U_{си\ проб}$ возникает электрический пробой стокового p–n-перехода, ток стока резко увеличивается, замыкаясь через цепь подложки (подложку обычно соединяют с истоком отдельным проводником). Если увеличивать значение $|U_{зи}|$ при неизменном $U_{си}$, то за счет увеличения электропроводности канала стоковая характеристика поднимется вверх, а значения $|U_{си\ на}|$ и $I_{c\ нас}$ станут больше.

Следует отметить, что практически пропорциональная зависимость тока стока I_c от напряжения $U_{си}$ при заданном значении управляющего напряжения $U_{зи}$ на участках ОА стоковых характеристик (рис. 3.8) позволяет построить «переменный резистор» с управляемой вольт-амперной характеристикой. Управление таким элементом может осуществляться либо простым изменением потенциала на затворе при заданном значении напряжения сток – исток, либо изменением обоих напряжений. Несмотря на малый возможный диапазон изменения этих напряжений данные свойства полевого транзистора существенно расширяют возможности их использования в различных устройствах.

В МОП-транзисторах с индуцированным каналом может также использоваться подложка p-типа, в которой будет индуцироваться канал n-типа (рис. 3.9).

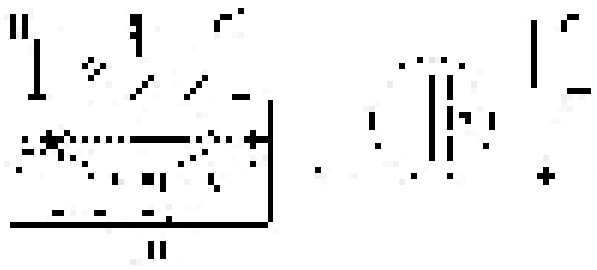


Рис. 3.9. Структура и УГО полевого транзистора с индуцируемым каналом n-типа

В исходном состоянии структуры вследствие контактных явлений на границе раздела диэлектрика SiO_2 с полупроводником подложки образуется слой зарядов с электропроводностью *n*-типа, т.е. высоколегированные *n*-области уже соединены начальным каналом *n*–типа, который будет обладать при $U_{зи}$=0 некоторой проводимостью. В таком канале путь для тока от истока к стоку уже открыт при $U_{зи}$=0.

Если $U_{зи}$<0, а исток соединен с подложкой, то отрицательное напряжение на затворе будет способствовать обеднению слоя, образующего проводящий канал *n*-типа. При некотором значении $U_{зи\ пор}$<0 канал ликвидируется вовсе. Учитывая сказанное, статические характеристики МОП-транзистора с индуцируемым каналом *n*-типа будут отличаться от таковых для транзистора с индуцируемым каналом *p*-типа. Основные отличия: стоко-затворная характеристика может пересекать ось тока стока, так как ток стока имеет не нулевое значение при отсутствии управляющего напряжения $U_{зи}$; управляющее напряжение может быть отрицательным, положительным либо нулевым.

Анализируя стоко-затворные характеристики транзистора с индуцируемым каналом *n*-типа (рис. 3.10, *а*), можно видеть, что этот транзистор также обладает свойствами управляемого ключевого элемента как и транзистор с индуцируемым каналом *p*-типа.

Рис. 3.10. Примерный вид характеристики управления (*а*) и выходных характеристик МОП-транзистора с индуцированным каналом *n*-типа (*б*)

Отмеченные выше две характерные особенности МОП-транзистора с индуцируемым каналом *n*-типа позволяют существенно расширить область их использования в электронных устройствах.

3.3. МДП-транзисторы со встроенным каналом

МДП-транзисторы со встроенным каналом могут быть с каналом *n* или *p*-типа. Условное изображение таких транзисторов показано на

рис. 3.11. Статические характеристики МОП-транзистора со встроенным каналом *n*-типа качественно не отличаются от статических характеристик МОП-транзистора с индуцируемым каналом *n*-типа. Это же справедливо и для МДП-транзисторов со встроенным каналом *p*-типа.

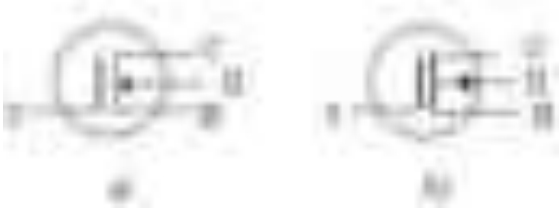


Рис. 3.11. УГО полевых транзисторов со встроенным каналом: канал *n*-типа (*а*), канал *p*-типа (*б*)

У транзисторов со встроенным каналом можно получить относительно большие токи – это их преимущество.

У всех МДП-транзисторов потенциал подложки относительно истока оказывает влияние на характеристики транзистора.

Если на подложку подается потенциал относительно истока, то напряжение между подложкой и истоком должно иметь такую полярность, чтобы *p*–*n*-переход «исток – подложка» был смещен в обратном направлении.

С увеличением напряжения между подложкой и истоком ($U_{пи}$) уменьшается действие управляющего напряжения $U_{зи}$, т.е. при том же $U_{зи}$ ток стока I_c становится меньше (рис. 3.12). Это отражается на положении стоко-затворной характеристики: с ростом напряжения $U_{пи}$ она смещается влево, увеличивая пороговое напряжение открытия транзистора. Возможность изменения состояния МОП-транзистора с помощью дополнительного напряжения, подаваемого на подложку, расширяет функциональные возможности этого прибора.

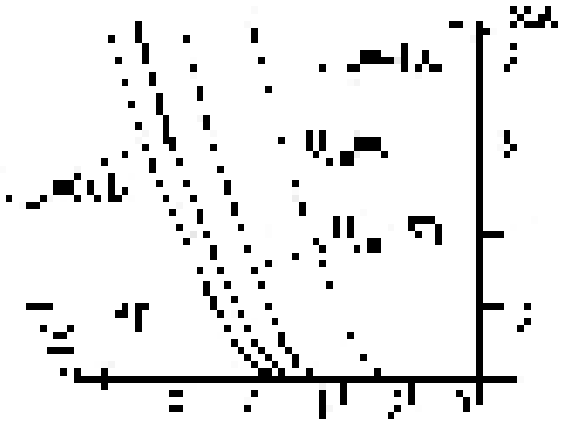


Рис. 3.12. Иллюстрация влияния напряжения $U_{пи}$ на характеристики управления МДП-транзистора с индуцируемым каналом *p*-типа

3.4. Способы включения полевых транзисторов

Способы включения полевых транзисторов (ПТ) в электрическую схему на примере полевого транзистора с управляющим *p–n*-переходом и каналом *p*-типа показаны на рис. 3.13.

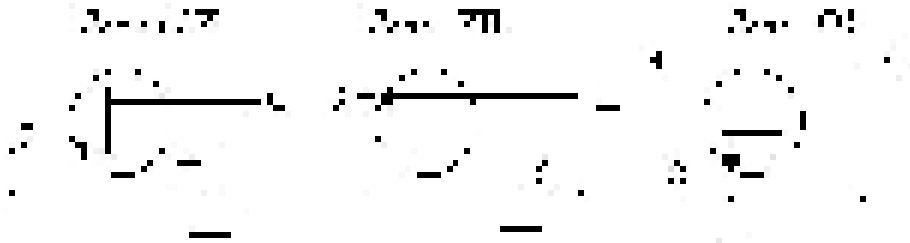


Рис. 3.13. Схемы включения полевых транзисторов:
с общим истоком (ОИ), с общим стоком (ОС) – истоковый повторитель (ИП),
с общим затвором (ОЗ)

3.5. Полевой транзистор как четырехполюсник

В расчетах схем с полевыми транзисторами также используют параметры четырехполюсника: при малых сигналах наиболее удобна система *g*-параметров (рис. 3.14).

Рис. 3.14. Четырехполюсник – расчётный
эквивалент полевого транзистора

Система уравнений, соответствующая четырехполюснику, имеет вид:

$$I_{1\sim} = g_{11}\,U_{1\sim} + g_{12}\,U_{2\sim}; \quad I_2 = g_{21}\,U_{1\sim} + g_{22}\,U_{2\sim}. \qquad (3.7)$$

Коэффициенты данной системы имеют размерности проводимостей и являются универсальными параметрами, которые для каждой из схем включения ПТ имеют свои значения.

Для схемы ОИ:

g_{11} – входная проводимость при $U_{2\sim} = 0$;

g_{12} – проводимость обратной передачи при $U_{1\sim} = 0$;

g_{21} – проводимость прямой передачи при $U_{2\sim} = 0$;

g_{22} – выходная проводимость при $U_{1\sim} = 0$.

Следует заметить, что режимы $U_{1\sim} = 0$, $U_{2\sim} = 0$ достигаются не коротким замыканием выводов, а включением емкостей (достаточно больших), представляющих малое сопротивление для переменных составляющих. На высоких частотах g-параметры переходят в y-параметры, где $y = g + j\omega C$, а ёмкость C определяется по эквивалентной схеме.

3.6. МДП-структуры специального назначения

Структура МНОП (металл – нитрид – оксид – полупроводник) – это составная часть микросхем памяти (рис. 3.15).

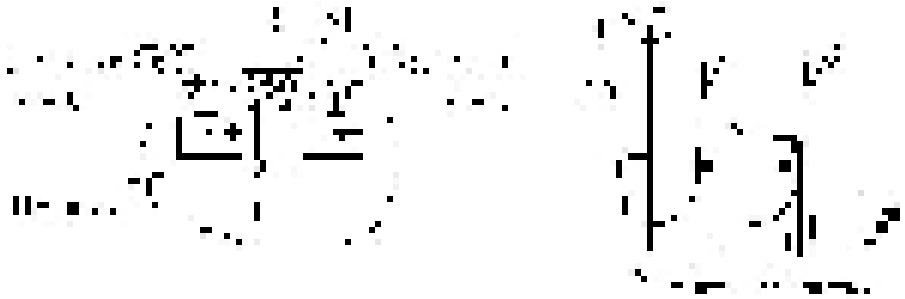


Рис. 3.15. Структура МНОП и характеристики управления до (*1*) и после (*2*) программирования ($\Delta U_{пор}$ – межпороговая зона)

В структуре МНОП диэлектрик двухслойный. Если на затвор подать +(28 ÷ 30) В, то электроны из подложки туннелируют в толстый слой Si_3N_4, где образуют область неподвижных отрицательных ионов. Их заряд повышает пороговое напряжение (кривая 2, рис. 3.15) и может храниться долго (несколько лет) при отключении всех напряжений.

Если подать отрицательное напряжение, заряд рассасывается, пороговое напряжение уменьшается (кривая 1, рис. 3.15). «Записывая» заряд, мы изменяем сопротивление, которое будет проявляться при пороге $U_{зи} \approx$(3 ÷ 5) В. На МНОП структурах выполняют запоминающие элементы, которые будут иметь то или иное сопротивление между стоком и истоком. Другим видом структур специального назначения являются *приборы с зарядовой связью*.

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) относятся к приборам с переносом заряда [9]. Упрощенная структура такого прибора представлена на рис. 3.16.

Конструктивно ПЗС можно представить цепочкой МОП-транзисторов на общем кристалле *p*-типа. Каждый транзистор – своеобразный конденсатор. Размеры электродов – 10 мкм, промежуток между ними (2 – 4) мкм, толщина диэлектрика 0,1 мкм (рис. 3.16).

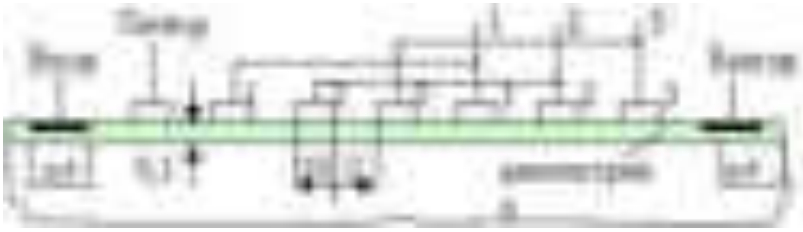


Рис. 3.16. Схематичная структура ПЗС

Характерны два режима работы:

1) хранение информации в виде заряда в одном или нескольких конденсаторах;

2) перенос заряда из одного конденсатора вдоль цепочки в следующий: (наличие заряда = «1», отсутствие = «0» в цифровой форме), изменение величины заряда – в аналоговой форме.

МОП-транзисторы с плавающим затвором (с лавинной инжекцией заряда) (ЛИЗМОП). В структуре ЛИЗМОП (рис. 3.17) при подаче напряжения на сток или исток (относительно подложки) возникает лавинный пробой *p–n*-перехода между *p*-областью и подложкой. Электроны с повышенной энергией проникают в изолирующий слой и достигают области затвора, образуя там отрицательный заряд, который может храниться несколько лет. Наличие этого заряда вызывает появление проводящего канала, соединяющего сток и исток, т.е. транзистор становится проводящим. Чтобы транзистор стал непроводящим, надо убрать заряд. Делают это путем облучения кварцевыми лампами через специальные окна из кварцевого стекла. Такая структура используется для создания запоминающих ячеек в микросхемах памяти запоминающих устройств цифровых схем. Металлический вывод от затвора в таких структурах не нужен.

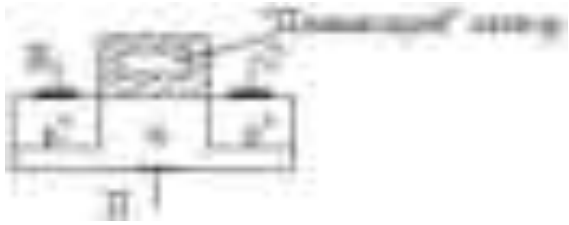


Рис. 3.17. Структура запоминающей ячейки ЛИЗМОП

Полевые транзисторы с двумя затворами (тетродные). Наличие второго затвора позволяет одновременно управлять током транзистора с помощью двух управляющих напряжений, что используется для построения различных функциональных схем, например множительных устройств (рис. 3.18).

Рис. 3.18. Изображение ПТ с двумя затворами
(МОП-транзистор со встроенным каналом *p*-типа)

Для ПТ с двумя затворами указывают крутизну характеристики по первому и второму затворам, напряжение отсечки первого и второго затвора. Остальное – как для однозатворного.

3.7. Нанотранзисторы

Проблемы микроминиатюризации. Планарная групповая технология производства ИС добилась впечатляющих успехов в миниатюризации полупроводниковых элементов, в частности транзисторов, размещенных на одном чипе.

Физические законы, лежащие в основе работы транзисторов, устанавливают свои пределы на размеры элементов, а технология требует новых подходов и процессов. Одной из основных проблем при переходе к наноразмерам транзисторов является проблема межсоединений [23]. С уменьшением геометрических параметров линий межсоединений на кристалле возрастают плотность тока и сопротивление, что вызывает разогрев этих линий, изменение их геометрии, причем при плотности тока ~10^5 А/см^2 и температуре 210 ^{0}С токоведущие дорожки выходят из строя. Время работы межсоединений существенно уменьшается, а надёжность работы чипа резко падает.

С увеличением частоты сигналов линии межсоединений становятся волноводными линиями. Оценки показывают, что начиная с частот 10^{11} Гц задержки сигнала, обусловленные волновыми свойствами, становятся сравнимыми со временем переключения транзисторов ($t_{П} \approx 10^{-11}$ с).

В наноструктурах используются квантовые эффекты токопереноса, не характерные для обычного токопереноса по проводным линиям, поэтому обычные металлические дорожки теряют свое предназначение, а для межсоединений должны быть разработаны нанопроводники [23].

В настоящее время элементной базой микроэлектроники являются микроэлектронные транзисторы. Основной кремниевой транзисторной структурой в микроэлектронике является кремниевая МДП-структура.

Сейчас достигнуты длина канала и затвора около 100 нм, толщина подзатворного слоя ($Si0_2$) составляет 0,8 нм (три атомных слоя). Это позволило увеличить быстродействие, но обостряет следующие проблемы: возрастают токи утечек, увеличиваются сопротивления областей сток-исток (увеличивается плотность выделяемой в структуре мощности, растет напряжение переключения). С увеличением напряжения возрастает опасность пробоя подзатворного слоя. Уменьшение длины канала требует увеличения степени легирования в канале до 10^{18} см$^{-3}$, а это приводит к снижению подвижности носителей заряда и росту порога включения транзистора [23].

Сейчас ведутся разработки транзисторных структур для субмикронной технологии: на 0,13; 0,10; 0,07 мкм, а технология нанометрового диапазона станет промышленной предположительно на ближайшие 50 лет [23].

Некоторые виды транзисторов субмикронной технологии. Проблему масштабирования параметров транзисторов пока предлагается решать в следующих направлениях [23]:

1. КНИ-транзисторы (кремний на изоляторе с ультратонким основанием) (UTB-Ultrathin Body):

а) приборы с управляемой проводимостью канала;

б) транзисторы с двойным затвором;

в) плавникоподобный полевой транзистор (FinFET);

г) одноэлектронные транзисторы.

КНИ транзистор имеет обедненное носителями заряда основание, поэтому в инверсионном слое электрическое поле слабее, следовательно, мощность управления требуется малая.

Фирма Intel создала транзистор TeraHertz (рис. 3.19), в котором основание обеднено полностью, толщина основания 30 нм, за счет этого достигнуто высокое быстродействие и низкая потребляемая мощность.

При напряжении 1,3 В, ток стока достигает 650 мкА, а ток утечки составляет 9 нА.

Рис. 3.19. Структуры обычного (*а*) и TeraHertz (*б*) транзисторов

Стоко-затворные характеристики КНИ-транзистора показаны на рис. 3.20.

Недостатки КНИ-структур: короткий канал трудно управляется напряжением затвора, требуется высокая степень легирования области истока. Эти недостатки можно частично устранить в транзисторах с двойным затвором.

Конструкция такого транзистора имеет вид пластины (плавника), обернутой затворной областью. Эти транзисторы получили название FinFET-транзисторы (fin – плавник).

Каналы индуцируются напряжением на затворах вдоль обеих сторон пластины.

Трехмерная структура позволяет значительно снизить потери на тепловыделение, ток увеличивается в два раза. Тело транзистора (плавник) имеет толщину 20 нм и высоту 180 нм.

Пороговое напряжение 0,15 В. Затворов может быть два или три (рис. 3.21).

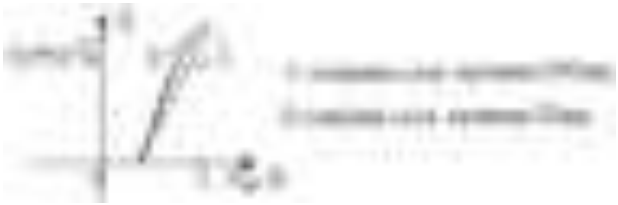


Рис. 3.20. Примерные стоко-затворные характеристики КНИ-транзистора

Рис. 3.21. Конструктивная схема нанотранзистора с тремя затворами

2. Гетеротранзисторы (HEMT-транзисторы) (High Electron Mobility Transistor) – это гетероструктурные полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов.

Наиболее популярным активным элементом такого типа (на гетероструктурах) является *n*-канальный полевой транзистор с затвором Шоттки на арсеинд-галлиевой (GaAs) структуре (MESFET). Транзисторы этого типа имеют длину канала ≈ 0,13 мкм и работают на частоте 50 ГГц.

На основе гетеропереходных ПТ с затвором Шоттки (ГПТШ) созданы СВЧ-транзисторы на переходах AlGaN-GaN.

Структура ГПТШ на основе GaN показана на рис. 3.22.

Рис. 3.22. Структура транзистора на гетеропереходах

3. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок. Эти транзисторы имеют меньшие размеры и меньшее потребление по сравнению с другими нанотранзисторами. Углеродная нанотрубка по диаметру меньше толщины человеческого волоса в $10^4 – 10^5$ раз.

Транзистор формируется на кремниевой подложке, покрытой слоем окисла SiO_2 (рис. 3.23, *а*). В Московском институте электронной техники (МИЭТ) проведены исследования макетных образцов нанотранзисторов на основе углеродных трубок [23]. Стокозатворная характеристика транзистора напоминает классическую характеристику МОП транзистора со встроенным каналом *p*-типа (рис. 3.23, *б*).

Отмечено, что создание нанотранзисторов на основе единичной нанотрубки является весьма трудоёмким процессом.

Рис. 3.23. Структурная схема нанотранзистора на углеродных нанотрубках (*а*) и его стоко-затворная характеристика (*б*)

Транзисторы на основе углеродных нанотрубок считаются перспективными для работы в условиях высоких температур.

4. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Приборы, имеющие на вольтамперной характеристике участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС), позволяют выполнить устройства, обладающие особыми свойствами и характеристиками. К таким приборам относятся: туннельные диоды, однопереходные транзисторы (двухбазовые диоды), тиристоры и динисторы.

4.1. Туннельный и обращенный диоды

Туннельный диод (ТД) – это диод, на ВАХ которого имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. В зависимости от назначения туннельные диоды разделяют на: усилительные (ЗИ 101, ЗИ 104); генераторные (ЗИ 201, ЗИ 203); переключательные (ЗИ 306 – ЗИ 309) [13].

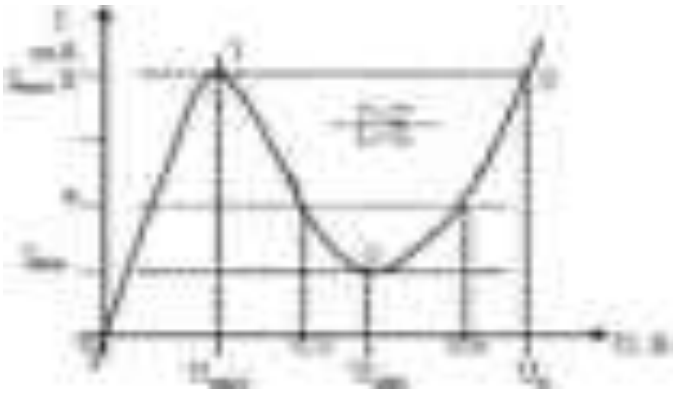


Рис. 4.1. ВАХ туннельного диода

Туннельный диод имеет один p^+–n^+-переход, но по сравнению с обычными диодами отличается высокой концентрацией примесей. Из-за этого обедненный слой, образующийся в месте *p*–*n*-перехода, оказывается очень тонким. Это приводит к появлению так называемого туннельного эффекта, когда носители зарядов (электроны

и дырки), имеющие меньшую энергию, чем высота потенциального барьера, могут проникать сквозь этот барьер (туннелировать) вследствие волновых свойств частиц [25].

На участке 0 – 1 (рис. 4.1), где действует туннельный механизм переноса носителей заряда (вся область отрицательных и начальный участок положительных напряжений, приложенных к диоду), сопротивление диода мало. С увеличением положительного напряжения до значения $U_{макс}$ туннельный ток диода растет (участок 0 – 1) до значения $I_{макс}$, а затем снижается. При напряжении $U_{мин}$, соответствующем току $I_{мин}$, туннельный эффект прекращается. С дальнейшим ростом напряжения начинает проявляться инжекция носителей тока через прямо смещенный *p–n*-переход, потенциальный барьер перехода снижается, увеличивается прямой ток, обусловленный диффузией зарядов.

Наклон падающего участка ВАХ (участок 1 – 2 на рис. 4.1) определяет величину дифференциального отрицательного сопротивления диода: $R_д = \Delta U / \Delta I$, $R_д$ составляет (десятки – сотни) Ом.

Наличие отрицательного сопротивления позволяет использовать ТД для генерации колебаний и в переключательных схемах. Напряжение переключения $U_{перекл} = U_п - U_{макс}$, где $U_п$ – напряжение питания.

Так как туннельный механизм переноса зарядов не связан с процессами диффузии носителей заряда, то ТД могут работать на очень высоких частотах (сотни МГц – ГГц) и в широком диапазоне температур (от 4,2 до 620 К). ТД изготавливают из Si, Ga, AsGa.

Обращенный диод является разновидностью ТД, однако в нем вместо участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением на ВАХ имеется практически горизонтальный участок. Диод можно использовать для выпрямления малых напряжений, если использовать обратную ветвь ВАХ (рис. 4.2).

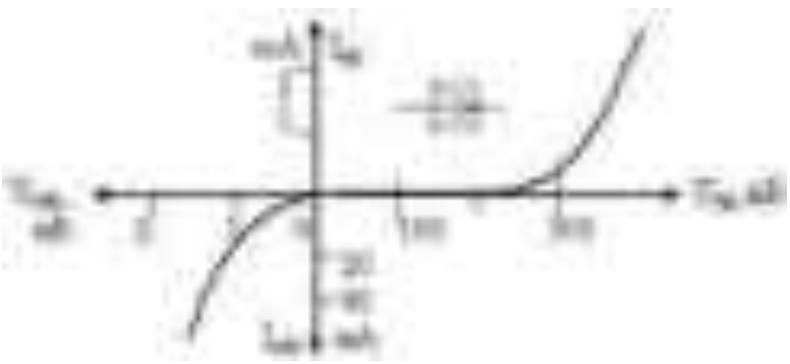


Рис. 4.2. ВАХ обращённого диода

4.2. Двухбазовый диод (однопереходный транзистор)

Двухбазовый диод – это трёхэлектродный полупроводниковый прибор, содержащий один электронно-дырочный переход (эмиттерный) и два вывода от базовой области ($б_1$ и $б_2$ рис. 4.3).

База выполнена из полупроводника одного типа проводимости, а эмиттер – из другого. При межбазовом напряжении $U_{мб} = 0$ ВАХ $i_1 = f(U_1)$ представляет собой обычную ВАХ p–n-перехода. При $U_{мб} > 0$ ток i_2 создает внутри кристалла (базы) на участке $Э – б_1$ падение напряжения $U_{вн}$, которое является запирающим для p–n-перехода. Поэтому при $U_{вн} > U_1$ переход закрыт, через него, как обычно, течет малый обратный ток ($i_1 = – I_{10}$). При $U_1 \geq U_{вн}$ (точка 1, на рис. 4.3, *в*) переход открывается, в базу из эмиттера инжектируются неосновные носители, сопротивление участка базы $Э – б_1$ резко падает.

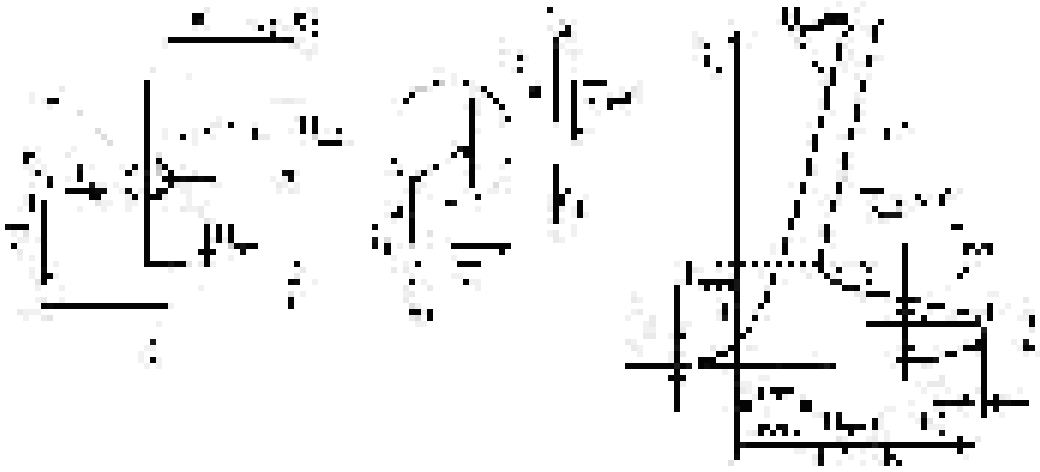


Рис. 4.3. Структура *(а),* УГО *(б)* и ВАХ *(в)* двухбазового диода с n-базой

С уменьшением сопротивления перехода эмиттер-база 1 уменьшается запирающее напряжение $U_{вн}$, ток i_1 увеличивается, еще более открывая p–n-переход ($dU_1 / di_1 < 0$) – развивается лавинообразный процесс, заканчивающийся полным открытием перехода (точка 2), после чего ВАХ выходит на прямую ветвь характеристики p–n-перехода. Напряжение включения:

$$U_{вкл} = U_{вн\,(i1=0)} + U_{10} \approx U_{вн\,(i1=0)} = U_{мб}(R_{б1}/R_{мб}) = U_{мб} \cdot \eta_R, \qquad (4.1)$$

где $R_{мб}$, $R_{б1}$ – сопротивление кристалла соответственно между $б_1$, $б_2$ и $Э - б_1$;

U_{10} – начальное напряжение открытого перехода , $U_{10} << U_{вкл}$;

$\eta_R = U_{вн\ (i1=0)} / U_{мб} \approx R_{б1} / (R_{б1} + R_{б2})$ – внутренний параметр (коэффициент передачи напряжения).

Диоды КТ 117А-Г имеют: η_R = 0,5 – 0,9; $R_{мб}$ = (4 – 12) кОм;
$I_{вкл} \le 20$ мкА; $I_{э\ мах} \le 50$ мА; $I_{выкл} \ge 1$ мА; $U_{мб} \le 30$ В;
$f_{ген \cdot макс} \le 200$ кГц; $U_{остаточное\ э\text{-}б} \le 5$ В.

Существуют однопереходные транзисторы (двухбазовые диоды) с базой из полупроводника *p*-типа и эмиттером *n*-типа. ВАХ такого диода аналогичны рассмотренным, но направления токов и напряжений изменяются на обратные, а стрелка на эмиттере в УГО направлена от базы. Есть безкорпусные двухбазовые диоды КТ 119 А, Б, которые используются в схемах генерации и в релейных элементах [15]. Из двух биполярных транзисторов можно создать аналог двухбазового диода, схема которого приведена на рис. 4.4.

Падение напряжения на резисторе $R_{б1}$ играет роль внутреннего напряжения. Транзисторы VT_1 и VT_2 закрыты при $U_1 < [E \cdot R_{б1}/(R_{б1} + R_{б2})] = U_{Rб1}$.

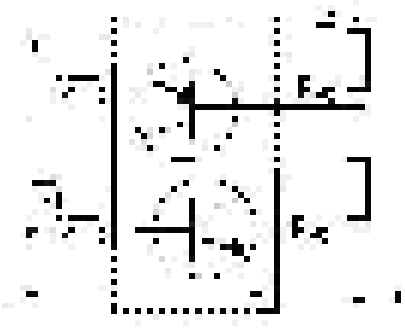


Рис. 4.4. Схема аналога двухбазового диода

Если $U_1 \ge U_{Rб1}$ транзисторы открываются, причём остаточное падение напряжения на открытых транзисторах будет значительно меньше, чем в схеме двухбазового диода.

Преимуществом аналога над оригиналом является малое остаточное напряжение на открытом выходе. Второе преимущество – изменением $R_{б1}$, $R_{б2}$ легко регулировать $U_{вкл}$. прибора.

4.3. Лавинный транзистор

Лавинными транзисторами называют транзисторы, в которых эффект ударной ионизации в *p–n*-переходе используется для повышения коэффициента передачи тока α. По структуре и основным свойствам лавинный транзистор не отличается от обычных плоскостных транзисторов, однако он работает в такой области характеристик, которая не свойственна усилительному режиму обычного транзистора.

Интегральный коэффициент передачи эмиттерного тока в лавинном транзисторе при наличии ударной ионизации выражается формулой:

$$\alpha_м = M \bullet \alpha \approx 1,$$

где M – коэффициент ударной ионизации.

Известно, что ударная ионизация происходит, когда напряженность электрического поля, вызванная обратным смещением, достаточно велика, и неосновные носители заряда, движущиеся через *p–n*-переход, ускоряются настолько, что при соударении с атомами в зоне *p–n*-перехода ионизируют их [18]. В результате появляются пары электрон – дырка, которые в свою очередь ускоряются и могут вызвать ионизацию других атомов и т.д. Лавинный пробой возникает в высокоомных полупроводниках. Коэффициент ударной ионизации можно приближенно оценить по следующему эмпирическому выражению:

$$M \approx 1 / [1 - (U/U_\beta)^n], \qquad (4.2)$$

где $n = 3$ для Si(p), Ge(n), $n = 5$ для Ge(p), Si(n);

$U_\beta = U_м \sqrt[n]{1 - \alpha}$ – характеристическое напряжение лавинного пробоя;

$U_м$ – напряжение пробоя в схеме ОБ.

Включение лавинного транзистора по схеме ОЭ показано на рис. 4.5, *а*. Коллекторные характеристики в схеме ОЭ в области до пробоя имеют вид, показанный на рис. 4.5, *б*, где $U_β$ – напряжение лавинного пробоя.

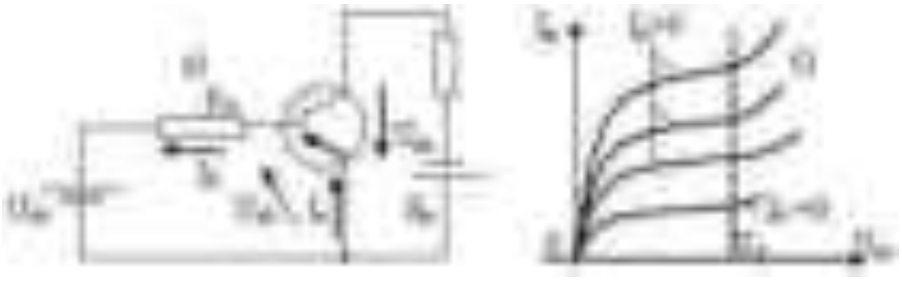


Рис. 4.5. Схема включения лавинного транзистора *(а)* и его коллекторные характеристики в предпробойной области *(б)*

Если обеспечить $I_б < 0$, то можно достичь такого положения, что при достижении $U_β$ ток будет еще мал, однако вследствие ударной ионизации его значение будет определяться соотношением $I_б = – I_к = –M\, I_{ко.}$ При дальнейшем увеличении $U_{кэ}$ увеличивается коэффициент M, $|\, U_{эб}|$ уменьшается $(U_{эб} = U_{бз} – M\, I_{ко}\, R_б)$, а при $U_{эб} = 0$ переход открывается и $I_б \approx U_{бз} / R_б$. Если в обычном выражении тока коллектора транзистора $I_к = (\alpha\, I_э + I_{ко}) /(1 – \alpha)$ учесть коэффициент M, то получим:

$$I_к = M(\alpha I_э + I_{ко})/(1 – M\alpha). \qquad (4.3)$$

Это выражение по сути является ВАХ лавинного транзистора, если учесть, что $M = f\,(U)$. Коэффициент передачи тока α нелинейно зависит от значения тока эмиттера (рис. 4.6).

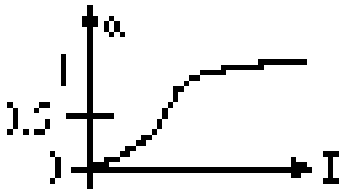


Рис. 4.6. Зависимость коэффициента α от тока эмиттера $\alpha = f(I_э)$

В лавинном транзисторе можно создать режимы, не достижимые для обычных транзисторов. В частности, можно получить выходные характеристики с участком отрицательного дифференциального сопротивления, что даёт возможность строить на лавинных транзисто-

рах управляемые импульсные устройства. Вид выходных характеристик показан на рис. 4.7.

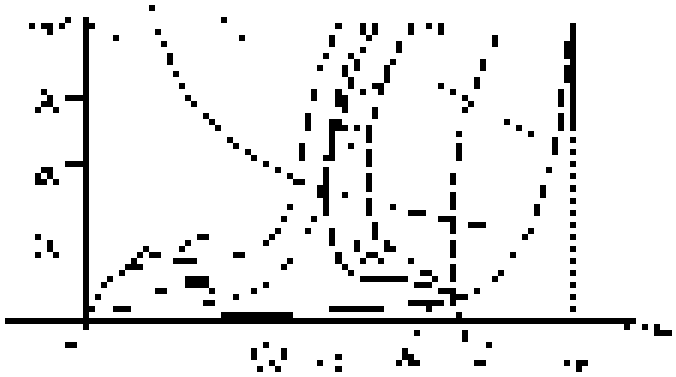


Рис. 4.7. Семейство ВАХ лавинного транзистора

На рис. 4.7 помимо выходных характеристик проведены дополнительные линии, ограничивающие область допустимых значений параметров транзистора: $U_м$ – предельное значение напряжения $U_{кэ}$; $P_{к\ макс}$ – максимальная допустимая мощность рассеяния коллектора. ВАХ, имеющая явно выраженный участок с отрицательным сопротивлением, содержит три участка: (1)-0АБ, (2)-БС, (3)-С3 (рис. 4.7), что даёт возможность выполнить анализ работы транзистора для каждого из участков раздельно.

На начальном участке (1) эмиттерный переход заперт и следовательно $\alpha \approx 0$, $U_{кэ}$ растет при слабом увеличении тока $I_к$. В точке А отпирается эмиттерный переход, $I_к = U_б / R_б > I_{ко} / \alpha$. Увеличение тока $I_к$ обеспечивается (сопровождается) теперь увеличением $\alpha \cdot I_э$ согласно выражению (4.3). Дифференциальное сопротивление перехода уменьшается, а в критической точке Б оно обращается в нуль и далее становится отрицательным. На участке (2) связь напряжения и тока можно выразить соотношением:

$$U_м \sqrt[n]{1 - (\alpha I_э + I_{ко}) / I_к}, \qquad (4.4)$$

где $I_э = I_к + I_{бз}$ при $I_{бз} < 0$, $\alpha = f(I_э)$.

На участке (2) увеличение $I_к$ сопровождается снижением $U_{кэ}$. В этом можно убедиться, если взять $dU_{кэ} / dI_к$. На участке БС сопротивление перехода эмиттер-коллектор транзистора имеет отрицательное значение (увеличение тока сопровождается уменьшением напряжения). В точке С сопротивление вновь обращается в нуль и затем

принимает положительное значение (участок 3). Изменяя величину тока базы $I_{б3}$ можем получить семейство характеристик, при этом точка Б смещается незначительно, а точка С может смещаться от U_{β} до $U_{м}$. Специфика лавинного транзистора состоит в том, что он может длительно работать в рассматриваемых режимах, причем ВАХ с отрицательным участком получается при сравнительно большом коллекторном напряжении $U_{кэ} \approx (20 – 30)$ В.

Лавинные транзисторы используются в формирователях мощных импульсов тока (до десятков А) с очень малым временем нарастания (коротких импульсов с частотой до 100 мГц) и в усилителях электрических колебаний дециметрового и сантиметрового диапазонов длин волн [25].

4.4. Динисторы и тиристоры

Динисторы и тиристоры – это полупроводниковые приборы, имеющие четырёхслойную структуру, состоящую из чередующихся областей *p* и *n*-полупроводника. Динистор имеет два вывода и три *p*–*n*-перехода.

Структура динистора представлена на рис. 4.8:

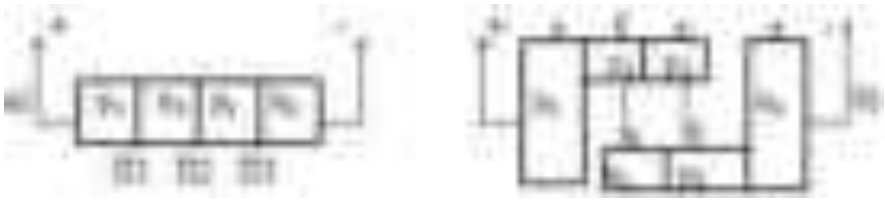


Рис. 4.8. Структура динистора *(а)* и её двухтранзисторное представление *(б)*

Если приложить к динистору внешнее напряжение («+» к области p_1, а «–» к области n_2), то переходы $П_1$, $П_3$ окажутся смещенными в прямом направлении, а переход $П_2$ – в обратном. Переход $П_2$ называют коллекторным. Следовательно, всё внешнее напряжение

будет приложено к коллекторному переходу, но ток в цепи не течет. Представленная выше двухтранзисторная структура динистора (рис. 4.8, *б*) позволяет создать схему его транзисторного аналога (рис. 4.9, а).

Рис. 4.9. Схема транзисторного аналога *(а)* и условные графические обозначения динисторов *(б), (в), (г)*

Транзисторный аналог динистора позволяет выяснить соотношения для токов. На схеме рис. 4.9, *а* видно, что $I = I_{э1} = I_{э2} = I_{к1} + I_{к2}$, с другой стороны $I = \alpha_1 I_{э1} + \alpha_2 I_{э2} + I_0 = I_0 /(1 - \alpha_1 - \alpha_2)$, где I_0 – обратный ток коллекторного перехода; α_1 , α_2 – коэффициенты передачи тока от перехода $П_1$ к $П_2$ и от $П_2$ к $П_3$.

Пока коллекторный переход смещён в обратном направлении, практически все приложенное напряжение падает на нем. Поэтому при больших напряжениях следует учитывать ударную ионизацию в этом переходе. Если для упрощения принять один и тот же коэффициент лавинного умножения M для обратного тока и коэффициентов передачи, то выражение для тока I примет следующий вид:

$$I = \frac{M I_0}{1 - M(\alpha_1 + \alpha_2)} . \qquad (4.5)$$

Это похоже на выражение (4.3) для тока лавинного транзистора. ВАХ динистора имеет *S*-образный вид (рис. 4.10). Переключение происходит при $M(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$, когда сопротивление структуры становится малым (дифференциальное сопротивление стремится к нулю).

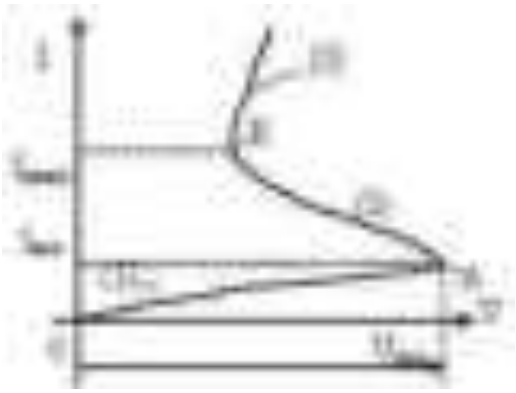


Рис. 4.10. Статическая ВАХ динистора

Принцип действия динистора можно пояснить следующим образом.

Так как переходы $П_1$ и $П_3$ смещены в прямом направлении, из них в области баз (n_1 и p_2) инжектируются носители заряда: дырки – из области p_1, электроны – из области n_2. Эти носители диффундируют в базах к коллекторному переходу и его полем перебрасываются через p–n-переход. (В обратных направлениях движутся и дырки и электроны, образуя ток I_0) При малых значениях приложенного напряжения все оно практически падает на коллекторном переходе $П_2$, к переходам $П_1$ и $П_3$ приложены малые значения падения напряжения, инжекция носителей невелика. Ток мал и равен обратному току перехода $П_2$ и вначале меняется незначительно. С дальнейшим возрастанием напряжения, по мере увеличения ширины перехода $П_2$, все больше проявляется ударная ионизация. Когда достигается значение напряжения лавинного пробоя, развивается лавинный процесс. Ток через переход $П_2$ увеличивается, но его сопротивление уменьшается значительно сильнее, и падение напряжения на нем тоже уменьшается. Это, в свою очередь, приводит к повышению напряжений, приложенных в прямом направлении к переходам $П_1$ и $П_3$, и увеличению инжекции через них, что вызывает дальнейший рост коллекторного тока. Сопротивление перехода $П_2$ становится малым, в цепи потечёт ток, величина которого будет ограничиваться только внешним сопротивлением (происходит переключение динистора из непроводящего состояния в проводящее). На ВАХ этому процессу соответствует участок АБ с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Переключение происходит практически мгновенно, поэтому участок АБ – это участок неустойчивой работы прибора. Ток в цепи динистора изменяется от значения $I_{вкл}$ до значения $I_{выкл}$ (рис. 4.10). После пе-

реключения ВАХ аналогична ветви характеристики диода, смещенного в прямом направлении.

Если от одной из баз динисторной структуры сделать отвод (управляющий электрод), то получим управляемый прибор, называемый *тиристором* (тринистором).

Рис. 4.11. Структурная схема и УГО тиристора с управлением по катоду

Если на переход $p_2 - n_2$ (рис. 4.11) подать внешнее смещение (напряжение U_y), то в цепи управления потечёт ток управления I_y, ток через переход $p_2–n_2$ увеличивается, вызывая снижение потенциального барьера коллекторного перехода $n_1–p_2$. Лавинный пробой перехода $n_1–p_2$ произойдёт при меньшем значении внутреннего напряжения, приложенного к этому переходу. В главной цепи тиристора под действием внешнего (анодного) напряжения потечёт ток I, величина которого будет определяться сопротивлением резистора R. С некоторыми допущениями ток в главной цепи можно определить по соотношению:

$$I = M\,(I_0 + \alpha_2\, I_y)/\,[1 - M(\alpha_1 + \alpha_2)], \qquad (4.6)$$

где $\alpha_2\, I_y$ – добавка тока управления.

Увеличение тока через переход $p_2–n_2$ увеличивает вероятность возникновения лавинного процесса. Поэтому, изменяя ток, можно менять напряжение, при котором происходит переключение тиристора, и тем самым управлять моментом его включения. Принцип действия тиристора хорошо иллюстрируется семейством его ВАХ, построенных при разных значениях тока управления (рис. 4.12). ВАХ, соответствующая значению $I_y = 0$, является по сути ВАХ динистора и определяет предельное значение напряжения между анодом и катодом, которое может без пробоя выдержать тиристор. При отсутствии или недостаточной величине сопротивления резистора R (рис. 4.11) в случае достижения внешним напряжением предельного значения тиристор будет повреждён чрезмерно большим током.

Для рассмотрения работы тиристора в электрической цепи, содержащей источник питания с напряжением U и нагрузочный резистор R, совместим семейство ВАХ тиристора и резистора (рис. 4.12).

Линию нагрузки проводим по точкам U_1 / R, U_1. Исходная рабочая (характеристическая, изображающая) точка «a» находится на пересечении линии нагрузки с ВАХ тиристора при $I_y = 0$.

Для включения тиристора в его цепь управления подаётся ток управления $I_{y1} > 0$. Исходная рабочая точка «a» переместится в положение (a_1), которому соответствует ВАХ при токе управления I_{y1} и напряжении переключения U_n.

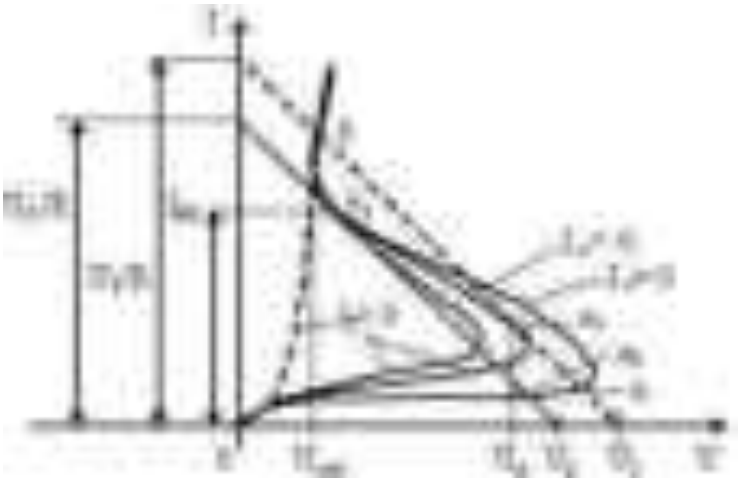


Рис. 4.12. Семейство ВАХ тиристора и резистора при изменении тока управления

Тиристор открывается, что соответствует переходу изображающей точки из положения (a_1) в положение ($б$). Напряжение на тиристоре становится малым и равным $U_{ост}$, а максимальное значение тока I ограничено сопротивлением резистора R. Чтобы выключить тиристор, нужно либо уменьшить ток в его главной цепи до значения тока удержания ($I < I_{уд}$) путем понижения напряжения U до U_2 после отключения цепи управления, либо создания в цепи УЭ управляющего тока противоположной полярности. Этот процесс на рис. 4.12 характеризует линия нагрузки, проведённая параллельно первой через точку $I_{уд,}$, и отсекающая от оси токов участок U_2/ R. При этом рабочая точка из положения ($б_1$) перейдет в положение (a_2), а при восстановлении напряжения – в положение (a).

В настоящее время тиристоры используются преимущественно

в силовой электронике, как мощные управляемые коммутаторы сило-

вых электрических цепей. Применяются тиристоры не только с односторонней проводимостью с управлением по катоду либо по аноду, но и симметричные (симисторы), проводящие ток в обоих направлениях [13]. УГО некоторых видов тиристоров показаны на рис. 4.13.

Рис. 4.13. Условные графические изображения тиристоров: управляемый по аноду (*а*), по катоду (*б*), симметричный (*в*), запираемый (*г*)

К основным параметрам тиристора относятся допустимые значения токов и напряжений, скорости их изменения, время включения – выключения.

5. КОМПОНЕНТЫ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Оптоэлектроника – раздел электроники, изучающий использование эффекта взаимодействия электромагнитных волн оптического диапазона ($3\cdot10^{11}$ – $3\cdot 10^{17}$) Гц, (1 мм – $1\cdot 10^{-3}$ мкм) с электронами в веществах и методы создания оптоэлектронных приборов (ОЭП) и устройств, использующих это взаимодействие для генерации, передачи, хранения, обработки и отображения информации [9]. Длина волны излучения определяется соотношением:

$$\lambda[\text{м}] = \frac{C}{f} = \frac{300\cdot 10^{6}[\text{м/с}]}{f\,[1/\text{с}]}. \qquad (5.1)$$

Время возникновения идей оптоэлектроники (ОЭЛ) – 50-е годы XX века. Как самостоятельный раздел науки и техники ОЭЛ начала

формироваться в 60-е годы (появление лазеров и излучающих диодов). С 1970-х годов возникла интегральная оптика.

Большинство современных ОЭП и устройств работает в диапазоне волн (0,5 – 1,5) мкм, ($6 \cdot 10^{14}$ – $2 \cdot 10^{14}$) Гц. Работа этих устройств основана на использовании различных видов люминесценции (холодное свечение, продолжающееся после исчезновения облучения), электро-магнито-акусто-оптических эффектов, фотоэлектрических явлений.

Достоинства и преимущества ОЭЛ по сравнению с традиционной полупроводниковой электроникой обусловлены:

– электрической нейтральностью квантов оптического излучения – фотонов;

– высокой частотой световых колебаний;

– малой расходимостью светового луча (до 1″) и возможностью его фокусировки [9].

Электрическая нейтральность фотонов обеспечивает невосприимчивость оптических каналов связи к воздействиям электромагнитных полей, т.е. обеспечивает высокую помехозащищенность; полную гальваническую развязку входных и выходных цепей; двойную (пространственную и временную) модуляцию потока оптического излучения.

Высокая частота световых колебаний обеспечивает высокую информационную емкость оптических каналов связи.

Малая расходимость светового луча позволяет передать энергию оптического излучения с минимальными потерями.

Основными оптоэлектронными элементами являются:

а) источники когерентного (связанного, при сложении усиливающегося) излучения (полупроводниковые лазеры) и некогерентного излучения [излучающие диоды (ИК, УФ, светодиоды)];

б) оптические среды (активные, пассивные);

в) приемники оптического излучения (фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры);

г) оптические элементы (линзы, призмы, зеркала, поляризаторы):

– волоконно-оптические элементы [жгуты, фоконы (фокус, конус)],

– селфоки (self focusing);

– интегрально-оптические элементы (оптические зеркала, фильтры).

Широкое применение находят в электронно-вычислительных средствах излучающие диоды, оптоэлектронные пары, оптоэлектронные переключатели, оптроны, различные классы индикаторов.

5.1. Излучающие диоды

Излучающий диод – это диод, содержащий полупроводниковый *p–n*-переход, в котором при прохождении электрического тока генерируется оптическое излучение в инфракрасной (ИК), видимой или ультрафиолетовой (УФ) области спектра. Распространены инфракрасные и излучающие в видимой части спектра диоды (светодиоды). Прохождение тока через *p–n*-переход в прямом направлении в светодиодах сопровождается рекомбинацией инжектированных носителей заряда. В определенных материалах (GaAs, GaSb, InAs, InSb и т.д.) процесс рекомбинации сопровождается выделением кванта света – фотона, при этом возникает некогерентное свечение люминисценции. Цвет свечения зависит от материала примеси полупроводника: примесь ZnO – красный цвет, азот N – зеленый, (ZnO + N) – желтый, оранжевый. Основные характеристики светодиода (ВАХ и характеристика яркости) показаны на рис. 5.1.

Рис. 5.1. ВАХ и характеристика яркости светодиода

Характеристика яркости имеет нелинейный начальный участок, на котором яркость мала, и линейный участок, в пределах которого яркость изменяется в десятки раз (рис. 5.1). Именно этот участок чаще всего используется. На этом участке яркость свечения:

$$B = B_0 (I_d – I_{пор}), \qquad (5.2)$$

где B_0 – чувствительность по яркости;

I_d – ток светодиода;

$I_{пор}$ – пороговый ток – ток, при котором возможна линеаризация характеристики, $I_{пор} \approx (0{,}1 – 2{,}5)$ мА.

Аналитическое выражение ВАХ:

$$I_d = I_m [(\exp (U/M\varphi_m) – 1], \qquad (5.3)$$

где I_m – тепловой ток;

φ_m – тепловой потенциал, M=(0,5 – 2).

В эквивалентной схеме (рис. 5.2, *в*) обозначено: R – омическое сопротивление кристалла полупроводника и контактов; $R_д$ – сопротивление p–n-перехода, зависящее от тока; $C_д$ – емкость p–n-перехода, зависящая от тока.

Рис. 5.2. Конструкция *(а),* УГО *(б)*
и эквивалентная схема *(в)* светодиода

Материалы для светодиодов – арсенид галлия GaAs, фосфид галлия GaP и другие.

Основные параметры светодиодов:

1. Сила света – световой поток, приходящийся на единицу телесного угла в заданном направлении. Единица измерения – Вт/ср (ватт/стерадиан) или мКд (миликанделла), яркость измеряется в Кд/м^2. Для светодиодов сила света составляет (0,1 – 10) мКд.

2. Цвет свечения (длина волны излучения).

3. Постоянное прямое напряжение – падение напряжения при заданном токе, равное (2 – 4) В.

4. Угол излучения – плоский угол, в пределах которого сила света составляет не менее половины ее максимального значения.

5. Характеристики яркости, ВАХ, КПД преобразования.

5.2. Фоторезисторы

В фоторезисторах используется явление изменения сопротивления вещества под действием излучения. Под действием света в фоторезисторе возрастает концентрация подвижных носителей заряда за счет того, что кванты электромагнитного излучения возбуждают

электроны и переводят их из валентной зоны в зону проводимости. Фотопроводимость $\zeta_ф$ характеризуется изменением электропроводности кристалла по сравнению с его затемненным состоянием:

$$\zeta_ф = q(\Delta n \mu_n + \Delta p \mu_p), \qquad (5.4)$$

где Δn, Δp – приращения концентраций зарядов в результате облучения;

μ_n, μ_p – подвижности отрицательных и положительных зарядов.

Конструктивно фоторезистор (ФР) представляет собой пленку полупроводника, сформированную на основании и имеющую отводы, укрепленные в корпусе (рис. 5.3).

Рис. 5.3. Конструктивное представление и УГО фоторезистора

Свет может облучать поверхность либо параллельно, либо перпендикулярно токоотводящим поверхностям. Основные характеристики фоторезисторов показаны на рис. 5.4.

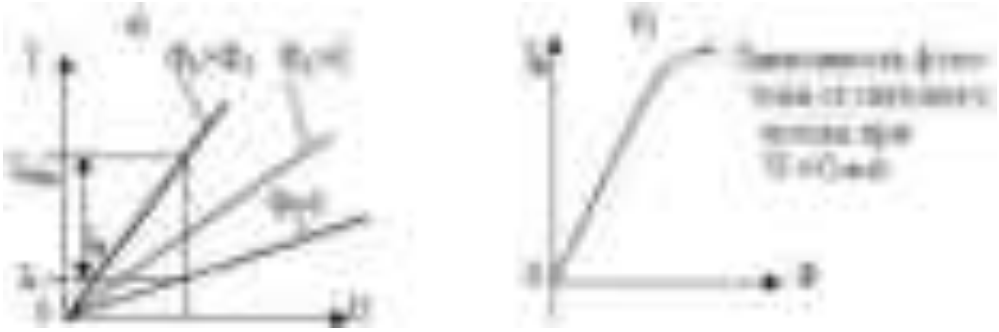


Рис. 5.4. ВАХ *(а)* и энергетическая характеристика *(б)* фоторезистора

Фоторезистор – пассивный элемент, ток в нём возникает только при подаче на него напряжения питания U, но величина тока зависит и от величины светового потока $Ф$, падающего на его поверхность. Ток фоторезистора $I_{общ}$ имеет две составляющих: $I_ф$ – фототок, обусловленный наличием светового потока; $I_т$ – темновой ток (при $Ф = 0$), $I_{общ.} = I_т + I_ф$.

Энергетическая характеристика в области малых потоков линейна, затем рост тока замедляется из-за увеличения рекомбинаций носителей заряда.

Основные параметры фоторезистора:

1. Чувствительность – это отношение выходной величины к входной. Обычно используют для ФР токовую чувствительность – отношение приращения фототока к вызвавшему его приращению величины, характеризующей излучение:

а) токовая чувствительность к световому потоку:

$S_{ф\ диф} = \Delta I_ф / \Delta Ф$;

б) токовая чувствительность к освещенности E:

$S_{E\ диф} = \Delta I_ф / \Delta E$.

Освещенность E измеряется в Люксах (Кд·ср/м^2). Чаще всего используют величину удельной интегральной чувствительности, которая характеризует интегральную чувствительность, когда к фоторезистору приложено напряжение 1 В.

$$S_{инт.} = I_ф / Ф \ . \qquad (5.5)$$

Чувствительность ФР зависит от материала, из которого они изготовлены, что отражают спектральные характеристики [абсолютная (АСХ) и относительная (ОСХ)]. АСХ – это зависимость чувствительности от частоты (длины волны) падающего излучения. ОСХ – это зависимость относительной чувствительности от частоты (длины волны):

$$S(\lambda) = S_{абс}(\lambda) / S_{абс.мах}(\lambda),$$

где $S(\lambda)$, $S_{абс}(\lambda)$, $S_{абс.мах}(\lambda)$ – соответственно относительная, абсолютная, максимальная абсолютная чувствительности.

Характеристики $S(\lambda)$ имеют чётко выраженный максимум, соответствующий определённой длине волны облучения для каждого материала (рис. 5.5).

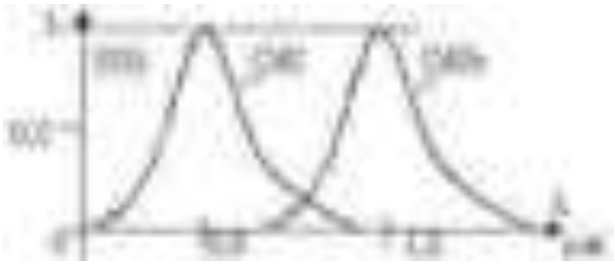


Рис. 5.5. Вид спектральных характеристик фоторезистора

2. Граничная частота $f_{гр}$ – это частота синусоидального сигнала, модулирующего световой поток, при котором чувствительность фоторезистора уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с чувствительностью немодулированного потока: $f_{гр} = (10^3 – 10^5)$ Гц.

3. Температурный коэффициент фототока:

$\alpha_m = \partial I_ф / \partial T \cdot 1/ I_ф$, при $Ф = \text{Const}$, $\alpha_m = (–10^{-3} – 10^{-4})$ 1/град.

4. Рабочее напряжение (5 – 100) В.

5. Допустимая мощность рассеяния (0,01 – 0,1) Вт.

5.3. Фотодиоды

Фотодиод (ФД) – полупроводниковый диод, обладающий свойством односторонней проводимости, возникающей при воздействии на него оптического излучения. ФД используется для преобразования оптического сигнала в электрический. Наиболее распространены *p–i –n*-диоды, в которых толщина высокоомной *i*-области выбирается так, чтобы обеспечить наилучшие свойства (чувствительность и быстродействие) прибора. *p–i–n*-структура образуется, если области *p* и *n* разделены высокоомным слоем (рис. 5.6) с собственной (*i*) проводимостью для снижения напряженности поля в переходе.

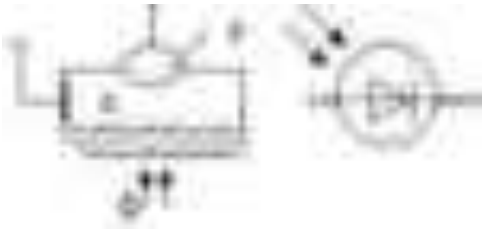


Рис. 5.6. Структура и УГО фотодиода

Действие фотодиода основано на поглощении света вблизи области *p–n*-перехода, в результате чего генерируются новые носители заряда (электронно-дырочные пары).

Различают два режима работы ФД:

а) фотодиодный, когда имеется источник питания, создающий обратное смещение;

б) вентильный (фотогенераторный), когда такой источник отсутствует.

В фотодиодном режиме возникающие в результате фотогенерации носители зарядов приводят к возрастанию обратного тока, который зависит от интенсивности падающего излучения и практически не зависит от величины обратного напряжения (рис. 5.7).

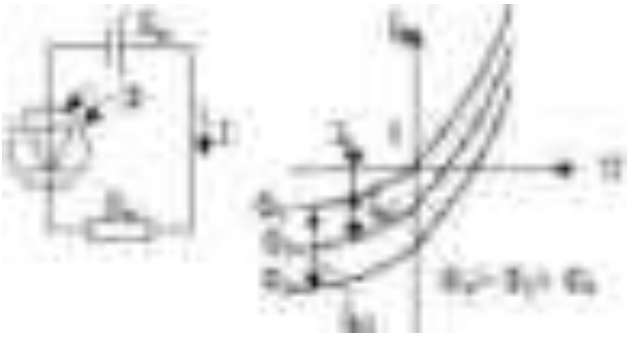


Рис. 5.7. Схема включения и ВАХ ФД в фотодиодном режиме

В вентильном (фотогенераторном) режиме ФД используется как

фотогенератор (источник фотоэдс, фотоэлемент).

Фотоэдс $E_ф$ зависит от светового потока и свойств полупроводника:

$$E_ф \approx \varphi_т \ln (I_ф / I_0) = \varphi_т \ln (S_{инт}\, Ф / I_0)\,, \qquad (5.6)$$

где $\varphi_т$ – тепловой потенциал;

$I_ф$ – фототок:

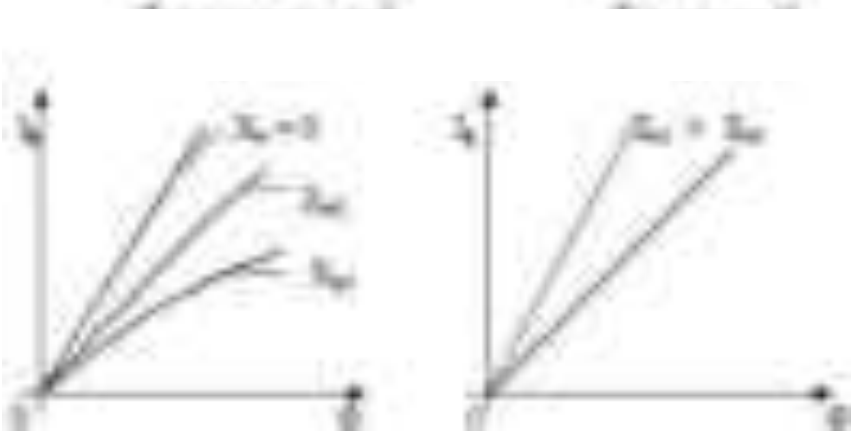
$I_ф = S_{инт}\, Ф;$

$S_{инт}$ – интегральная токовая чувствительность;

I_0 – тепловой ток *p–n*-перехода.

Основные характеристики и параметры фотодиода:

1. Энергетические характеристики $I_ф = f(Ф)$ – зависимости фототока от светового потока (рис. 5.8, *а*). При работе в генераторном режиме $I_ф = f(Ф)$ линейна, если $R_н = 0$ (коротко замкнутый ФД) (рис. 5.8, *б*). С ростом $R_н$ характеристики искривляются.



а) *б)*

Рис. 5.8. Энергетические характеристики фотодиода:
а – фотогенераторный режим, *б* – фотодиодный режим

2. Спектральные характеристики фотодиода аналогичны характеристикам фоторезистора.

3. Граничная частота – частота, при которой интегральная чувствительность уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению со статическим значением $f_{гр} \approx 10^7$ Гц = 10 МГц. У фоторезисторов $f_{гр} \approx (1 – 100)$ кГц.

Сейчас разработаны ФД на основе *p–i–n*-структур, барьеров Шоттки, лавинные ФД, предназначенные в основном для повышения быстродействия и увеличения чувствительности.

5.4. Фототранзисторы

Фототранзистор (ФТ) – транзистор (обычно биполярный), в котором управление коллекторным током осуществляется на основе внутреннего фотоэффекта. ФТ служит для преобразования световых сигналов в электрические с одновременным усилением последних. Включение ФТ во внешнюю электрическую цепь подобно включению транзистора по схеме с общим эмиттером, обычно с нулевым током базы (вывод базы отключен от внешней цепи). Такой режим

характерен только для ФТ и носит название «режим с плавающей базой».

Фототранзистор сделан так, что излучение попадает на область базы. В результате поглощения энергии в базе генерируются электронно-дырочные пары, участвующие в создании фототока. При отсутствии облучения ($Ф = 0$) между коллектором и эмиттером течет темновой ток, т.е. обратный ток p–n-перехода. Схемы включения ФТ показаны на рис. 5.9.

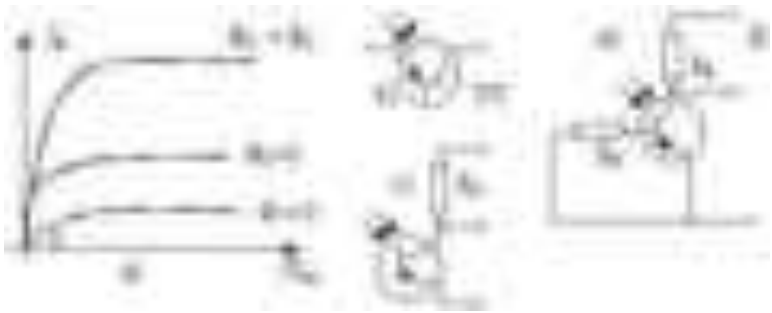


Рис. 5.9. Выходные характеристики *(а),* УГО *(б)* и схемы включения фототранзистора при наличии *(в)* и отсутствии *(г)* базового вывода

Основные характеристики и параметры фототранзистора:

1. ВАХ фототранзистора подобны ВАХ транзистора в схеме с ОЭ, но параметром служит не ток базы, а поток $Ф$ (рис. 5.9, *а*).
2. Энергетические $I_ф = f(Ф)$ и спектральные $S(\lambda)$ характеристики подобны характеристикам ФД.
3. Коэффициент усиления по фототоку:

$$K_{уф} = (1 + h_{21э}).$$

4. Ширина полосы пропускания – $(10^4 – 10^5)$ Гц.
5. Значение темнового тока (при $Ф = 0$).
6. Токовая чувствительность $S_{инт} = I_ф / Ф$.

В качестве высокочувствительных фотоприемников используются также полевые фототранзисторы, имеющие более широкую полосу пропускания $(10^6 – 10^8)$ Гц. Используются также фототиристоры.

5.5. Оптроны

Оптроны – это полупроводниковые приборы, состоящие из излучателя света и фотоприемника, взаимодействующих друг с другом и помещенных в общем корпусе. Оптроны используют для оптиче-

ской связи отдельных частей радиоэлектронных устройств. С помощью оптронов обеспечивается электрическая развязка между частями устройства (гальваническое разделение цепей).

В оптронах между источником излучения и фотоприемником имеется среда, выполняющая функции световода. Эта среда должна иметь большой коэффициент преломления для согласования с большим коэффициентом преломления материалов, служащих источниками света. Среды с большим коэффициентом преломления называются иммерсионными: это свинцовые и селеновые стёкла с коэффициентами преломления соответственно (1,7– 1,9) и (2,4 – 2,6).

Оптроны широко применяются в самых различных устройствах автоматики и электронной техники. Конструкции и параметры оптронов постоянно совершенствуются с целью уменьшения потребления энергии источниками излучения и расширения функциональных возможностей фотоприёмной части.

Структуры диодных оптронов с разными световодами приведены на рис. 5.10. Примеры обозначений оптронов показаны на рис. 5.11.

Рис. 5.10. Структура диодных оптронов со световодом из стекла (*а*) и вакуумным (воздушным) световодом (*б*):
1 – омические контакты; 2 – источник света;
3 – световод из селенового стекла; 4 – фотоприемник

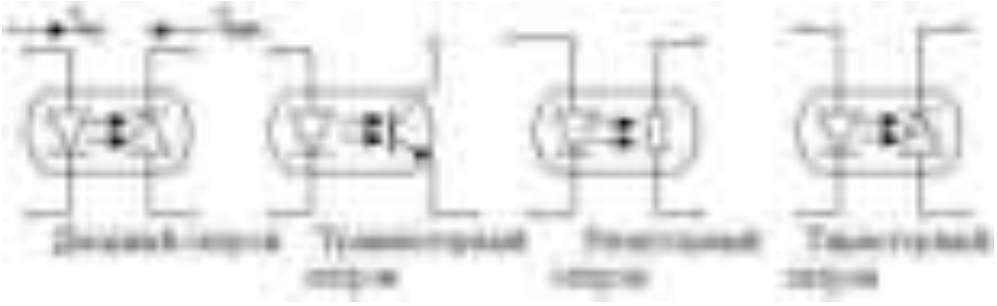


Рис. 5.11. Условные изображения оптронов разных типов

Сопротивление между входной и выходной цепями оптронов составляет (10^{13} – 10^{15}) Ом. Диодные, транзисторные и тиристорные оптроны используют в основном в ключевых режимах. Резисторный оптрон чаще всего применяют в усилительных устройствах. Сейчас разработаны оптроны, в которых совмещаются функции простейших оптронов и электронных преобразователей (усилителей), выполняемых на одной подложке [13]. Условное графическое изображение такого оптрона показано на рис. 5.12.

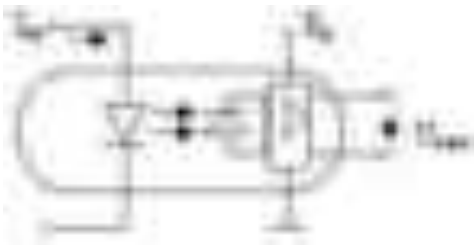


Рис. 5.12. Пример УГО оптрона с усилительным элементом на выходе

Промышленностью серийно выпускаются оптоэлектронные коммутаторы сигналов, состоящие из арсенид-галлиевого излучателя, кремниевого фотодиода и интегрального усилителя, обеспечивающего выходные уровни напряжения, достаточные для управления логическими элементами ТТЛ-серий (серии К249ЛП1, К262КП1 и др.). Входной ток оптоэлектронных коммутаторов не превышает 20 mA, ёмкость между входом и выходом – не более 5 пФ [13].

6. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНДИКАТОРОВ И ЛАЗЕРОВ

Там, где информацию требуется представить в форме, удобной для визуального восприятия часто применяются устройства, называемые *индикаторами*. Основные компоненты этих устройств – это приборы, обеспечивающие преобразование электрических сигналов в пространственное распределение яркости излучения или в распределение степени пропускания или поглощения светового излучения [4]. Из электрических сигналов в этих приборах получают ви-

димое изображение букв, цифр, геометрических фигур, знаков, полос, мнемосхем и пр.

Устройства отображения информации создаются на основе таких активных излучательных компонентов как:

– электронно-лучевые трубки;

– газонаполненные источники излучения;

– электролюминесцентные и накаливаемые приборы.

Широко распространены пассивные излучательные компоненты: жидкокристаллические, электрохромные, электрофоретические.

Цвет пассивных электрохромных компонентов зависит от интенсивности поля. В элекрофоретических приборах под действием электрического поля перемещаются заряженные пигментные частицы.

Наиболее часто применяют знакосинтезирующие индикаторы (ЗСИ) и электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), дисплеи. Дисплей – это устройство отображения информации, обеспечивающее связь человека с машиной.

По виду отображаемой информации ЗСИ делятся на:

– единичные (точка, запятая, круг, квадрат);

– цифровые;

– буквенно-цифровые (и специальные математические символы);

– шкальные (информация в виде уровней или значений величин);

– мнемонические (для изображений фрагментов мнемосхем);

– графические (графики, символы, спецзнаки).

По виду элементов и способу формирования информационного поля:

– сегментные;

– матричные.

По виду питающего напряжения:

– постоянного тока;

– переменного тока;

– пульсирующего тока.

По значению питающего напряжения:

– низковольтные (менее 5 В);

– средневольтные (менее 30 В);

– высоковольтные (более 30 В).

6.1. Вакуумные люминесцентные индикаторы

Вакуумные люминесцентные индикаторы (ВЛИ) относятся к активным источникам излучения, преобразующим электрическую энергию в световую. Используются в микрокалькуляторах и ЭВМ, кассовых аппаратах, электронных часах и приборах. ВЛИ представляет собой электронную диодную или триодную систему, в которой под воздействием электронной бомбардировки высвечиваются покрытые низковольтным катодолюминофором сегменты – аноды (рис. 6.1).

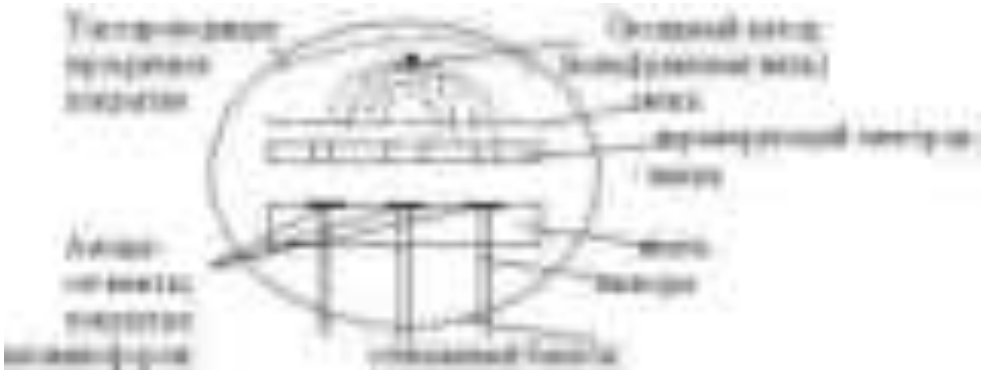


Рис. 6.1. Конструктивная схема электровакуумного люминесцентного накаливаемого индикатора (поперечный разрез)

Низковольтная вакуумная *катодная люминесценция* носит рекомбинационный характер: люминофор бомбардируется электронами, что приводит к нарушению его термодинамического равновесия. Появляются активные электроны и дырки, которые рекомбинируют между собой, излучая фотоны. Низковольтная катодолюминесценция

возникает при небольших ускоряющих напряжениях, приложенных между анодом и катодом (единицы – десятки Вольт).

ВЛИ выпускаются одноразрядные и многоразрядные, в цилиндрических и плоских баллонах, с различными размерами знаков разных типов:

– типа ИВ, ИВЛ (люминесцентные), например, ИВ27 имеет 24 вывода, яркость 500 кд/м^2 (для сравнения цветной кинескоп – 300 кд/м^2);

– шкальные – ИВЛШ;

– со встроенным управлением – ИВЛШУ;

– матричные – ИВЛМ;

– одноцветные и многоцветные индикаторы типа ИЛТ (бытовые).

Формирование изображения на информационном поле ВЛИ осуществляется статическим или мультиплексным (динамическим) способами. Статический способ – возбуждающие сигналы подаются на аноды – сегменты и изображение знака формируется одновременно. При динамическом способе возбуждающие сигналы подаются в определенной последовательности с заданной частотой, создавая эффект непрерывного свечения. Частота должна быть не ниже 50 Гц во избежание мелькания изображения.

6.2. Электролюминесцентные индикаторы

Электролюминесцентные индикаторы (ЭЛИ) предназначены для отображения различной информации в системах управления и контроля. В них также используется явление люминесценции, заключающееся в том, что некоторые вещества способны излучать свет под действием электрического поля. ЭЛИ в простейшем случае представляет собой плоский конденсатор с диэлектриком – слоем органической смолы с люминесцентным порошком на основе сульфида или селенида цинка (ZnS, ZnSe). Добавление активаторов обеспечивает цвет свечения: зеленый, голубой, желтый, красный, белый). Упрощенная структура ЭЛИ показана на рис. 6.2.

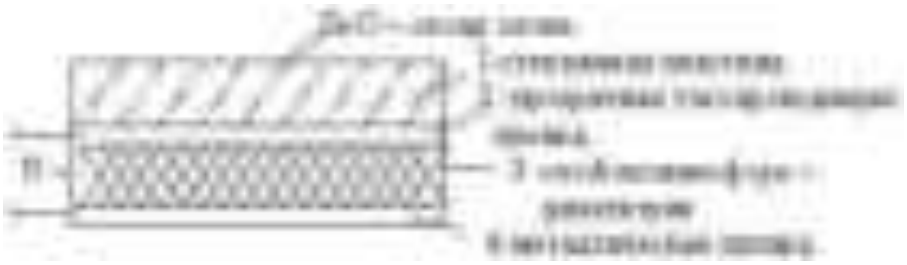


Рис. 6.2. Структура электролюминесцентного индикатора:
1 – стеклянная пластина; 2 – прозрачная токопроводящая пленка;
3 – слой люминофорадиэлектрик; 4 – металлическая пленка

Принцип действия индикатора: переменное напряжение прикладывается к токопроводящим пластинам, под действием созданного электрического поля в слое люминофора возникает свечение. Электрод 4 (металлический) имеет форму букв или цифр, или сегментов для получения синтезируемых знаков или геометрических фигур. Электрод 2 (оксид олова) – сплошной и прозрачный. Наиболее распространены буквенно-цифровые сегментные индикаторы (для изображения цифр используются 7 – 9 сегментов, 19 сегментов используются для изображения любых букв русского и латинского алфавита).

ЭЛИ делают обычно с пластмассовым корпусом, питание осуществляется переменным напряжением частотой (400 – 1200) Гц. Линейные размеры могут быть от единиц до десятков миллиметров. Потребление – от долей мА до десятков мА. Срок службы – несколько тысяч часов. Яркость изображения – хорошая. Недостатком является сложная система управления.

6.3. Жидкокристаллические индикаторы

Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) – это пассивные приборы, в основу работы которых положено свойство некоторых веществ изменять свои оптические показатели (коэффициенты отражения, преломления, поглощения) под влиянием внешнего электрического поля. При этом вследствие модуляции падающего света изменяется цвет участков, к которым приложено электрическое поле, и на поверхности вещества появляется рисунок определенной конфигурации. Жидкокристаллическим (мезаморфным) называется термодина-

мически устойчивое состояние, при котором вещество сохраняет анизотропию (неодинаковость) физических свойств, присущую твердым кристаллам, и текучесть, характерную для жидкостей (производные бензола, стероидов и других соединений). Характерной особенностью жидких кристаллов (ЖК) является то, что молекулы имеют сравнительно большую длину и относительно малую ширину. ЖК-диэлектрики, имеющие удельное сопротивление $R_{уд.} = 10^6 – 10^{10}$ ОМ·см. Плотность ЖК близка к плотности воды. Конструктивная схема элемента ЖКИ показана на рис. 6.3.

В ЖК используются три основных электрооптических эффекта:

– эффект, связанный с движением молекул вещества – динамическое рассеяние (ДР);

– эффект, связанный с поворотом молекул: твист – эффект (ТЭ);

– эффект «гость – хозяин» (Г – Х).

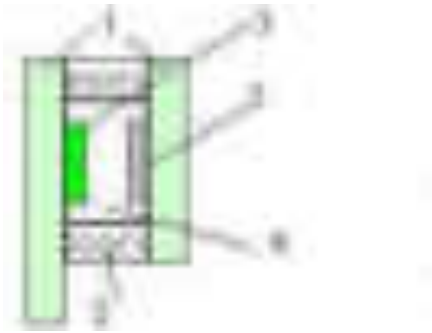


Рис. 6.3. Конструктивная схема элемента ЖКИ:

1 – стеклянные пластины; 2 – склеивающее соединение;

3 – передний прозрачный электрод (например, двуокись олова);

4 – ЖК; 5 – задний отражающий или прозрачный электрод

ЖКИ могут быть двух классов – работающие на просвет и работающие на отражение. Отражающие не требуют специальной подсветки. Работающие на просвет предполагают наличие дополнительного освещения.

В зависимости от вида используемого электрооптического эффекта технология изготовления ЖКИ различна. Например, в ЖКИ, работающих на эффекте ДР с отражением, на поверхности проводящих слоев наносится тонкое химически инертное прозрачное покрытие.

В ЖКИ, использующих отражение и твист-эффект (ТЭ), помимо стеклянных пластин имеются поляризаторы, внутренние поверхности пластин полируются.

В индикаторах Г – Х один слой (хозяин) взаимодействует с молекулами другого слоя (гостя). Слой ЖК-хозяина за счет поглощения световой энергии при отсутствии электрического поля приобретает окраску гостя, а под действием электрического поля – обесцвечивается. Эти цветовые различия хорошо воспринимаются в условиях высокой освещенности. ЖКИ, работающие в условиях низкой освещенности (менее 35 Кд/м^2), работают с подсветкой. Для подсветки используют миниатюрные лампы накаливания.

Достоинством ЖКИ является малое потребление на:

– эффекте ДР – (5 – 10) мкВт/см^2;

– эффекте ТЭ – не более 20 мкВт/см^2.

ЖКИ хорошо совместимы с КМОП микросхемами. Рабочие напряжения ЖКИ ДР не более 20 В, а на ТЭ – 5 В. Срок службы ЖКИ при эксплуатации достигает 40 тысяч часов (на переменном токе). Недостатком является низкое быстродействие (особенно при пониженных температурах) и зависимость параметров от температуры окружающей среды.

Управление ЖКИ обычно осуществляется сигналами переменного тока, так как долговечность ЖКИ, работающих на постоянном токе, оказывается на порядок ниже. Часто используют так называемый фазовый метод управления, при котором на общий электрод на задней поверхности и электроды на передней поверхности подаются прямоугольные импульсы, сдвинутые на 180^0 при возбуждении, и без сдвига – при отсутствии возбуждения.

6.4. Полупроводниковые знакосинтезирующие индикаторы

Полупроводниковые знакосинтезирующие индикаторы (ППЗСИ) – это низковольтные приборы, основу которых составляет полупроводниковый диод, в *p–n*-переходе которого в результате рекомбинации электронов и дырок при их инжекции генерируется световое излучение. ППЗСИ удобно совмещаются с уровнями токов микро-

схем. Приборы имеют достаточно хороший уровень яркости, однако обладают относительно высокими уровнями рабочих токов.

Основные материалы для изготовления ППЗСИ – твердые растворы GaAs (арсенид галия) и GaP (фосфид галия). Примером единичных ППЗСИ являются светодиоды АЛ 102, АЛ 307, структуры которых показаны на рис. 6.4.

Рис. 6.4. Структурные схемы единичных ППЗСИ

Многоэлементные ППЗСИ. Выпускается несколько сотен типов ППЗСИ. Они различаются числом элементов, размерами, конфигурацией, цветом свечения, конструкцией. По числу элементов и их взаимному расположению в пределах поля одного разряда различают четыре типа знаковых индикаторов:

1) семисегментный – может быть цифровой, буквенно-цифровой;

2) девятисегментный – для изображения цифр и набора букв русского и латинского алфавита;

3) тридцапяти сегментный матричный – универсальный, позволяет изменять начертания отдельных символов;

4) пятисегментный – дополнение к девятисегментному, предназначен для изображения символов полярности и переполнения в цифровых устройствах. Пример цифрового индикатора, в котором каждый элемент – светодиод, показан на рис. 6.5.

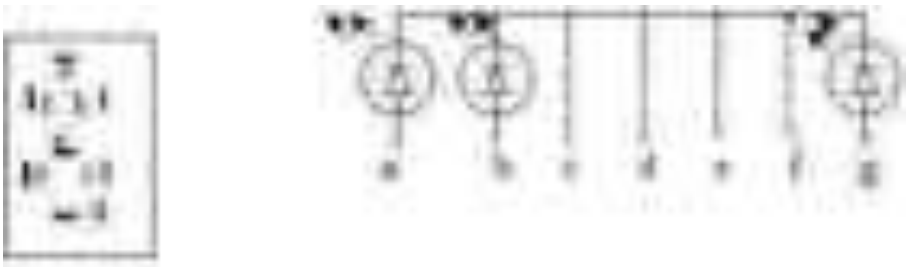


Рис. 6.5. Вид и схема одноразрядного
семисегментного индикатора

6.5. Дисплеи

Дисплей – это оконечное устройство информационных систем, служащее для визуального отображения информации и связи человека с вычислительным устройством (может быть в наручных часах, калькуляторах и т.п.).

Все дисплеи можно разделить на два класса: излучающие свет и модулирующие свет. Светоизлучающий дисплей должен давать свечение достаточной яркости, особенно, если используется при дневном освещении. Важен цвет свечения: человеческий глаз наиболее чувствителен к желтому и желто-зеленому цвету. Изображение должно быть контрастным. Контраст – это отношение максимальной яркости к минимальной. Учитывая, что человеческий глаз не различает изменения, происходящие быстрее, чем за 0,1 с, от дисплеев не требуется большое быстродействие. Разрешающая способность дисплея оценивается минимальным размером наблюдаемого элемента. Это может быть квадрат со стороной не менее 50 мкм. У многих дисплеев этот элемент больше и зависит от яркости и расстояния до наблюдателя.

Многие дисплеи обладают памятью, т.е. способностью сохранять изображение после снятия питания или с малым потреблением. Основные типы светоизлучающих дисплеев:

а) электронно-лучевые устройства, (электронно-лучевые трубки);

б) дисплеи на (СИД) светоизлучающих диодах – обычно имеют размер несколько сантиметров и низкое напряжение питания (5 В);

в) дисплеи на газоразрядных элементах (плазменные), имеют две взаимно-перпендикулярные системы электродов в виде проводящих полос. Между электродами расположены ячейки с инертным газом (неон, ксенон или смесь). На этом принципе делаются газоразрядные индикаторные панели (ГИП), которые могут иметь, например, 512 горизонтальных и 512 вертикальных полос. Разрешающая способность (2 – 3) линии на 1 мм. Неон дает оранжевое свечение. Используя люминофор на электродах можно получить другой цвет. Питание ГИП возможно постоянным или переменным током;

г) электролюминесцентные дисплеи – составлены из ЭЛИ.

Основные типы светомодулирующих дисплеев:

– жидкокристаллический (ЖКД) имеет малую мощность, низкую стоимость. Может быть малого (в часах) и большого (в ноутбуках) размера;

– электрохромные (ЭХД) – основаны на использовании электрохромного эффекта, состоящего в том, что некоторые вещества под действием электрического поля или при прохождении тока меняют свой цвет. Таким веществом является, например, WO_3 – триоксид вольфрама. Его пленка под напряжением приобретает синий цвет. Требуемое напряжение (0,5 – 1,5) В. При перемене полярности напряжения пленка приобретает исходный цвет. Недостаток – невысокое быстродействие, небольшой срок службы;

– электрофорезные дисплеи (ЭФД) – используют явление электрофореза: под действием электрического поля в жидкости перемещаются взвешенные частицы (пигмент в окрашенной жидкости), притягиваются к электродам, образуя знаки, по цвету резко отличающиеся от цвета жидкости. Напряжение для ЭФД составляет десятки Вольт. Срок службы – десятки тысяч часов, быстродействие – низкое.

6.6. Лазеры

Принцип действия лазера основан на использовании синхронного и синфазного излучения атомов (когерентного излучения).

Идея лазера высказана советским учёным В.А. Фабрикантом в 1939 году. Идея состоит в следующем. Вещество содержит цепочки атомов, вытянутых в одну линию. Если эти атомы находятся в возбужденном состоянии, то внешний фотон, ударив в крайний атом, вызовет излучение нового фотона, который будет вызывать излучение следующего фотона и т.д. Световой поток увеличивается во много раз, теоретически до $\approx 10^{20}$ раз. Образуется огромное количество фотонов, имеющих одинаковую энергию и одинаковое направление движения, т.е. образуется *когерентное излучение*.

В реальности не все атомы могут быть возбуждены, поэтому могут поглощать энергию фотона и уменьшать излучение света.

Если число невозбужденных атомов равно числу возбужденных, никакого усиления излучения не будет. Чтобы произошло усиление когерентного излучения, необходимо в большинстве атомов «переселить» электроны на более высокие энергетические уровни (более удаленные от ядра орбиты) и сохранять это состояние достаточное время. С этой целью к данному веществу, называемому активной средой (рабочим веществом), нужно подводить каким-то образом энергию, вызывающую возбуждение атомов. Этот процесс называется накачкой. Работу лазера (оптического квантового генератора) можно пояснить следующим образом (рис. 6.6).

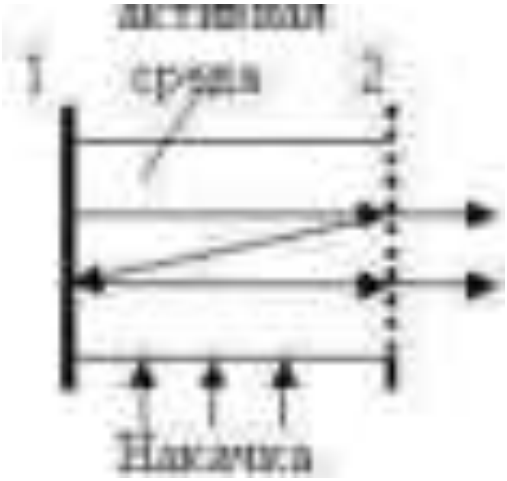


Рис. 6.6. Иллюстрация работы лазерного излучателя

В пространстве, заполненном активной средой, между двумя плоскими зеркалами (рис. 6.6), одно из которых *2* – полупрозрачное, движется поток излучаемых фотонов от зеркала *1* к зеркалу *2*. Большая часть этого потока излучается через зеркало *2* во внешнюю среду в виде когерентного луча, а небольшая часть движется обратно, увеличиваясь по пути, затем отражается от зеркала *1*, вновь движется к зеркалу *2*, частично отражается и т.д.

Для поддержания атомов в возбужденном состоянии служит внешний источник энергии, осуществляющий накачку.

Основные свойства лазерного излучения:

1. Весьма малая расходимость луча (тысячные доли градуса), так как это поток параллельно летящих фотонов.

2. Лазерное излучение с помощью собирающих линз и зеркал можно сфокусировать в точку диаметром 0,5 мкм. (Если такой луч послать к Луне, то он высветит пятно диаметром 30 м.)

3. Высокая монохроматичность, т.е. практически излучение идет на одной единственной частоте. Полоса, которую занимает когерентное излучение лазера, составляет $\approx 10^{-3}$ Гц.

4. Можно в широких пределах управлять длительностью излучения (от длительных до сверхкоротких вспышек – 10^{-15} с). При этом мощность излучения оказывается очень большой, что приводит к тому, что вещества могут изменять свои свойства под действием лазерного излучения. Интенсивность такого излучения высока (при фокусировке – до 10^{20} Вт/см^2), напряженность электрического поля в луче достигает 10^{11} В/см. Под действием такого поля многие вещества подвержены ионизации атомов и расщепляются на электроны и положительные ионы.

Типы лазеров [25]:

1) жидкостные лазеры, имеющие в качестве активной среды растворы органических красителей. Длина волны излучения λ = (0,3 – 1,3) мкм (от ультрафиолетового до инфракрасного излучения);

2) газовые лазеры, в которых под действием накачки происходит дисссоциация молекул газа и их возбуждение. Распространены CO_2 -лазеры, которые могут иметь мощность до 10 кВт, $\lambda \approx 10$ мкм, $\eta \approx 40$ %. Имеется несколько разновидностей газовых лазеров:

а) фотодиссационные;

б) газоразрядные, имеющие в качестве активной среды разреженный газ, накачка в них осуществляется тлеющим разрядом (аргоновые, ионные лазеры);

в) лазеры на атомных переходах: λ = (0,4 – 100) мкм. (Гелиево-неоновые лазеры, накачка осуществляется тлеющим разрядом переменным напряжением U = 1000 В);

г) молекулярные лазеры λ = (0,2 – 50) мкм:

– разновидность – газодинамический CO_2-лазер, позволяет получить большую мощность (до 100 кВт);

– эксимерные лазеры – накачка быстрыми электронами, среда – инертный газ, λ = 0,126 мкм (наиболее короткая волна излучения);

3) химические лазеры – возбуждение за счет химических реакций;

4) полупроводниковые лазеры (твердотельные).

В твёрдотельных лазерах когерентное излучение получается при переходе электронов с нижнего уровня зоны проводимости на верхний уровень валентной зоны. Существует два типа таких лазеров.

Первый тип имеет пластину безпримесного полупроводника, в котором накачка производится пучком быстрых электронов с энергией (50 – 100) кЭВ, либо делается оптическая накачка. К таким полупроводникам относятся GaAs (арсенид галия), CdS (сульфид кадмия), CdSe (селенид кадмия). Накачка электронным пучком вызывает сильный нагрев, поэтому требуется интенсивное охлаждение (до 80 ^{0}К). Накачка может быть поперечная либо продольная, последняя позволяет лучше обеспечить охлаждение кристалла полупроводника.

Второй тип – инжекционный лазер, представляющий собой кристалл с особым *p–n*-переходом (рис. 6.7).

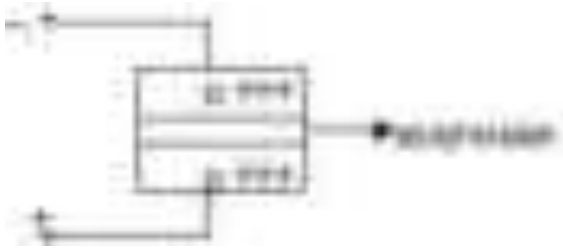


Рис. 6.7. Упрощенная структура твёрдотельного инжекционного лазера

Полупроводник имеет высокую концентрацию примесей $(10^{18} \div 10^{19})$/см^3 (вырожденный полупроводник). Грани, перпендикулярные плоскости *p–n*-перехода отполированы и служат зеркалами оптического резонатора. На переход подается прямое смещение, происходит активная рекомбинация носителей (GaAs), генерируется излучение с длиной волны λ = (0,8 – 0,9) мкм и коэффициентом полезного действия η = (50 – 60) %. Такой лазер размером 1 мм дает мощность излучения до 10 мВт (в импульсе до 100 Вт).

Применение лазерного излучения. В настоящее время область применения лазерного излучения стремительно расширяется. Быстро развивается нелинейная оптика – область физики, изучающая взаимодействие лазерного излучения с различными веществами.

Лазерный луч может проникать через вещества, непрозрачные для обычного света. Изменение частоты (генерация гармоник) наблюдается при прохождении лазерного луча через некоторые вещества. При этом достигается КПД около 100 %. Лазерное излучение способно управлять движением атомов. Взаимодействие лазерного луча с атомами вещества вызывает появление в спектре этого вещества новых линий, по которым можно судить о новых свойствах этого вещества (нелинейная лазерная спектроскопия).

Важнейшая область применения – связь. Высокая направленность и огромный частотный диапазон позволяют разместить в узком диапазоне большое число передач. В космосе лазерный луч позволяет осуществить связь на огромные расстояния. На земле высококачественная связь лазерным лучом осуществляется по оптоволоконным линиям (световодам). В густом тумане лазерный луч позволяет использовать связь на расстоянии нескольких сотен метров.

Лазерное излучение используется в локаторах, в геодезических измерениях, при обработке твердых материалов, в качественных видео и звукозаписях, в медицине (лазерный скальпель), в биологии – для изучения процессов фотосинтеза и т.п. Лазеры, использующие излучение СВЧ-диапазона (сантиметровые и миллиметровые волны), называют мазерами [25].

МОДУЛЬ 2. ОСНОВЫ АНАЛОГОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

7. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

7.1. Общие сведения об усилителях электрических сигналов

Усилителем называется устройство, способное путем затраты небольшого количества энергии управлять потоком гораздо большей энергии, получаемой от какого-либо источника [21]. Если управляющая и управляемая величины (энергия) являются электрическими, усилитель называют усилителем электрических сигналов.

Классификация усилительных устройств по двум основным признакам приведена на рис. 7.1.

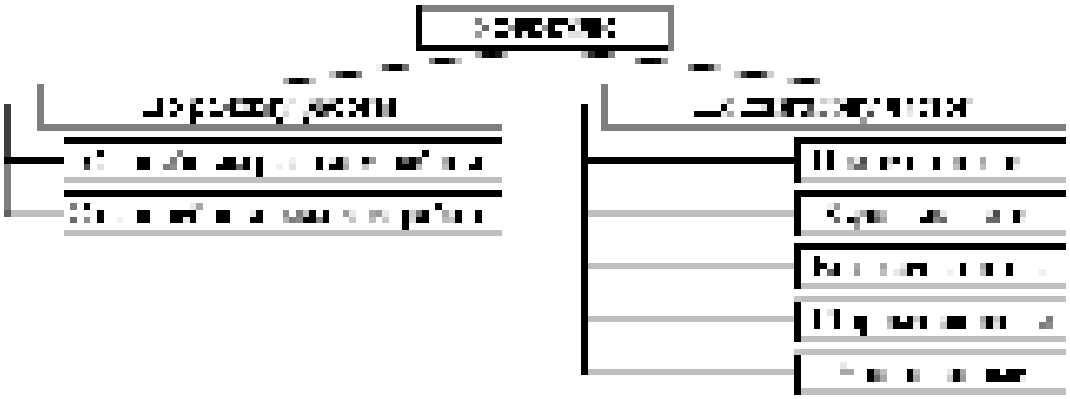


Рис. 7.1. Примерная классификация усилителей электрических сигналов

Классификация чаще всего делается по диапазону частот усиливаемых сигналов, называемому полосой пропускания. С этой точки зрения считается что, например, усилитель постоянного тока (УПТ) имеет полосу пропускания $\Delta f = (0 – 10^6)$ Гц, усилитель звуковых частот (УЗЧ) – $(20 – 20 \cdot 10^3)$ Гц, широкополосный усилитель – $(20 – 100 \cdot 10^6)$ Гц.

Усилители с линейным режимом работы предназначены для получения выходного сигнала, близкого по форме к входному, т.е. мгновенные значения выходного электрического сигнала должны быть пропорциональны мгновенным значениям входного сигнала (чаще всего это синусоидальные сигналы).

В усилителях с нелинейным режимом работы мгновенные значения входного и выходного сигналов не пропорциональны. К ним относятся усилители-ограничители, нелинейные импульсные усилители, ключевые схемы.

В зависимости от характера нагрузки и назначения различают усилители напряжения (УН), усилители тока (УТ), усилители мощности (УМ), однако в конечном итоге в усилителях преобразуется (усиливается) мощность.

Простейшую часть усилительного устройства часто называют усилительным каскадом (рис. 7.2), а цепь, в которую включен каскад, трактом (рис. 7.3).

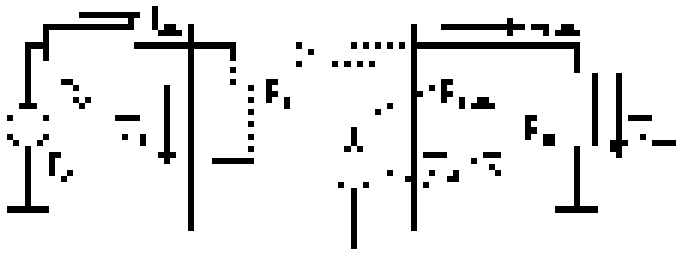


Рис. 7.2. Структурная схема включения каскада в усилительный тракт

Каждый усилительный каскад выполняет свою функцию. Различают каскады входные (предварительного усиления), промежуточные, выходные.

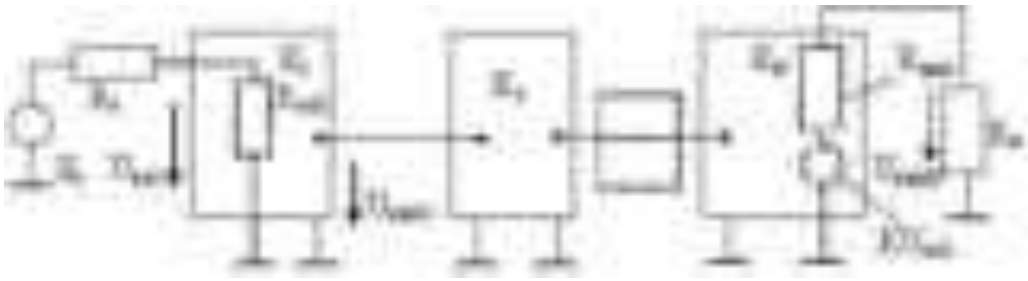


Рис. 7.3. Каскадное соединение усилительных каскадов

Первый каскад – входной, осуществляет согласование усилителя с источником входного сигнала $E_Г$, имеющим внутреннее сопротивление $R_Г$. Согласование – это приведение в соответствие возможностей источника и параметров нагрузки. Каскад имеет входное сопротивление R_{BX1} и коэффициент усиления K_1. Нагрузкой первого каскада служит входное сопротивление второго каскада и т.д.

Промежуточные каскады обеспечивают усиление полезного сигнала до величины, необходимой для выходного каскада. Выходной каскад обеспечивает передачу требуемого тока, напряжения или мощности в нагрузку R_H. Если соединение каскадов осуществлено так, что пропускается и постоянная, и переменная составляющие сигнала, усилитель называется усилителем с непосредственной (гальванической) связью. Примером может быть усилитель постоянного тока (УПТ). Если связь осуществлена так, что постоянная составляющая не пропускается на выход, то такие усилители называются усилителями переменного тока. Межкаскадные связи могут быть осуществлены через RC-цепи, трансформаторы, LC-цепи.

Со стороны входных зажимов усилитель характеризуется входным сопротивлением $R_{BX} = \Delta U_{BX} / \Delta I_{BX}$.

Величина R_{BX} различна в различных режимах, поэтому для *источников входного сигнала* возможны следующие режимы:

а) режим холостого хода (ХХ), когда $R_Г << R_{ВХ}$;

б) режим короткого замыкания (КЗ), когда $R_Г >> R_{ВХ}$;

в) согласованный режим, когда $R_Г = R_{ВХ}$, такой режим обеспечивают в усилителях мощности, так как в этом случае происходит наибольшая передача мощности [24].

Со стороны выходных зажимов усилитель (или любой каскад) можно представить зависимым источником напряжения $E = K \cdot U_{ВХ}$
и выходным сопротивлением $R_{ВЫХ}$. В зависимости от соотношения выходного сопротивления и сопротивления нагрузки $R_Н$ для выходной цепи также различают три режима:

а) ХХвых, когда $R_{ВЫХ} << R_Н$;

б) КЗвых, когда $R_{ВЫХ} >> R_Н$;

в) согласованный, когда $R_{ВЫХ} = R_Н$.

7.2. Основные параметры и характеристики усилителей

Технические характеристики усилительных устройств определяют степень усиления полезных сигналов, зависимости параметров усилителя от частоты синусоидальных входных воздействий, шумовые характеристики. К основным параметрам усилителя относят следующие величины.

1. Коэффициент усиления (передачи, преобразования) по напряжению:

$$K_U = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}, \qquad (7.1)$$

где $U_{ВЫХ}$, $U_{ВХ}$ – амплитудные или действующие значения выходного и входного переменных напряжений.

Часто определяют коэффициент усиления как $K = U_{ВЫХ} / E_Г$. При последовательном соединении каскадов (рис. 7.3) общий коэффициент усиления $K_U = U_{ВЫХN} / U_{ВХ1}$ определяется произведением коэффициентов усиления каскадов:

$$K_U = (U_{ВЫХ1} / U_{ВХ1}) \cdot (U_{ВЫХ2} / U_{ВХ2}) \cdot \cdot \cdot (U_{ВЫХN} / U_{ВХN}),$$

$$K_U = K_{U1} \cdot K_{U2} \cdot \cdot \cdot K_{UN}. \qquad (7.2)$$

Обычно коэффициент усиления усилителя оценивается в децибелах (дБ):

$$K_U, \text{дБ} = 20\ lg(U_{ВЫХ} / U_{ВХ}) = 20\ lg K_U.$$

Соответствие значений коэффициентов в относительных единицах (о.е.) и в децибелах показано в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Соответствие относительных единиц и децибел

K_U, о.е.	1,258	$2^{1/2}$	2	3,16	10	31,6	10^2	10^3	10^4	10^5

K_U, дБ	2	3	6	10	20	30	40	60	80	100

Выражение K_U в децибелах позволяет определять результирующий K_U для нескольких последовательно соединенных каскадов сложением коэффициентов, а не умножением их:

$$K_U,\text{дБ} = K_{U1},\text{дБ} + K_{U2},\text{дБ} + \cdots\cdot + \cdot K_{UN},\text{дБ}.$$

2. Коэффициент усиления по току:

$$K_I = I_{ВЫХ} / I_{ВХ} \text{ или } K_I,\text{дБ} = 20\lg K_I. \qquad (7.3)$$

Коэффициенты усиления по току и напряжению, определяемые для гармонических входных воздействий, как правило, рассматриваются в виде комплексных величин, зависящих от частоты – $\dot{K}(j\omega)$ или $\underline{K}(\omega)$.

3. Мощность на выходе (выходная мощность) – $P_{ВЫХ}$.

4. Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = P_{ВЫХ} / P_{ВХ} \text{ или } K_p,\text{дБ} = 10\lg(P_{ВЫХ} / P_{ВХ}) = 10\lg K_p. \qquad (7.4)$$

5. Коэффициент преобразования (передачи) – более общее понятие, частным случаем которого является коэффициент усиления, это отношение величины выходного сигнала к величине входного, например:

$S = I_{ВЫХ} / U_{ВХ}$ – коэффициент преобразования напряжения $U_{ВХ}$ в ток $I_{ВЫХ}$; $W = P_{ВЫХ} / I_{ВХ}$ – коэффициент преобразования тока в мощность.

6. Динамический диапазон усиления:

$$D = U_{ВХ\,MAX} / U_{ВХ\,MIN};\ \text{D, дБ} = 20\lg\text{D}.$$

Это отношение наибольшего допустимого входного напряжения к его наименьшему значению: $U_{ВХ\,MAX}$ – ограничено сверху возникновением искажений на выходе; $U_{ВХ\,MIN}$ – ограничено снизу уровнем собственных шумов, когда уже невозможно различить шум и полезный сигнал.

7. Коэффициент полезного действия (КПД) – это отношение выходной мощности, отдаваемой усилителем в нагрузку, к общей мощности, потребляемой от источника питания:

$$\eta = P_{ВЫХ} / P_0.$$

КПД характеризует энергетические показатели усилителя.

8. Напряжение шумов и помех усилителя.

Наличие шумов на выходе усилителя при отсутствии входного сигнала объясняется несколькими причинами:

– тепловым шумом сопротивлений, обусловленным хаотическими движениями носителей заряда в проводнике, находящимся при температуре выше абсолютного нуля;

– шумами электронных приборов, также обусловленными тепловым действием и неоднородностями структуры;

– шумами, создаваемыми за счет пульсаций напряжения источников питания.

Шумовые свойства оценивают коэффициентом шума:

$$F = \frac{P_{ВЫХ} / P_{ШВЫХ}}{P_{ИСТ} / P_{ШИСТ}} = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ИСТ}} \cdot \frac{P_{ШИСТ}}{P_{ШВЫХ}}. \qquad (7.5)$$

Коэффициент шума показывает во сколько раз ухудшается отношение сигнал/шум на выходе усилителя по сравнению с отношением сигнал/шум источника сигнала.

Ввиду того, что коэффициенты усиления – величины комплексные, важнейшими характеристиками усилителей являются амплитудные, амплитудно-частотные (АЧХ), фазо-частотные (ФЧХ), амплитудно-фазо-частотные (АФЧХ) характеристики.

9. Амплитудная характеристика – это зависимость амплитудного значения напряжения первой гармоники выходного напряжения от амплитуды синусоидального входного напряжения (рис. 7.4).

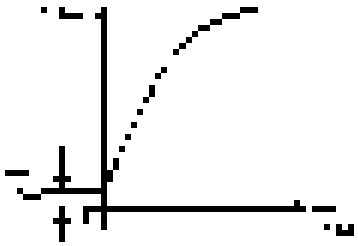


Рис. 7.4. Амплитудная характеристика усилителя ($U_Ш$ – напряжение шума)

10. АЧХ – это зависимость модуля комплексного коэффициента усиления $\left|\dot{K}(f)\right|$ от частоты f входного сигнала (рис. 7.5, *а*).

а *б*

Рис. 7.5. АЧХ (*а*) и ФЧХ (*б*) усилителя переменного тока

11. ФЧХ – зависимость угла сдвига фазы φ между выходным и входным напряжениями от частоты f (рис. 7.5, *б*). На рис. 7.5 обозначено: K_0 – коэффициент усиления на средней частоте f_0; K_H, K_B – коэффициенты усиления на нижней (f_H) и верхней (f_B) границе полосы пропускания усилителя; φ_H, φ_B – фазовый сдвиг, соответственно на нижней и верхней частотной границе.

12. АФЧХ – это построенная на комплексной плоскости зависимость модуля коэффициента усиления $|\dot{K}(f)|$ и угла сдвига фазы между входным и выходным напряжениями от частоты. АФЧХ объединяет АЧХ и ФЧХ (рис. 7.6).

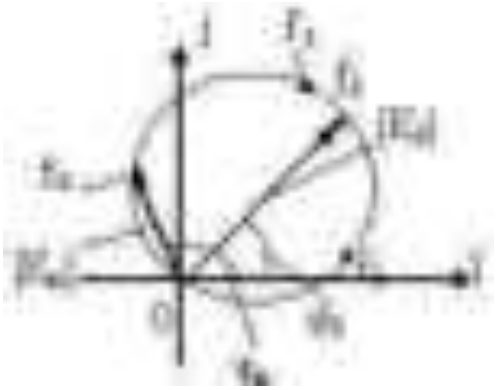


Рис. 7.6. АФЧХ усилителя переменного тока

АФЧХ представляет собой годограф вектора $\dot{K}(f)$ на комплексной плоскости, длина которого соответствует модулю коэффициента усиления на данной частоте, а угол поворота относительно оси действительных чисел соответствует сдвигу фаз между входным и выходным сигналами.

Свойства усилителей по быстродействию характеризуются переходной характеристикой (ПХ).

13. ПХ – это зависимость от времени выходного напряжения усилителя, на вход которого подан мгновенный скачок напряжения $U_{ВХ}(t)$ (рис 7.7).

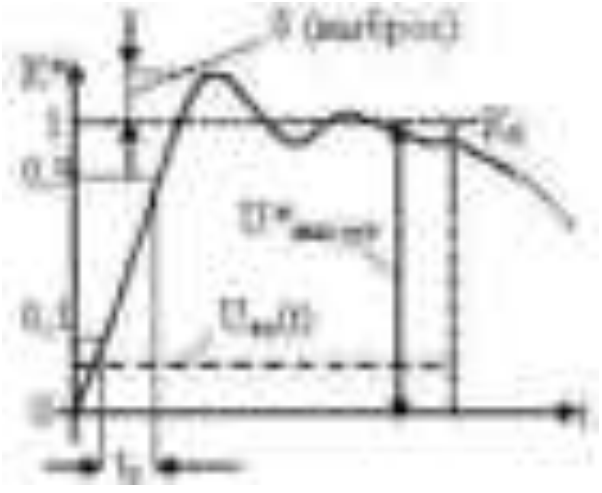


Рис. 7.7. Переходная характеристика усилителя

На рис. 7.7 обозначено: выброс δ – величина максимального превышения над установившимся значением; $t_У$ – время установления от уровня $0{,}1\ U_{ВЫХ\ УСТ}$ до уровня $0{,}9\ U_{ВЫХ\ УСТ}$; K – относительный коэффициент усиления (за 1 принята величина $K = U_{ВЫХ}\ / U_{ВЫХУСТ}$).

14. Рабочий диапазон частот (полоса пропускания) – полоса частот от нижней f_H до верхней f_B, в пределах которой $K(f)$ не выходит за пределы заданных допусков. Часто рабочий диапазон частот определяют на уровне, меньшем максимального на 3 дБ, при этом K_U уменьшается на границах этого диапазона в $\sqrt{2}$ раз.

15. Коэффициенты частотных искажений. Частотные искажения обусловлены отклонением частотных характеристик от идеальных и приводят к искажениям формы сигналов. Коэффициенты частотных искажений M_H, M_B показывают уменьшение модуля коэффициента усиления относительно его среднего значения в области низких и высоких частот:

$$M_H = K_0 / K_H;\ M_B = K_0 / K_B, \qquad (7.6)$$
$$M_H,\ \text{дБ} = 20lg(K_0 / K_H);\ M_B,\ \text{дБ} = 20lg(K_0 / K_B),$$

где K_0, K_H, K_B – коэффициенты (модули) усиления на средних, низких и высоких частотах. K_0 обычно определяют для частоты $f_0 = \sqrt{f_H \cdot f_B}$.

Неравномерность АЧХ – выраженное в процентах максимальное отклонение коэффициента усиления в заданной полосе частот от заданного значения, также характеризует частотные свойства уси-лителя:

$$\delta(\%) = \Delta K_{MAX} / K_0 \cdot 100\ \%.$$

16. Фазовые искажения обусловлены отличием ФЧХ от идеальной и вызываются неодинаковым сдвигом по фазе отдельных гармонических составляющих спектра сигнала сложной формы. Фазовые искажения возникают из-за наличия в схемах усилителей реактивных (ёмкостных, индуктивных) сопротивлений элементов схемы и инерционности полупроводниковых приборов. Существуют теоретические условия усиления (передачи) сигнала без искажения его формы [21]. Пусть входной сигнал есть сумма m гармонических составляющих:

$$U_{BX} = \sum_{n=1}^{m} U_{n\ MAX} \sin(n\omega t + \phi_n),$$

где n – номер гармоники;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

φ_n – начальный фазовый сдвиг n-й гармоники.

Если усилитель, который одинаково усиливает амплитуды гармоник с коэффициентом K, на частоте n-й гармоники вносит фазовый сдвиг, зависящий от частоты гармонической составляющей как
$\varphi_n = n\omega\tau$, где τ – время сдвига, причём $\tau = \text{Const}$, то

$$U_{ВЫХ} = K \times \sum_{n=1}^{m} U_{n\ MAX} \sin(n\omega(t + \tau) + \varphi_n). \qquad (7.7)$$

Отсюда следует, что входное и выходное напряжения отличаются лишь временем сдвига τ, а форма их сохраняется неизменной.

Таким образом, форма сигнала не искажается, если фазовый сдвиг, вносимый усилителем, изменяется прямо пропорционально частоте. Идеальной ФЧХ является прямая, проходящая под углом
к горизонтальной оси. Мерой фазовых искажений является разность ординат действительной и идеальной ФЧХ – $\Delta\varphi$ (рис. 7.8). Частотные и фазовые искажения относятся к линейным искажениям.

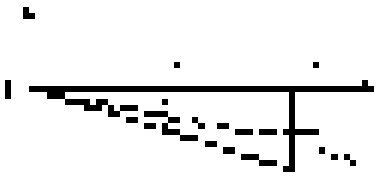


Рис. 7.8. Отклонение реальной ФЧХ (показана пунктиром) от идеальной

17. Наряду с линейными искажениями в усилительных устройствах присутствуют и нелинейные искажения, обусловленные нелинейностью амплитудной характеристики усилителя. Их оценивают либо коэффициентом нелинейных искажений $K_{НИ}$, либо коэффициентом гармоник $K_Г$.

$$K_{НИ} = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \ldots + P_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n}},$$

$$K_Г = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \ldots + P_n}{P_1}}, \qquad (7.8)$$

где P_1 – мощность первой гармоники выходного сигнала;

P_n – мощность n-й гармоники выходного сигнала.

В обоих случаях в числителе подкоренного выражения стоит сумма мощностей гармоник с порядком, большим единицы.

7.3. Усилительные каскады на биполярных транзисторах

Принципы построения и действия различных каскадов поясним на примере структурной схемы для усилительного каскада на каком-либо усилительном элементе (УЭ).

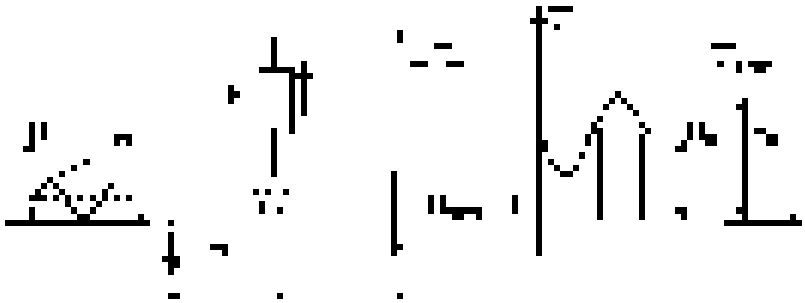


Рис. 7.9. Структурная схема усилительного каскада и осциллограммы сигналов на его входе и выходе

Основным элементом каскада (рис. 7.9) является управляемый (усилительный) элемент (УЭ) – это может быть, в частности, биполярный или полевой транзистор. Резистор R ограничивает ток источника питания $E_П$. Усиливаемый входной сигнал $U_{ВХ}$ подается на вход УЭ. Выходной сигнал снимается с выхода УЭ или резистора R. Выходной сигнал $U_{ВЫХ}$ создается в результате изменения сопротивления УЭ, т.е. в результате изменения тока i в выходной цепи под воздействием $U_{ВХ}$.

Процесс усиления основывается на преобразовании энергии источника постоянного напряжения $E_П$ в энергию переменного напряжения в выходной цепи за счет изменения внутреннего сопротивления УЭ по закону, задаваемому входным сигналом. Переменный ток и напряжение выходной цепи (пропорциональные току и напряжению входной цепи), следует рассматривать как переменные составляющие суммарного тока и напряжения, состоящего из постоянной
и переменной составляющих.

Таким образом, для обеспечения работы усилительного каскада при переменном входном сигнале в его выходной цепи должны быть созданы постоянные составляющие тока $I_П$ и напряжения $U_П$. Эти составляющие определяют режим покоя усилительного каскада. Параметры покоя по входной и выходной цепи характеризуют статический режим схемы при отсутствии входного сигнала. Если усилительный элемент – транзистор, то параметры усилительного каскада зависят от способа включения транзистора, выполняющего роль управляемого элемента. Для биполярных транзисторов различают три вида каскадов: с общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК), общей базой (ОБ).

Усилительный каскад с общим эмиттером (схема ОЭ). Упрощённая схема каскада с общим эмиттером показана на рис. 7.10.
В схеме эмиттерная цепь является общей для входного контура, образованного источником сигнала и цепью база-эмиттер транзистора,
и для выходного контура, содержащего цепь коллектор-эмиттер транзистора, разделительный конденсатор $C_{С2}$ и резистор $R_Н$.

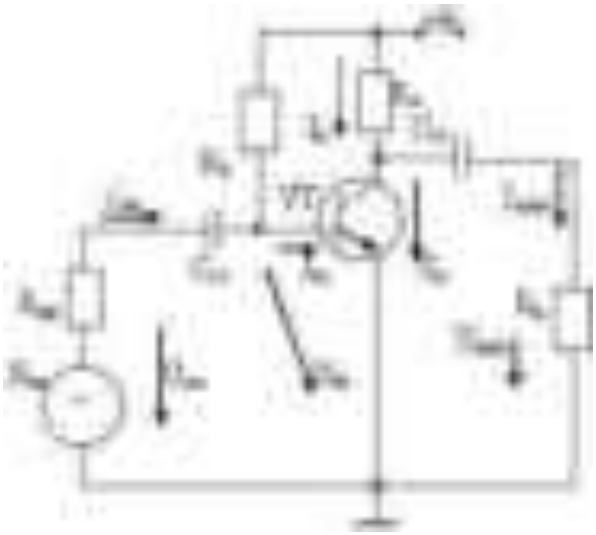


Рис. 7.10. Схема усилительного каскада с транзистором, включённым по схеме с общим эмиттером

Назначение и обозначения элементов в схеме (рис. 7.10):
E_K – ЭДС источника питания; U_K – напряжение на коллекторе;
$U_{БЭ}$ – напряжение между базой и эмиттером; E_{BX} – ЭДС источника входного сигнала; U_{BX}, $U_{ВЫХ}$ – входное и выходное напряжение;
$R_{ВИ}$ – резистор в цепи источника сигнала; $R_Б$ – резистор для создания начального тока базы $I_{Б3}$; R_K – резистор для ограничения тока в цепи коллектора; R_H – резистор нагрузки; C_{C1} – разделительный конденсатор на входе; C_{C2} – разделительный конденсатор на выходе;
i_{BX}, $I_{ВЫХ}$ – входной и выходной токи; I_K – коллекторный ток. Разделительный конденсатор на входе C_{C1} исключает прохождение постоянного тока от источника питания в цепь источника входного сигнала.

Конденсатор C_{C2} обеспечивает прохождение в резистор нагрузки переменной составляющей $U_{ВЫХ}$ коллекторного напряжения U_K, не пропуская в нагрузку постоянный ток от источника питания E_K. Величина E_K обычно составляет (5 – 30) В, а токи транзисторов малой мощности обычно не превышают несколько десятков миллиампер.

Для коллекторной цепи транзистора при отсутствии входного сигнала справедливо уравнение, называемое уравнением покоя выходной цепи:

$$E_K = U_K + R_K I_K. \qquad (7.9)$$

Процесс усиления входного сигнала удобно представить графо-аналитическим способом, используя ВАХ транзистора. Подробное описание и иллюстрация такого способа представлены на рис. 7.11.

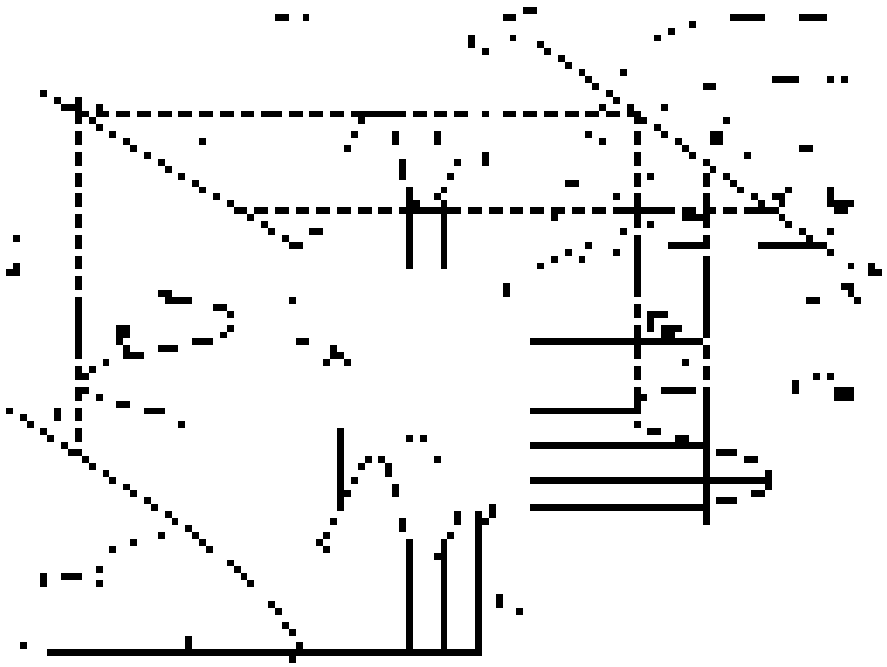


Рис. 7.11. Иллюстрация процесса усиления входного сигнала в схеме ОЭ

Для проведения анализа работы схемы, изображенной на рис. 7.10, уравнение (7.9) выходной цепи ($U_K = E_K - R_K I_K$) изобразим на плоскости выходных характеристик транзистора в виде прямой линии с координатами точек ($U_K = E_к$, $I_K = 0$) и ($U_K = 0$, $I_K = E_K / R_K$). Эта линия является вольт-амперной характеристикой (ВАХ) резистора R_K и называется линией нагрузки. Точки пересечения линии нагрузки с выходными характеристиками дают графическое решение уравнения покоя (7.9) для данного сопротивления R_K и различных значений тока базы $I_{БЗ}$.

Во втором квадранте строим характеристику $I_K = f(I_{БЗ})$ по точкам пересечения а′, п′, в′. Затем в третьем квадранте строим по току $I_{БЗ}$ входную характеристику $I_{БЗ} = f(U_{БЭ})$, повернутую на 90^0 против часовой стрелки по сравнению с её обычным изображением.

Сопротивление резистора R_K выбирают, исходя из того, чтобы линия нагрузки располагалась ниже линий $I_{K\,MAX}$, $U_{K\,MAX}$, $P_{K\,MAX}$. В то же время участок а′в′ должен быть достаточно протяженным.

Резистор $R_Б$ обеспечивает режим покоя базы. С помощью этого резистора можно выбрать положение точки п″ на линейном участке входной характеристики, при этом:

$$R_Б = (E_K - U_{БП}) / I_{БП}. \qquad (7.10)$$

При подаче на вход каскада переменного напряжения $U_{BX}(t)$ ток базы будет изменяться в соответствии с входной характеристикой
и будет иметь постоянную и переменную составляющую. В транзисторе будут изменяться коллекторный и эмиттерный токи, а также коллекторное напряжение U_K. Переменная составляющая коллекторного напряжения $U_K(t) = U_{ВЫХ}$ будет по амплитуде значительно больше U_{BX} и противоположна по фазе (рис. 7.11).

Если $U_{BX}(t)$ укладывается в линейный участок характеристики $I_{БЗ} = f(U_{БЭ})$, то искажений формы сигнала не будет. Если $U_{BX}(t)$ больше некоторого значения, появятся искажения формы – срезы, т.е. будут возникать нелинейные искажения. Оценку диапазона изменений входных напряжений, усиливаемых без искажения (динамического диапазона), делают по

амплитудной характеристике. Диапазон работы без искажений ограничивается линейным участком амплитудной характеристики (рис. 7.12, *б*).

При работе усилительного каскада в режиме, соответствующем линейным участкам характеристик, т.е. при отсутствии искажений, параметры усилителя можно рассчитать аналитически по
h-параметрам транзистора. Для этого используем схему замещения транзистора, включенного по схеме ОЭ, а в схеме каскада мысленно «закорачиваем» выводы конденсаторов и источника питания. Схема замещения приобретает вид, показанный на рис. 7.12, *а*.

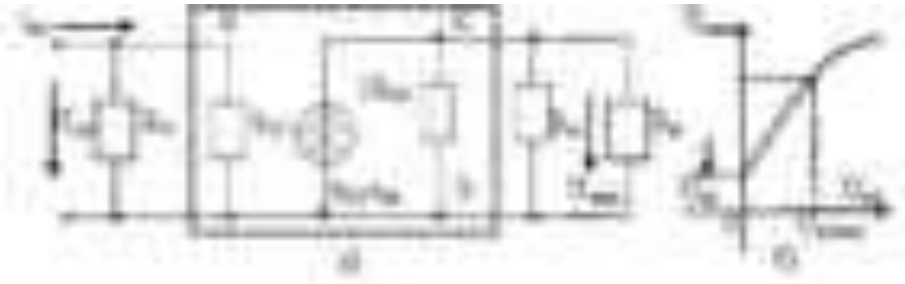


Рис. 7.12. Схема замещения каскада в *h*-параметрах (*а*) и определение диапазона неискаженной работы (*б*)

Система уравнений, соответствующая схеме замещения, имеет вид:

$$U_{BX} = i_{BX} \cdot h_{11} \cdot R_Б / (R_Б + h_{11});$$
$$U_{ВЫХ} / R_K + U_{ВЫХ} / R_H + h_{22} \cdot U_{ВЫХ} - h_{21} \cdot i_{BX} = 0. \qquad (7.11)$$

Обычно $R_Б >> h_{11}$, $R_H >> R_K$, тогда

$U_{BX} \approx i_{BX} \cdot h_{11}$; $h_{22} \cdot U_{ВЫХ} + U_{ВЫХ} / R_K \approx h_{21} \cdot i_{BX}$; откуда получим

$$U_{ВЫХ} = U_{BX} \cdot h_{21} / h_{11} \cdot 1 / (h_{22} + 1/R_K). \qquad (7.12)$$

Определяем коэффициент усиления по напряжению, учитывая, что $R_K \cdot h_{22} << 1$. В этом случае

$$K_U = U_{ВЫХ} / U_{BX} = h_{21} / h_{11} \cdot R_K / (1 + R_K h_{22}) \approx R_K \cdot h_{21} / h_{11}; \qquad (7.13)$$

$$R_{BX} = h_{11} \cdot R_Б / (R_Б + h_{11}) \approx h_{11}. \qquad (7.14)$$

$$R_{ВЫХ} = R_K \,||\, (1 / h_{22});$$
$$R_{ВЫХ} = R_K / h_{22} \,(R_K + 1 / h_{22}) = R_K / (1 + h_{22} R_K) \approx R_K. \qquad (7.15)$$

Как правило, R_{BX} составляет сотни Ом – несколько кОм; $R_{ВЫХ}$ обычно больше R_{BX}.

Низкое входное сопротивление создает трудности в работе источника сигнала, если его внутреннее сопротивление велико. В этом случае образуется делитель напряжения входного сигнала, и лишь его малая доля попадает во входную цепь транзистора (рис. 7.10):
$U_{BX} = e_{BX} \cdot R_{BX} / (R_{ВИ} + R_{BX}) << e_{BX}$.

При высоком выходном сопротивлении каскада требуется, чтобы сопротивление нагрузки R_H было еще больше, иначе существенно уменьшается коэффициент усиления по напряжению.

Если $R_H << R_K$, то $|K_U| = h_{21} / h_{11} \cdot (R_H \,||\, R_K) << h_{21} / h_{11} \cdot R_K$.

Температурная стабилизация каскада ОЭ. С ростом температуры в полупроводнике увеличивается число неосновных носителей заряда, и в транзисторе увеличивается коллекторный ток I_K. С ростом I_K напряжение $U_K = E_K - R_K \cdot I_K$ уменьшается (рис. 7.13).

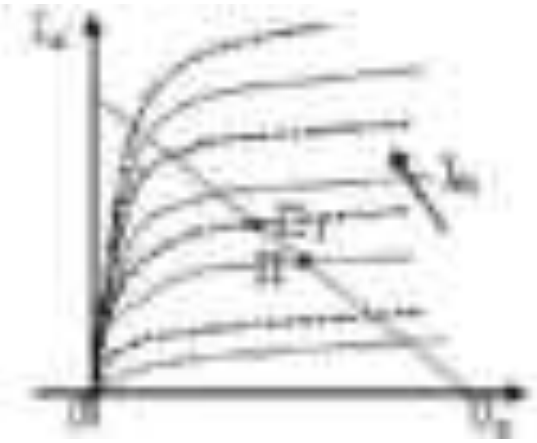


Рис. 7.13. Смещение точки покоя с ростом температуры

Со смещением точки покоя увеличивается вероятность искажений. Для уменьшения влияния температуры на характеристики каскада используют схемы температурной стабилизации (рис. 7.14).

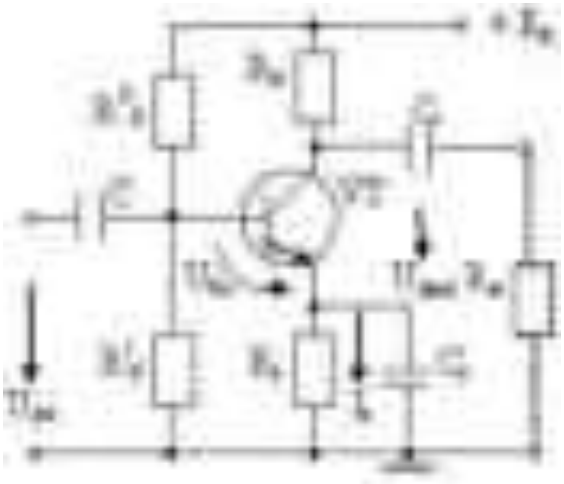


Рис. 7.14. Схема каскада ОЭ с эмиттерной термостабилизацией

Сопротивление $R_Э$ создаёт зависимость $U_{БЭ}$ от $I_Э$, однако при этом часть входного сигнала теряется из-за отрицательной обратной связи по току эмиттера. Включение $C_Э$ препятствует снижению коэффициента усиления.

Принцип температурной компенсации состоит в следующем.
В режиме покоя $U_{БЭ} = E_K R'_Б / (R'_Б + R''_Б) - R_Э I_Э$. Температурное увеличение тока $I_Э$ вызывает уменьшение управляющего транзистором напряжения $U_{БЭ}$, препятствующее этому увеличению. Исходное состояние транзистора сохраняется, однако часть коллекторного (выходного) напряжения теряется в виде падения напряжения на резисторе $R_Э$, что снижает коэффициент усиления схемы. При наличии входного сигнала $U_{БЭ} = U_{ВХ} - Z_Э I_Э$, где $Z_Э$ – эквивалентное сопротивление в цепи эмиттера. Если конденсатор $C_Э$ отсутствует, то $Z_Э = R_Э$
и коэффициент усиления для переменной составляющей выходного напряжения будет снижен. Если параллельно резистору $R_Э$ подключить конденсатор $C_Э$, имеющий сопротивление

$X_C = 1 / \omega C_Э << R_Э$, то $Z_Э << R_Э$ и снижение коэффициента усиления для переменной составляющей выходного напряжения будет небольшим.

Второй способ температурной стабилизации каскада ОЭ показан на рис. 7.15. В этой схеме ток базы определяется напряжением U_K
(в отличие от первой схемы, где $I_{Б3}$ определяется E_K). Если в результате роста температуры увеличивается I_K, то U_K падает, уменьшается и ток базы, возвращая ток коллектора к исходному состоянию. Чтобы переменная составляющая U_K не попадала в базу, установлен конденсатор $C_Ф$, причём ёмкость $C_Ф$ должна быть выбрана из условия
$Z = 1 / 2\pi f_H C_Ф = (R'_Б + R''_Б) / (10 \div 20)$, где f_H – низшая частота усиления.

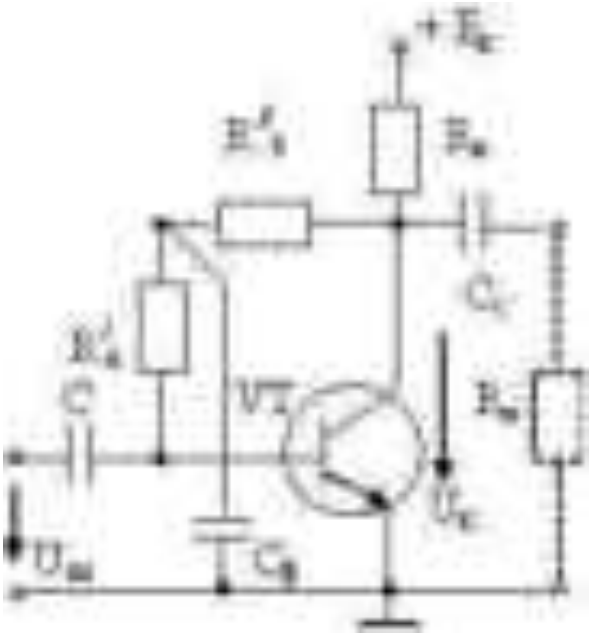


Рис. 7.15. Каскад ОЭ с коллекторной термостабилизацией

Эта схема обладает меньшей стабильностью, чем предыдущая, однако в ней отсутствует снижение $U_{ВЫХ}$ за счет потери в $R_Э$, что было в схеме с эмиттерной стабилизацией. Ёмкость конденсатора $C_Ф$
в этой схеме оказывается значительно меньшей, чем в предыдущей.

Усилительный каскад с общим коллектором (эмиттерный повторитель, схема ОК). Схема каскада с общим коллектором показана на рис. 7.16. В этом усилительном каскаде основной резистор,
с которого снимается $U_{ВЫХ}$, включён в эмиттерную цепь, а коллектор соединён с общей точкой схемы по переменной составляющей сигнала, так как внутреннее сопротивление источника E_K близко к нулю.
В режиме покоя резистор $R_Б$ создаёт начальный ток смещения в цепи базы. Его значение выбирают так, чтобы рабочая точка в режиме покоя на входной характеристике находилась примерно в середине её линейного участка.

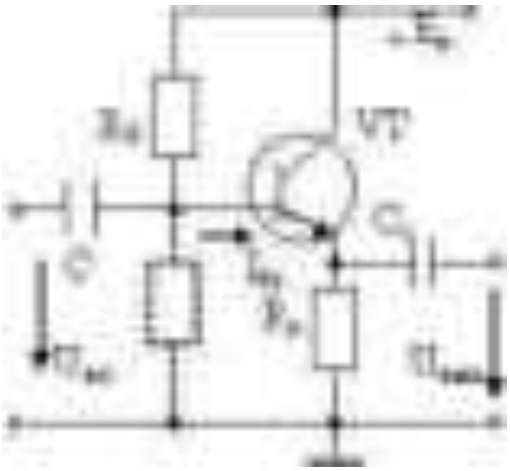


Рис. 7.16. Схема каскада с общим коллектором

Для определения основных характеристик усилительного каскада с ОК рассмотрим его схему замещения в *h*-параметрах (рис. 7.17). Система уравнений, описывающих схему имеет вид:

$$h_{21}\, i_{BX} + i_{BX} - U_{BЫX} / R_Э - U_{BЫX}\, h_{22} = 0;$$

$$U_{BX} = i_{BX}\, h_{11} + U_{BЫX}.$$

Решая систему относительно $U_{ВЫХ}$, получим:

$$U_{BЫX} = U_{BX} / \{1+h_{11}(1+h_{22}R_Э)/[(1+h_{21})R_Э]\}.$$

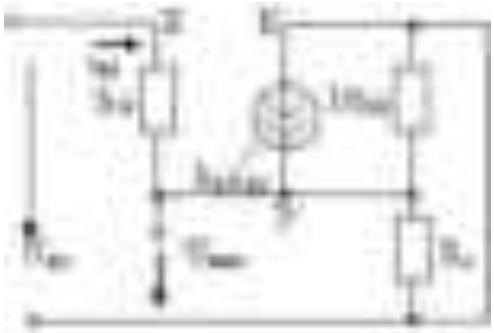


Рис. 7.17. Схема замещения эмиттерного повторителя в *h*-параметрах

Определяем коэффициент усиления по напряжению $K_U = U_{BЫX} / U_{BX}$.

$$K_U = 1/\{1+h_{11}(1+h_{22}\, R_Э)/[(1+h_{21})R_Э]\}. \qquad (7.16)$$

По выражению (7.16) видно, что $K_U < 1$.

Учитывая, что обычно $R_Э = (10^2 - 10^4)$ Ом, а $h_{22} \cdot R_Э << 1$, выражение (7.16) можно преобразовать к виду:

$$K_U = 1/[\ 1+\ h_{11}/(1+\ h_{21}) \cdot R_Э]. \qquad (7.17)$$

В схеме эмиттерного повторителя фазы входного и выходного сигналов совпадают, а входное и выходное напряжения близки по значению, поэтому схема и получила своё название. Определяем входное сопротивление схемы:

$$R_{BX} = U_{BX} / i_{BX} = U_{BX} / (U_{BX} - U_{BЫX}) \cdot h_{11} = h_{11} / (1 - K_U). \quad (7.18)$$

Анализ выражения (7.18) показывает, что $R_{BX} >> h_{11}$ и может достигать несколько сотен кОм. Большое входное сопротивление – достоинство эмиттерного повторителя. Для определения выходного сопротивления используем схему замещения каскада ОК в виде, представленном на рис. 7.18.

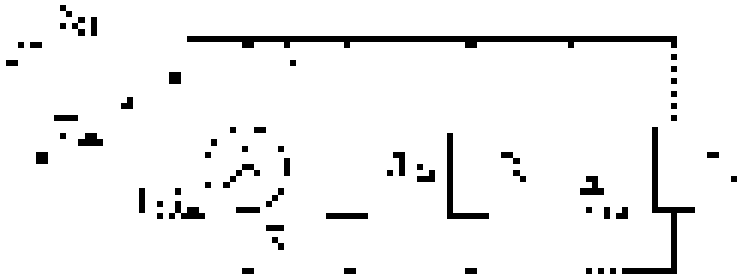


Рис. 7.18. Вариант схемы замещения эмиттерного повторителя

Выходное сопротивление, согласно [11], определяется как отношение напряжения холостого хода схемы (при отключенном сопротивлении нагрузки) к току короткого замыкания на выходе $R_{BЫX} = U_{XX} / i_{K3}$.

Уравнения, описывающие схему в режимах холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) на выходе, имеют вид:

– в режиме КЗ: $i_{K3} = i_{BX} + h_{21} \cdot i_{BX} = i_{BX} (1+h_{21})$, или $i_{K3} = U_{BX} / h_{11} (1+h_{21})$;

– в режиме ХХ: $U_{XX} = U_{BX} - i_{BX} \cdot h_{11}$.

$$R_{BЫX} = h_{11} \cdot (1 - h_{11}/R_{BX}) / (1 + h_{21}) \quad (7.19)$$

Учитывая, что $R_{BX} >> h_{11}$, получим $R_{BЫX} \approx h_{11}/(1+h_{21})$.

Выходное сопротивление эмиттерного повторителя имеет величину порядка десятков Ом, что также является достоинством каскада.

Таким образом, эмиттерный повторитель обладает высоким входным и малым выходным сопротивлениями. Следовательно, его коэффициент усиления по току может быть высоким. Эмиттерный повторитель обычно используют для согласования высокоомного источника усиливаемого сигнала с низкоомным нагрузочным устройством.

Температурная стабильность каскада обеспечивается основным резистором $R_Э$, включенным в эмиттерную цепь, подобно тому, как это было выполнено в схеме каскада с ОЭ (по принципу эмиттерной стабилизации – рис. 7.14).

Усилительный каскад с общей базой (схема ОБ). Схема каскада с общей базой показана на рис. 7.19. В схеме ОБ для создания режима покоя, при котором работа обеспечивается на линейном участке характеристики, используются резисторы $R'_Б$ и $R''_Б$. Конденсатор $C_Б$ имеет на усиливаемой частоте сопротивление $1/2\pi f C_Б << R_Б$, поэтому падение переменной составляющей на этой параллельной цепочке мало и можно считать, что база соединена с общей точкой схемы.

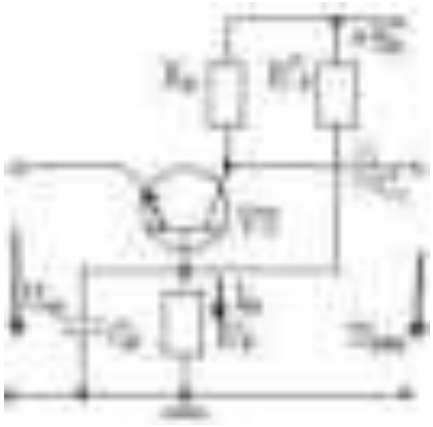


Рис. 7.19. Схема усилительного каскада с общей базой

Усиливаемый сигнал (входное напряжение U_{BX}) подается между базой и эмиттером. Через конденсатор связи C_C с коллектора снимается переменное выходное напряжение $U_{ВЫХ}$.

Каскад с общей базой имеет коэффициент усиления по напряжению примерно такой же, как в схеме с ОЭ. Однако коэффициент усиления по току гораздо ниже, так как входной ток – эмиттерный, а выходной – коллекторный. Коэффициент усиления по мощности меньше, чем в схемах ОЭ и ОК. Каскад ОБ имеет малое входное сопротивление и высокое выходное сопротивление. По указанным причинам этот каскад используется редко.

7.4. Усилительные каскады на полевых транзисторах

Каскад с общим истоком (ОИ). Схема каскада с общим истоком на полевом транзисторе с управляющим *p–n*-переходом показана на рис. 7.20. Звено $R_И C_И$ обеспечивает отрицательное смещение на затворе *3* относительно истока *И*. Резистор $R_З$ соединяет затвор с общей шиной и предназначен для стабилизации входного сопротивления каскада, причём $R_З \approx 1$ МОм и на 1 – 2 порядка меньше входного сопротивления транзистора.

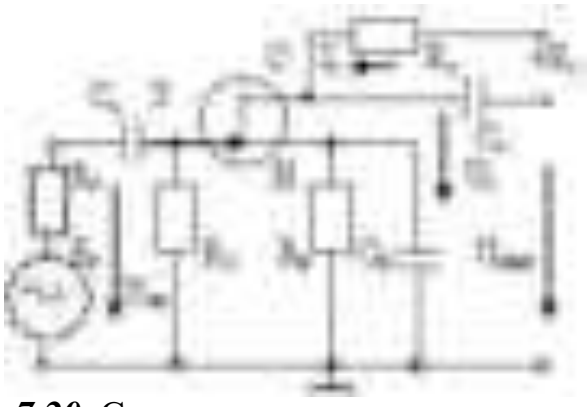


Рис. 7.20. Схема усилительного каскада ОИ на полевом транзисторе

Резистор R_C служит для ограничения тока и на нем выделяется усиленное переменное напряжение. Схема замещения усилительного каскада с ОИ для переменного тока имеет вид,

представленный на рис. 7.21. Пунктирным контуром охвачена схема замещения полевого транзистора.

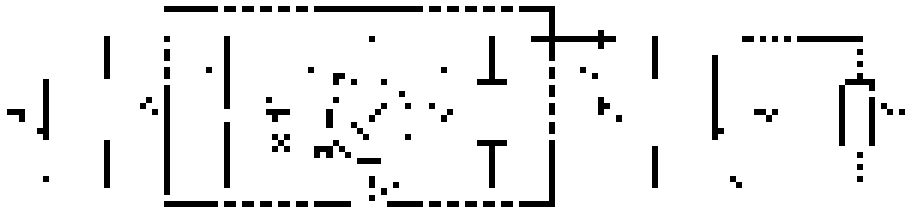


Рис. 7.21. Схема замещения
каскада ОИ для переменного тока

В схеме замещения (рис. 7.21) элементы $R_И$ и $C_И$, показанные в схеме на рис. 7.20, отсутствуют, так как предполагается, что емкость $C_И$ достаточно велика и «закорачивает» цепь $R_И$ по переменному току. $C_{ЗС}$, $C_{ЗИ}$ – конденсаторы, учитывающие наличие ёмкости между затвором и стоком и между затвором и истоком.

Основными параметрами каскада являются: входное сопротивление $R_{ВХ} \approx R_З$; коэффициент усиления по напряжению $K_U = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$.

$$K_U = S\, U_{ВХ}\, r_{СИ}\, R_C /(R_C + r_{СИ}) / U_{ВХ} = S\, r_{СИ}\, R_C / (R_C + r_{СИ}), \quad (7.20)$$

где S – крутизна характеристики транзистора;

$r_{СИ}$ – внутреннее сопротивление транзистора между стоком и истоком.

Если учесть, что $R_C << r_{СИ}$, то

$$K_U \approx S\, R_C. \quad (7.21)$$

Выходное сопротивление каскада:

$$R_{ВЫХ} = R_C \,||\, r_{СИ} \approx R_C. \quad (7.22)$$

Часто используют упрощенные эквивалентные схемы каскадов. Например, в приближённых расчетах применяют упрощенные эквивалентные схемы для сигналов средних и высоких частот (рис. 7.22).

Рис. 7.22. Упрощённые схемы замещения каскада ОИ для сигналов средних (*а*) и высоких (*б*) частот

Анализ работы усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком удобно провести графоаналитическим способом с помощью стоковых характеристик $I_C = f(U_C)$.

Уравнение для цепи стока и истока в режиме покоя (рис. 7.20) имеет вид: $E_C = U_C + R_C I_C$, откуда

$$I_C = (E_C - U_C) / R_C. \qquad (7.23)$$

Аналогично методике, изложенной выше, в области выходных характеристик (рис. 7.23) в первом квадранте координатной плоскости проводим линию нагрузки. Стоко-затворную характеристику размещаем во втором квадранте в соответствии с положением точек пересечения нагрузочной линии с выходными характеристиками. Выбираем исходное положение характеристической (рабочей) точки (П, П′ на рис. 7.23). Построение графика выходного напряжения $U_{ВЫХ}(t)$ следует начинать с построения графика входного напряжения $U_{ВХ}(t)$ в третьем квадранте рис. 7.23.

Анализ графиков изменения входного $U_{ВХ}(t)$ и выходного $U_{ВЫХ}(t)$ напряжений показывает, что направления их изменений противоположны (противофазны).

Вследствие большого разброса параметров и влияния температуры для полевых транзисторов, как и для биполярных, необходима стабилизация положения рабочей точки на характеристиках транзистора (точки П, П' на рис. 7.23).

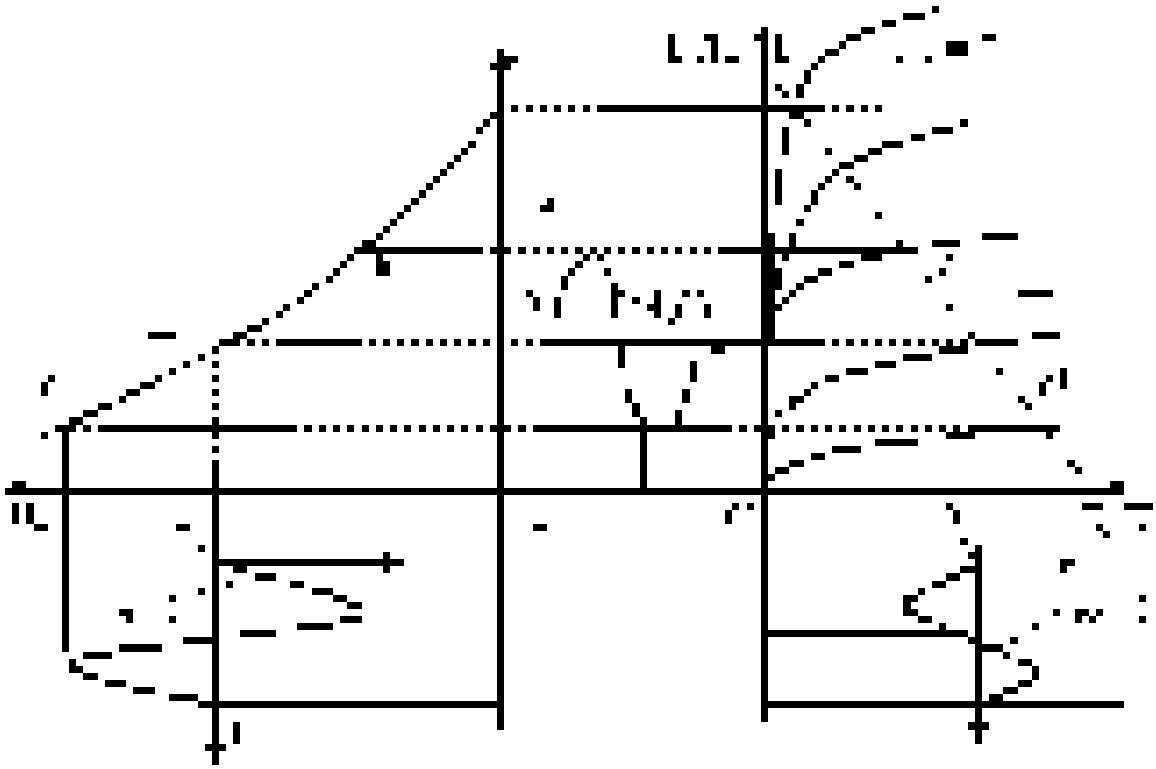


Рис. 7.23. Иллюстрация к графоаналитическому анализу работы усилительного каскада с общим истоком (ОИ)

Стабилизация достигается включением в цепь истока резистора $R_И$ (рис. 7.20), сопротивление которого выбирается несколько большим, чем нужно для создания смещения. Для компенсации излишнего смещения на входе включают высокоомный резисторный делитель.

Истоковый повторитель (схема усилительного каскада с общим стоком). Истоковый повторитель аналогичен эмиттерному повторителю, собранному на биполярном транзисторе. Схемы каскадов с общим стоком показаны на рис. 7.24.

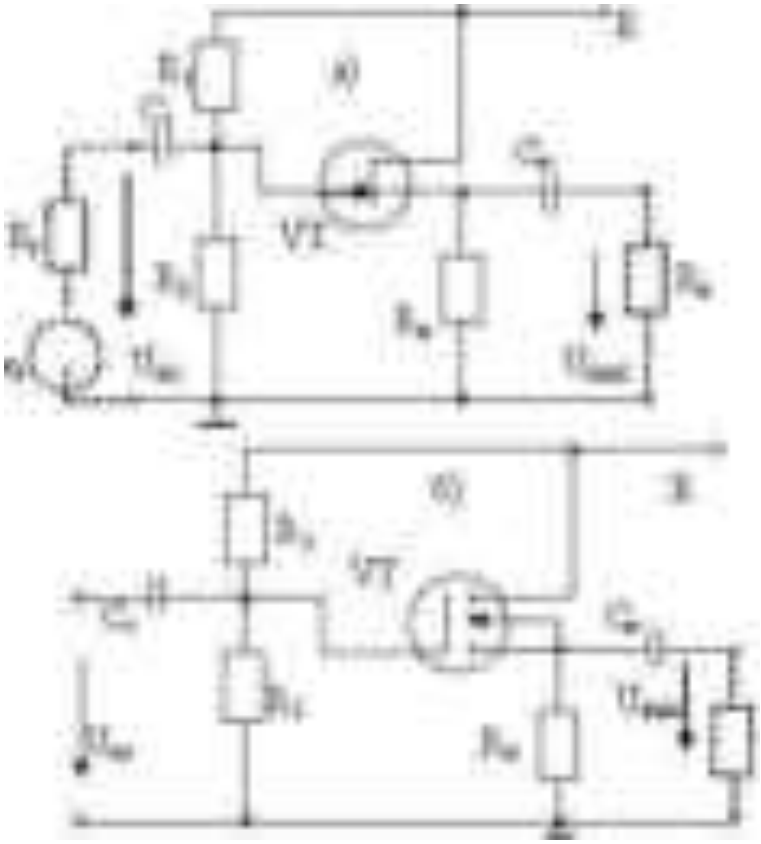


Рис. 7.24. Схемы истоковых повторителей на полевых транзисторах

Каскад (рис. 7.24, *а*) выполнен на транзисторе с управляющим *p–n*-переходом (с каналом *n*-типа). Каскад (рис. 7.24, *б*) выполнен на МДП-транзисторе с индуцированным каналом *n*-типа. Резисторный делитель напряжения R_1, R_2 обеспечивает смещение на затворе.

Методика расчёта параметров истокового повторителя аналогична методике расчёта параметров эмиттерного повторителя. Эквивалентная схема показана на рис. 7.25.

Рис. 7.25. Эквивалентная схема истокового повторителя

Эквивалентная схема показана для средних частот, как наиболее простая. Аналитические выражения для определения параметров приведены ниже (*S* – крутизна характеристики транзистора):

$$U_{ВЫХ} = SU_{ЗИ} \cdot R'_{И}\,;\; R'_{И} = (r_{СИ} \,||\, R_{И} \,||\, R_{Н});$$
$$U_{ВХ} = U_{ЗИ}\,(1 + S{\cdot}R'_{и});$$
$$K_U = U_{ВЫХ} / U_{ВХ} = S{\cdot}R'_{и} / (1 + S{\cdot}R'_{и}); \qquad (7.24)$$
$$R_{ВХ} = R_1 \,||\, R_2;\; R_{ВЫХ} \approx 1/S;\; K_I = K_U\,(R_1 \,||\, R_2)/R_Н.$$

7.5. Режимы работы усилительных каскадов

Различают три основных режима работы усилительных каскадов (три класса усиления): A, B, C [12]. Основные параметры этих режимов – нелинейные искажения и коэффициент полезного действия. Параметры класса усиления зависят от исходного состояния усилительного каскада, отражаемого положением рабочей точки на выходных характеристиках и от уровня входного усиливаемого сигнала.

Режим А характеризуется тем, что рабочую точку в режиме покоя выбирают на линейном участке (чаще всего посередине) выходной
и переходной (сквозной) характеристик транзистора. Сквозная характеристика для биполярного транзистора – это зависимость выходного (коллекторного) тока от входного тока (тока базы).

Для полевого транзистора сквозная характеристика – это, например, зависимость тока стока от управляющего напряжения между затвором и истоком. Уровень (амплитуда) входного сигнала в режиме А должен быть таким, чтобы работа усилительного каскада происходила на линейном участке характеристики. В этом случае искажение формы выходного сигнала по сравнению с формой входного будут минимальными. Однако этот режим имеет низкий КПД, который вычисляется как отношение выходной (полезной) мощности $P_{ВЫХ}$
к мощности источника питания P_0:

$$\eta = (P_{ВЫХ} / P_0)\; 100\;\%. \qquad (7.25)$$

Соотношение между мощностями удобно выявить, используя графическое представление процесса усиления входного сигнала
в усилительном каскаде (рис. 7.11) Соответствующие построения показаны на рис. 7.26 и 7.27.

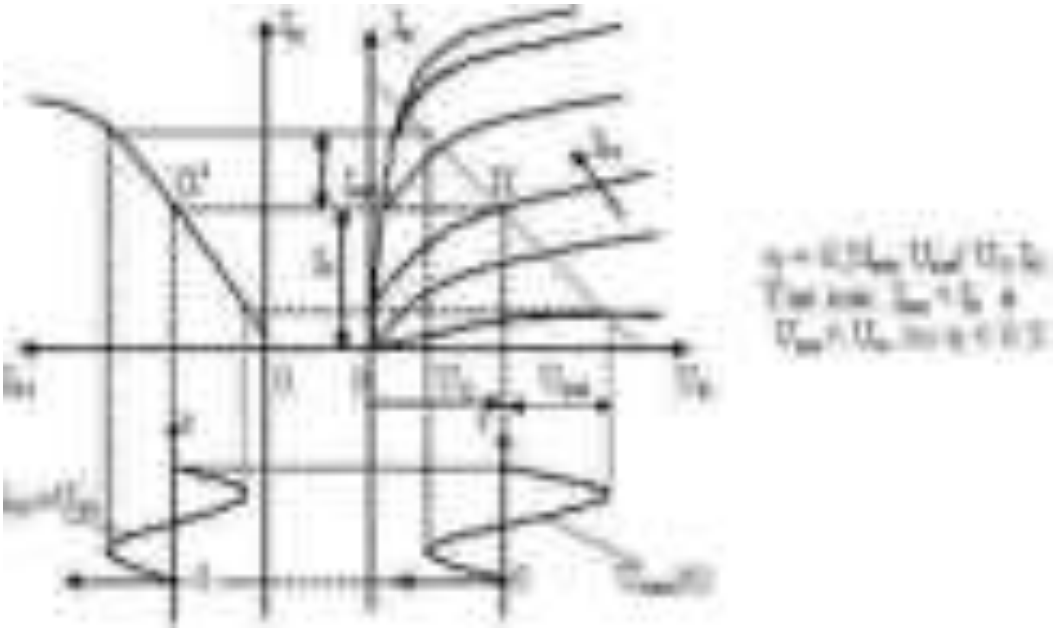


Рис. 7.26. Выбор положения рабочей точки
на характеристиках каскада ОЭ в классе усиления А

Постоянные составляющие напряжения U_0 и тока I_0 определяют исходное положение рабочей точки П. Потребляемая мощность равна произведению постоянных составляющих коллекторных напряжений и токов $P_0 = U_0 I_0$. Для синусоидальных величин выходная мощность

$$P_{ВЫХ} = 0{,}5\ U_{КМ}\, I_{КМ},$$

где $U_{КМ}$, $I_{КМ}$ – амплитуды коллекторных напряжений и токов. Следовательно, КПД каскада в режиме А (рис. 7.26) согласно (7.25) не может быть больше 50 %.

Режим В характеризуется тем, что рабочую точку П выбирают
в начале переходной характеристики (в точке отсечки) (рис. 7.27, *а*). В этом режиме переменные составляющие тока и напряжения транзистора возникают лишь в положительные полупериоды входного напряжения.

При синусоидальном входном сигнале будем иметь на выходе полупериод синусоиды, т.е. большие искажения. Режим В будет иметь более высокий КПД по сравнению с режимом А, так как ток покоя I_0 мал, несмотря на то, что U_0 больше ($\eta \approx 80$ %). Иногда используют режим АВ, при котором рабочая точка занимает промежуточное положение.

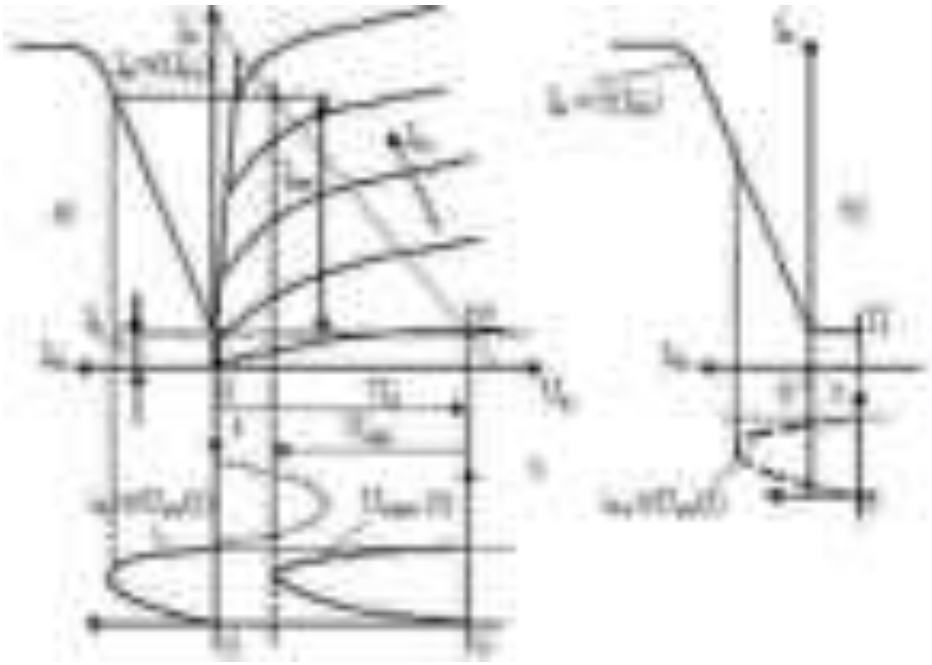


Рис. 7.27. Выбор исходного положения рабочей точки
на характеристиках усилительного каскада ОЭ в режимах В (*а*) и С (*б*)

В режиме С рабочую точку выбирают за точкой отсечки и ток
в транзисторе возникает только в течение некоторой части полупериода входного напряжения. Искажения будут большими, а КПД близок к 100 %. Режим С используют в избирательных усилителях, автогенераторах, выделяя из искаженного выходного сигнала основную гармонику [21].

8. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ И УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Усилителями мощности называют выходные каскады, предназначенные для передачи максимальной мощности в нагрузочное устройство. Нагрузочными устройствами являются обычно обмотки реле
и электродвигателей, громкоговорители, нагревательные устройства. Для усилителя мощности главными показателями являются коэффициент усиления по мощности K_P и высокий КПД.

8.1. Усилители с трансформаторным включением нагрузки

Однотактный усилительный каскад. Принципиальная схема однотактного усилительного каскада с трансформаторным согласованием нагрузки приведена на рис. 8.1. Утолщёнными линиями условно изображены обмотки трансформатора TV: первичная обмотка включена в цепь коллектора транзистора VT, к вторичной обмотке подключено сопротивление нагрузки R_H.

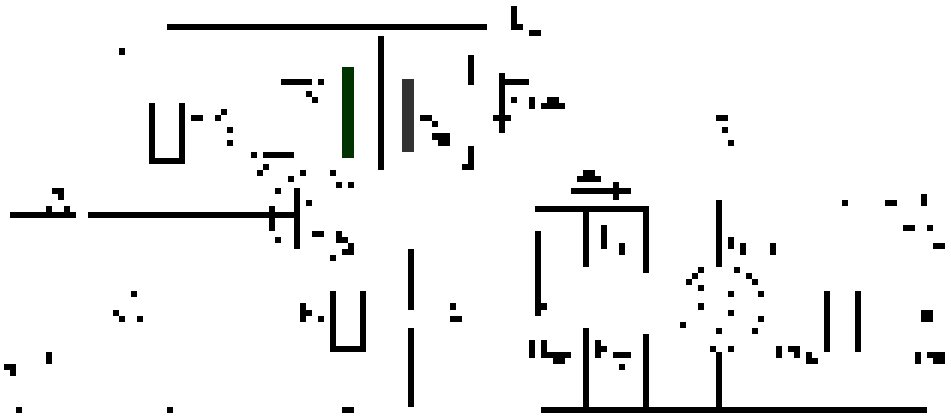


Рис. 8.1. Однотактный усилитель мощности (*а*)
и его упрощенная схема замещения (*б*)

В схеме усилителя элементы $R'_Б$, $R''_Б$, $R_Э$, $C_Э$ обеспечивают выбранный режим по постоянному току и его температурную стабилизацию. Трансформатор TV согласует сопротивление резистора нагрузки R_H с выходным сопротивлением транзисторного каскада $R_{ВЫХ}$ и формирует усиленные ток и напряжение, а также гальванически отделяет цепь нагрузки и цепи каскада. В схеме замещения резистор $R_{БР}$ – эквивалентное сопротивление делителя напряжения, обеспечиваюшего нужное смещение на базе транзистора; $R'_Н$ – эквивалентное сопротивление нагрузки: $R'_н = n^2 R_H$, где $n = W1/W2$ – коэффициент трасформации трасформатора TV; $W1$, $W2$ – числа витков первичной (коллекторной) и вторичной обмоток. Усилитель используется чаще всего в режиме А во избежание больших искажений. Недостаток схемы – завышенная мощность трансформатора из-за подмагничивания магнитного сердечника трансформатора постоянным током коллектора.

Двухтактный трансформаторный усилитель мощности. Усилитель состоит из двух симметричных плеч (рис. 8.2). Транзисторы VT1, VT2 подбирают с максимально близкими параметрами. Каждый из транзисторов работает противофазно. Входной трансформатор $TV_{ВХ}$ обеспечивает получение одинаковых по модулю, но противоположных по фазе входных напряжений. Выходной трансформатор $TV_{ВЫХ}$ суммирует переменные выходные токи и напряжения транзисторов. R_1, R_2 – делитель, обеспечивающий заданное положение рабочей точки (смещение) транзисторов. В этой схеме, в отличие от однотактной, отсутствует подмагничивание выходного трансформатора постоянным током. Это благоприятно сказывается на форме выходного сигнала и других показателях.

Особенно эффективен режим В, когда каждый из транзисторов участвует в формировании выходного напряжения только в течение одного полупериода. Транзисторы работают поочередно, образуя гармоническое выходное напряжение из двух полуволн.

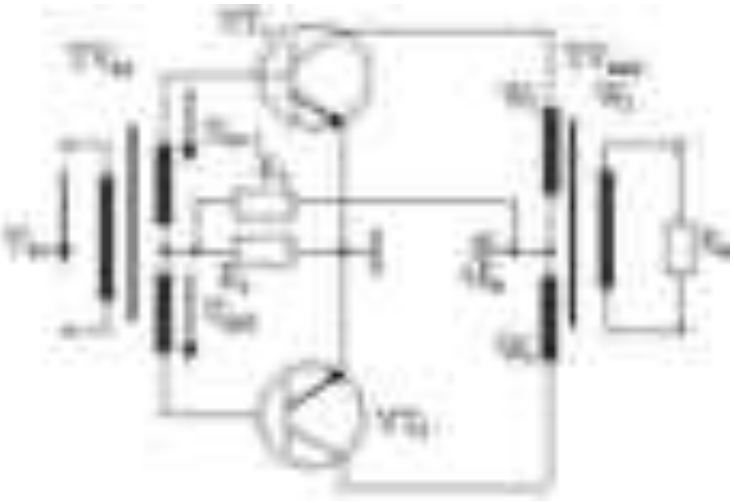


Рис. 8.2. Схема двухтактного
трансформаторного усилителя мощности

Основные достоинства схемы: гальваническое разделение входных и выходных цепей, высокий КПД. Недостаток – сложность, обусловленная необходимостью использования двух трёхобмоточных трансформаторов и трудность обеспечения симметрии в схеме.

8.2. Безтрансформаторные двухтактные усилители

Безтрансформаторные двухтактные усилители используются
в выходных каскадах электронных устройств. На схеме рис. 8.3 показан усилитель на двух одинаковых биполярных транзисторах.

Транзисторы управляются двумя противофазными сигналами U_{BX1}, U_{BX2}. В первом такте участвует, например,VT2, к базовой цепи которого приложено открывающее напряжение – полуволна U_{BX2}.
В этот полупериод транзистор VT1 будет закрыт положительной полуволной U_{BX1}. Во втором такте транзистором VT1 усиливается вторая полуволна входного тока, а VT2 будет закрыт.

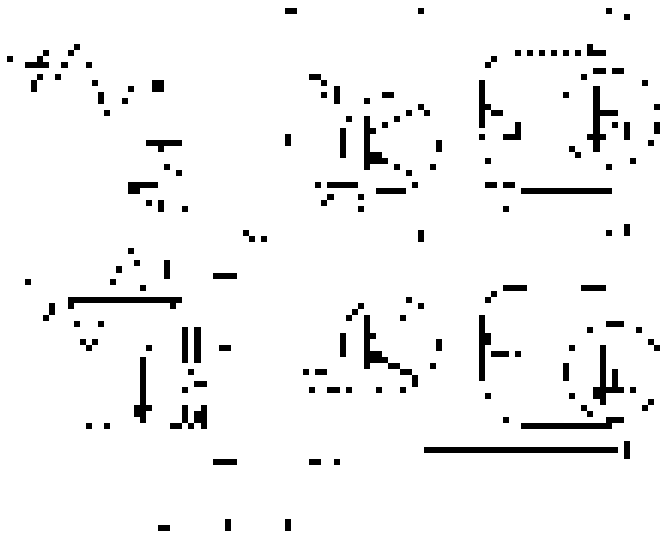


Рис. 8.3. Схема двухтактного безтрансформаторного усилителя с транзисторами одного типа проводимости

Вариант схемы двухтактного безтрансформаторного усилителя на транзисторах разного типа проводимости (на комплементарных транзисторах) показан на рис. 8.4.

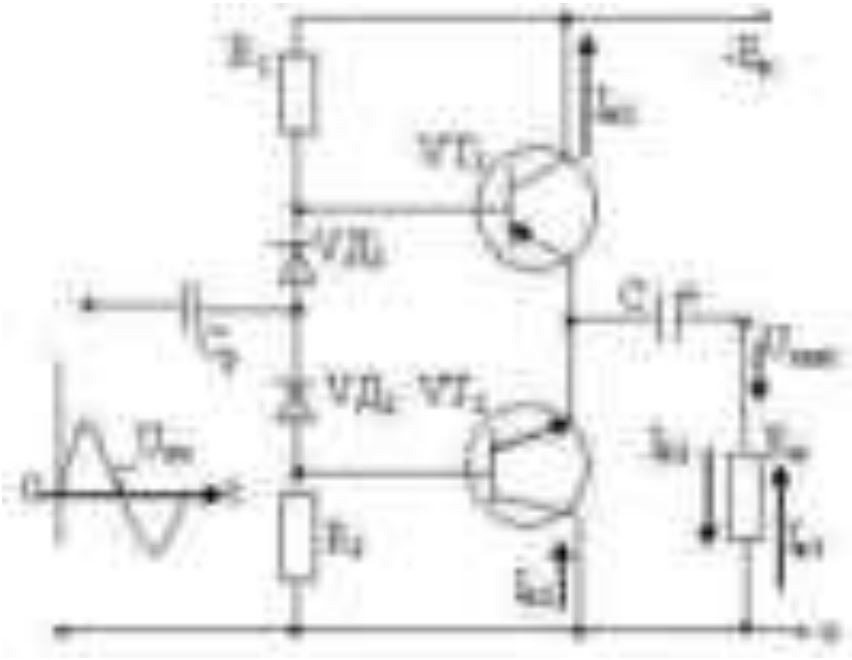


Рис. 8.4. Схема двухтактного усилителя с одним источником питания

В схеме нужен конденсатор *С* большой ёмкости, так как он заменяет источник питания в такте, когда транзистор VT1 закрыт. Транзисторы должны иметь идентичные характеристики. Эти условия ограничивают область применения такого усилителя.

8.3. Усилители постоянного тока

Усилители постоянного тока (УПТ) – это усилители, способные усиливать не только сигналы переменного тока, но и сигналы, медленно изменяющиеся во времени, т.е. сигналы,

эквивалентная частота которых практически равна нулю. АЧХ УПТ отличается от АЧХ усилителя переменных сигналов (рис. 8.5).

Связь источника сигнала со входом усилителя и междкаскадные связи в УТП не могут быть осуществлены посредством конденсаторов и трансформаторов подобно усилителям переменного тока.

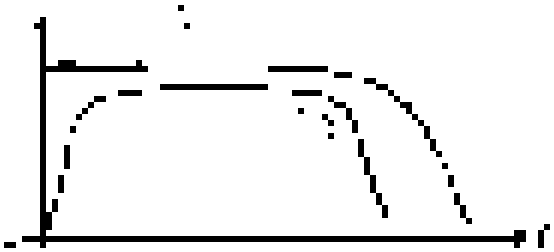


Рис. 8.5. Примерный вид АЧХ усилителя постоянного тока (*1*) и усилителя переменного тока (*2*)

В усилителях переменного тока связь входных и выходных цепей осуществляется резистивно-емкостными или трансформаторными цепями. Для передачи сигнала в УПТ по тракту усиления необходима непосредственная (с помощью проводников или резисторов) связь по постоянному току между усилительными каскадами и источником сигнала. В области высоких частот в УПТ сказываются паразитные емкостные и индуктивные связи, которые приводят к снижению коэффициента усиления в области высоких частот также, как и в усилителе переменного тока с резистивно-емкостными связями (рис. 8.5).

УПТ должны удовлетворять нескольким требованиям:

– при отсутствии входного сигнала должен отсутствовать выходной сигнал;

– при изменении знака входного сигнала должен изменяться знак и выходной сигнал;

– выходное напряжение должно быть пропорционально входному.

Усилители с непосредственной связью между каскадами. Непосредственная связь каскадов обусловливает особенности расчета их режима покоя (режима, при котором отсутствует входной сигнал).

В первую очередь необходимо из усиливаемого и выходного сигналов убрать постоянные составляющие, обеспечивающие исходный режим работы усилительного элемента. Это можно, например, осуществить компенсационным методом. Упрощенная схема каскада УПТ на одном транзисторе показана на рис. 8.6. Схема имеет, в основном, только теоретическое значение, на практике используются другие схемы, лишенные недостатков, присущих рассматриваемой.

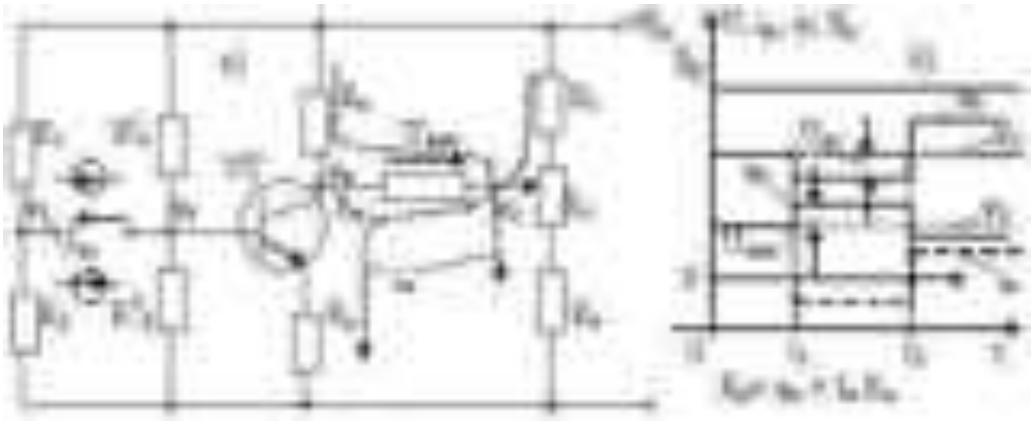


Рис. 8.6. Схема каскада УПТ с компенсацией постоянных составляющих (*а*) и диаграммы изменения сигналов (*б*):
φ_i – потенциалы в соответствующих точках;
$i_н$ – ток в сопротивлении нагрузки R_H;
$U_{ВХ}$ – входной (усиливаемый) сигнал, $U_{ВХ} = \varphi_1 - \varphi_б$; $U_{ВЫХ}$ – выходное напряжение, $U_{ВЫХ} = \varphi_к - \varphi_2$; R_5 – резистор настройки нулевого уровня выходного напряжения при отсутствии входного сигнала

В схеме отсутствуют конденсаторы внутрикаскадных связей, поэтому вид АЧХ соответствует таковому для УПТ (рис. 8.5).

Резистор $R_Э$ осуществляет температурную стабилизацию и расширяет полосу пропускания каскада за счёт создания отрицательной обратной связи по току нагрузки.

Сопротивление нагрузки R_H включено между коллектором и средней точкой делителя R_3, R_5, R_4. Входной сигнал (напряжение $U_{ВХ}$) подаётся между базой и средней точкой делителя R_1, R_2.

При отсутствии входного напряжения ($U_{ВХ} = 0$) и равенстве потенциалов в соответствующих точках ($\varphi_1 = \varphi_б$, $\varphi_к = \varphi_2$) ток в нагрузке отсутствует ($i_H = 0$). Для точной подстройки режима служит переменный резистор R_5. Если, например, на вход подать отрицательный сигнал (момент t_1 на рис. 8.6, *б*), ток базы транзистора уменьшится. Изменение тока базы вызывает соответствующее изменение тока коллектора, увеличивается потенциал $\varphi_к$, вызывая ток i_H в резисторе R_H. Если входной сигнал меняет знак (момент t_2) – ток коллектора увеличивается, потенциал $\varphi_к$ уменьшается, в резисторе R_H ток изменит направление. Таким образом, схема удовлетворяет требованиям, предъявляемым к УПТ.

Рассмотренная выше схема усилителя постоянного тока имеет следующие недостатки:

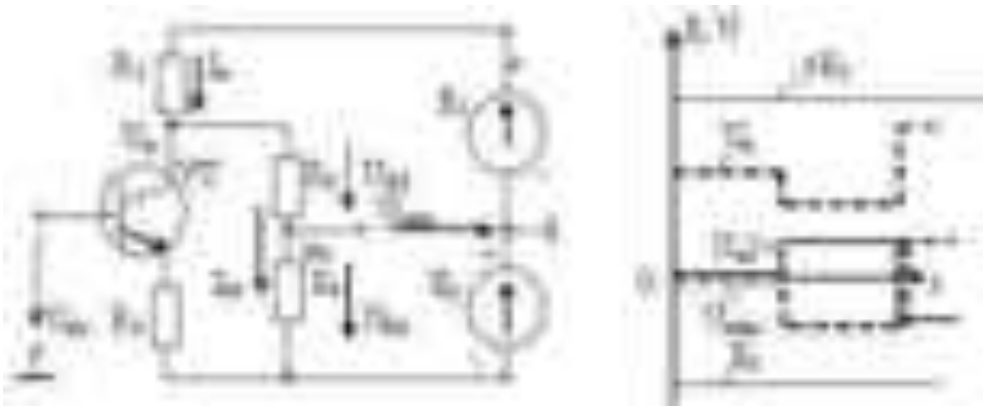
а) нагрузочный резистор не соединен с общей точкой схемы;

б) источник входного сигнала не соединен с общей точкой схемы;

в) требуется тщательная предварительная настройка исходного состояния и подстройка в процессе работы. Это создает неудобства при построении более сложных схем.

Названные недостатки можно частично устранить, если использовать не один, а два источника питания.

Упрощенная схема каскада УПТ представлена на рис. 8.7.



а *б*

Рис. 8.7. Упрощенная схема (*а*) и диаграммы (*б*) сигналов каскада УПТ с двумя источниками питания

Работу каскада УПТ (рис. 8.7) можно пояснить следующим образом.

В контуре U_K, E_2, R_4, R_3 справедливо уравнение:

$$U_{R3} + U_{R4} = U_к + E_2.$$

Потенциал средней точки φ_0 делителя R_3R_4 должен быть равен нулю в исходном состоянии схемы, для чего должно соблюдаться условие $I_{34}R_4 = E_2$. В этом случае $E_2 = U_{R4}$, а $U_{R3} = U_K$. Ток I_{34} выбирают из соотношения $I_{34} = (0{,}02 – 0{,}1)\ I_K$, т.е. значительно меньше тока коллектора, чтобы не нарушать режим работы транзистора, в этом случае $R_3 = U_K / I_{34}$, $R_4 = E_2 / I_{34}$.

При подаче, например, положительного входного напряжения U_{BX} возрастает ток базы, увеличивается ток коллектора I_K и падение напряжения R_1I_K, снижается напряжение коллектора U_K. Это приводит
к снижению потенциала средней точки φ_0 и появлению отрицательного выходного напряжения. Если $R_3 >> R_1$, $R_4 >> R_1$, (в этом случае можно пренебречь шунтирующим действием делителя R_3R_4) коэффициент усиления напряжения схемы можно приближённо определить по соотношению:

$$K = K_0\, R_4/(R_3 + R_4), \qquad (8.1)$$

где K_0 – коэффициент усиления напряжения усилителя с коллекторной нагрузкой без делителя R_3R_4.

Дрейф в УПТ (дрейф нуля). С течением времени в УПТ изменяются токи транзисторов и напряжения на их электродах, нарушается компенсация постоянных составляющих напряжений и на выходе УПТ появляется напряжение при отсутствии входного сигнала. Это явление называют дрейфом нуля.

УПТ должен усиливать напряжение вплоть до самых низких частот, поэтому всякое изменение постоянных составляющих напряжения из-за нестабильности источников питания, старения транзисторов, изменения температуры окружающей среды принципиально не отличается от полезного сигнала. Дрейф нуля можно наблюдать, если вход усилителя УПТ замкнуть накоротко, а на выходе включить милливольтметр. С течением времени на выходе появится напряжение дрейфа $U_{ВЫХ} = U_{ДР}$ (рис. 8.8).

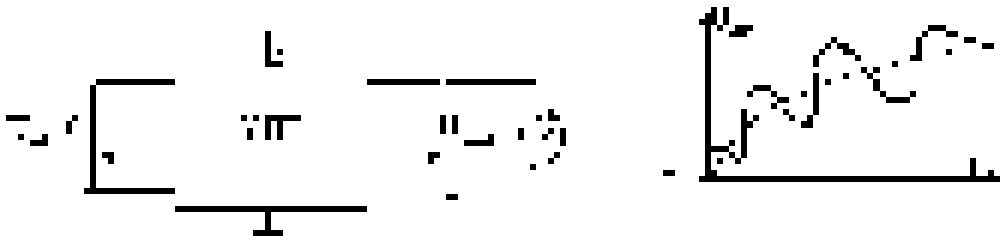


Рис. 8.8. Структурная схема для обнаружения дрейфа нуля и диаграмма изменения напряжения дрейфа после включения схемы

Если УПТ имеет коэффициент усиления по напряжению K, то величину дрейфа оценивают по выражению $U_{ДР} = U_{ВЫХ} / K$ при $U_{ВХ} = 0$ и называют дрейфом, приведенным к входу усилителя.

УПТ может правильно воспроизводить на выходе только те сигналы, которые значительно превышают напряжение дрейфа, т.е. при $U_{ВХ} >> U_{ДР}$, поэтому $U_{ДР}$ определяет чувствительность усилителя по входу. Напряжение дрейфа условно можно разделить на две составляющие: монотонно изменяющаяся и переменная составляющие (медленный и быстрый дрейф).

Первая обусловлена изменением характеристик транзисторов, вторая – колебаниями напряжения источника питания, температуры
и т.п.

Борьбу с дрейфом осуществляют различными способами, главные из них:

– стабилизация напряжения источников питания;

– стабилизация температурного режима;

– подбор и тренировка транзисторов;

– преобразование усиливаемого сигнала;

– использование дифференциальных (балансных) схем УПТ.

Например, при стабилизации напряжения питания с точностью ±0,01 %, температурной стабилизации ±1 ^{0}C удается снизить дрейф усилителя до $U_{ДР\,ВЫХ} \approx (5 – 20)$ мВ.

8.4. Дифференциальный усилитель

Одним из эффективных способов борьбы с дрейфом нуля является использование дифференциальных схем усиления сигналов постоянного тока [8]. Дифференциальный усилитель (ДУ) – это устройство, усиливающее разность двух напряжений. В идеальном ДУ выходное напряжение должно быть пропорционально разности абсолютных величин этих напряжений. Входные и выходные напряжения определяются относительно общей точки схемы, являющейся также общей точкой двух последовательно включенных источников питания (рис. 8.9).

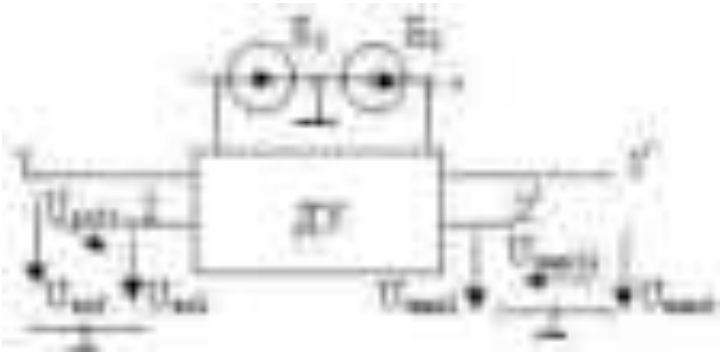


Рис. 8.9. Структурная схема дифференциального усилителя

Коэффициент усиления ДУ определяется как отношение разности выходных (усиленных) сигналов к разности входных сигналов:

$$K_P = (U_{ВЫХ1} - U_{ВЫХ2}) / (U_{ВХ1} - U_{ВХ2}) = U_{ВЫХ12} / U_{ВХ12}. \qquad (8.2)$$

В реальном ДУ коэффициент усиления (передачи) напряжения K_P зависит не только от разности, но и от суммы напряжений. Это выражается в том, что выходное напряжение ДУ определяется по двум коэффициентам передачи входных сигналов:

$$U_{ВЫХ12} = U_{ВЫХ1} - U_{ВЫХ2},$$
$$U_{ВЫХ12} = K_P(U_{ВХ1} - U_{ВХ2}) \pm K_C\,(U_{ВХ1} + U_{ВХ2}) / 2, \qquad (8.3)$$

где K_P – коэффициент усиления разностного напряжения;

K_C – коэффициент передачи суммы входных сигналов. Полусумму входных сигналов $(U_{ВХ1} + U_{ВХ2}) / 2$ называют синфазным сигналом. С учетом приведенных соотношений можно дать определение коэффициента передачи синфазного сигнала, полагая $(U_{ВХ1} - U_{ВХ2}) = 0$:

$$K_C = 2\,(U_{ВЫХ1} - U_{ВЫХ2})_{СФ} / (U_{ВХ1} + U_{ВХ2}). \qquad (8.4)$$

Коэффициент передачи синфазного сигнала есть отношение напряжения на выходе к синфазному входному напряжению при разностном напряжении на входе, равном нулю. Качество ДУ оценивается коэффициентом ослабления синфазного сигнала:

$$K_{ОЛСФ} = K_P / K_C. \qquad (8.5)$$

С учетом (8.5) выходное напряжение будет определяться соотношением:

$$U_{ВЫХ12} = K_P[(U_{ВХ1} - U_{ВХ2}) \pm (U_{ВХ1} + U_{ВХ2}) / 2K_{ОЛСФ}]. \qquad (8.6)$$

У «хороших» ДУ обычно $K_{ОЛСФ}$ = (80 – 120) дБ.

Относительную погрешность усиления разности напряжений можно найти по выражению:

$$\delta = 2(U_{ВХ1} + U_{ВХ2}) / [K_{ОЛСФ}\,(U_{ВХ1} - U_{ВХ2})]. \qquad (8.7)$$

Выражение (8.7) показывает, что δ тем меньше, чем больше $K_{ОЛСФ}$.

Принципы построения дифференциальных усилительных каскадов. ДУ построены по принципу 4-плечевого измерительного моста (рис. 8.10).

Рис. 8.10. Схема 4-плечевого измерительного моста

Мост сбалансирован (находится в равновесии), если $R_1R_3 = R_2R_4$, при этом $U_{ВЫХ} = 0$. Изменение напряжения питания E_K и пропорциональное изменение резисторов не нарушает равновесия в схеме.

Схема дифференциального усилителя показана на рис. 8.11, в ней вместо резисторов моста используются транзисторы.

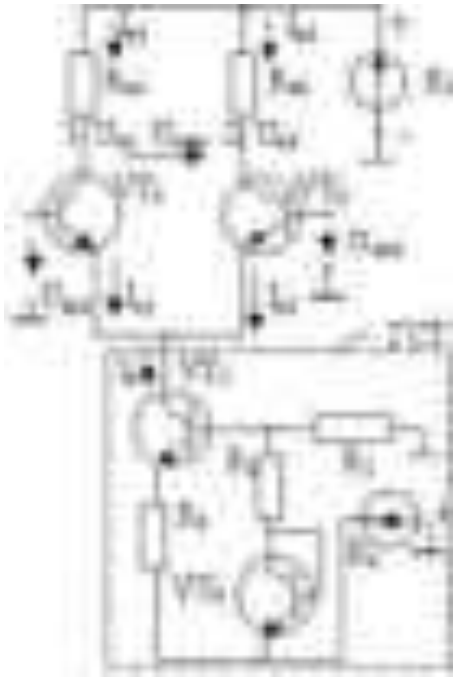


Рис. 8.11. Схема ДУ с транзисторами
в плечах равновесного моста

Стабильность работы ДУ достигается не только использованием свойств равновесного моста, но и обеспечением стабильности тока $I_Э$, протекающего в цепях источников питания. Величина этого тока определяется параметрами схемы, называемой генератором стабильного тока (ГСТ). В неё входят транзисторы VT_3, VT_4, резисторы R_1, R_2, R_3 и источник E_2. Равновесный мост образуют резисторы $R_{K1} = R_{K2}$, идентичные транзисторы VT_1, VT_2. Если $E_1 = E_2$, то $I_{Э1} = I_{Э2} = I_Э/2$. Если $U_{ВХ1} = U_{ВХ2}$, то $U_{К1} = U_{К2} = E_1 – I_ЭR_К/2$, $U_{ВЫХ} = 0$. Это будет, в частности, и при $U_{ВХ1} = U_{ВХ2} = 0$, т.е. когда входы ДУ соединены с общей точкой схемы.

Наличие симметрии в схеме 4-плечевого моста с транзисторами – обязательное условие правильной работы схемы, поэтому характеристики используемых транзисторов должны быть идентичны.

Высокая стабильность ДУ (нечувствительность к дрейфу нуля) обеспечивается тем, что изменения параметров идентичных элементов происходят в одну сторону и при вычитании на выходе не проявляются.

Например, при изменении температуры напряжения U_{K1} и U_{K2} изменяются одинаково, и в выходном разностном сигнале $U_{ВЫХ}$ это изменение практически не ощущается.

Входных сигналов не обязательно должно быть два. В частности, один из сигналов может быть равен нулю. Входы называют дифференциальными, причем один из входов называют *инвертирующим,*
а другой *неинвертирующим*. Для определения аналитических соотношений изобразим упрощённую схему ДУ (рис. 8.12).

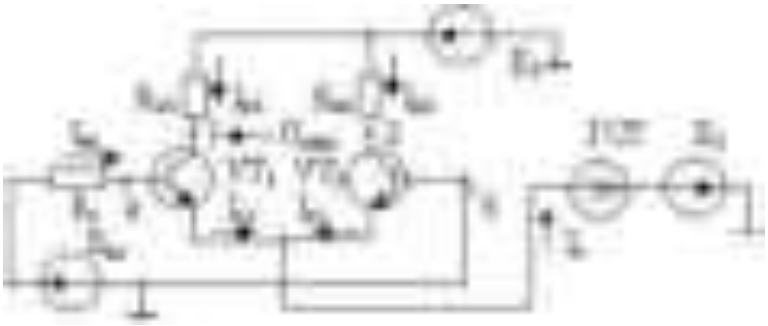


Рис. 8.12. Упрощённая схема ДУ

Можно заметить, что если подать входной сигнал E_{BX} на базу VT_1, то коллекторное напряжение в точке 1 (U_{K1}) с увеличением E_{BX} уменьшается, т.е. инвертируется. При этом коллекторное напряжение в точке 2 (U_{K2}) с увеличением E_{BX} тоже увеличивается, т.е. не инвертируется.

Поэтому вход *а* называют инвертирующим; *б* – не инвертирующим. При этом выходное напряжение:

$$U_{ВЫХ} = U_{K2} - U_{K1} = 2\Delta U_K, \qquad (8.8)$$

где ΔU_K – величина изменения каждого коллекторного напряжения.

Интересно, что если, например, $I_{Э2} = 0$ (обрыв цепи эмиттера VT_2), то $I_{Э1} \approx I_{K1} \approx I_Э$, $U_{K1} = E_1 - I_{Э1} R_{K1}$, $U_{K2} = E_1$, $U_{ВЫХ} = I_Э R_{K1} =$
$=$ Const.

Схема теряет способность усиления входного сигнала. С изменением полярности входного сигнала или при подаче входного сигнала на базовую цепь транзистора VT_2 процессы протекают аналогично.

Расчет коэффициента усиления по напряжению для дифференциального каскада. Для упрощения будем считать, что входные сопротивления каскада по каждому входу транзисторов VT_1,
VT_2 (рис. 8.12) одинаковы, а $R_H = \infty$ (режим XX), тогда
$I_{BX} = E_{BX}/(R_Г + R_{BX1} + R_{BX2}) \approx E_{BX} / (R_Г + 2\ h_{11Э})$, где Rr – внутреннее сопротивление источника входного сигнала E_{BX}. Входные токи создают приращения коллекторных токов $\pm\Delta I_K = \pm I_{BX} h_{21Э}$. Приращения токов вызывают приращения коллекторных напряжений:

$$\pm\Delta U_K = \pm\Delta I_K R_к = \pm h_{21Э} I_{BX} R_K.$$

Коэффициент усиления по напряжению здесь удобнее определить по соотношению: $K_{UXX}=(U_{K1} - U_{K2})/E_{BX}$ или $K_{UXX}=2\Delta U_K/E_{BX}$. После подстановки имеем

$$K_{UXX} = 2\ h_{21Э} \cdot R_K / (R_Г + 2h_{11Э}). \qquad (8.9)$$

Если учесть сопротивление нагрузки, то:

$$K_{UH} = 2h_{21Э} \cdot (R_K \,||\, R_H) / (R_Г + 2h_{11Э}).$$

Если $R_Г \to 0$, а $R_H \to \infty$, то

$$K_{UД} = h_{21Э} \cdot R_K / h_{11Э}, \qquad (8.10)$$

где $K_{UД}$ – коэффициент усиления каскада при указанных условиях.

В случае, когда подаются оба сигнала и подаваемые входные напряжения разнополярны, то

$$U_{ВЫХ} = K_{UД} \cdot [U_{ВХ1} - (-U_{ВХ2})] = K_{UД} (U_{ВХ1} + U_{ВХ2}). \qquad (8.11)$$

Если подаваемые входные напряжения однополярны (синфазны), то

$$U_{ВЫХ} = K_{UД} (U_{ВХ1} - U_{ВХ2}). \qquad (8.12)$$

8.5. Некоторые схемные решения, используемые в усилителях

С целью улучшения свойств ДУ используют решения, которые часто встречаются в схемах усилительных каскадов интегральных элементов. Одно из таких решений – генератор стабильного тока, схема которого показана на рис. 8.13.

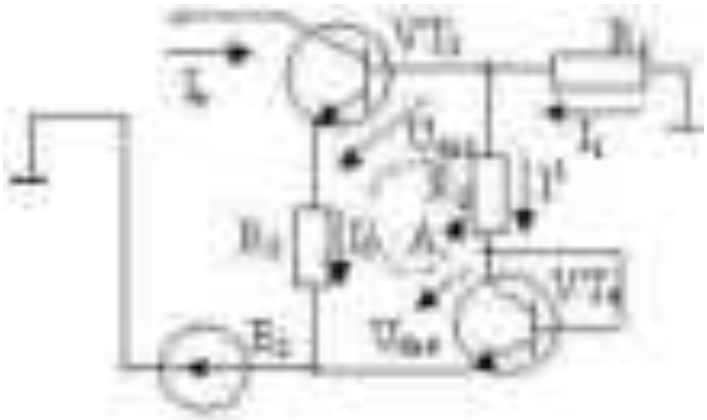


Рис. 8.13. Расчетная схема ГСТ

Для определения свойств ГСТ используем уравнение баланса напряжений в контуре А: $U_{БЭ3}+I_3R_3 = I_1R_2+U_{БЭ4}$. Током, ответвляющимся в базу VT_3, пренебрегаем. В этом случае $I_1=I^{l}$, а входной ток $I_Э$ равен току I_3. Определим величину тока $I_Э$:

$$I_Э = [I_1R_2+(U_{БЭ4} - U_{БЭ3})]/R_3. \qquad (8.13)$$

Если $U_{БЭ3} = U_{БЭ4}$, то $I_Э = I_1R_2/R_3 = [E_2/(R_1+R_2)]\, R_2/R_3$. (8.14)

Если E_2 стабильно и R_1, R_2, R_3 – точные, то $I_Э$ = Const независимо от сопротивления той части схемы ДУ, откуда он вытекает (но обязательно при её наличии).

Схемное решение ГСТ, называемое «токовое зеркало» представлено на рис. 8.14.

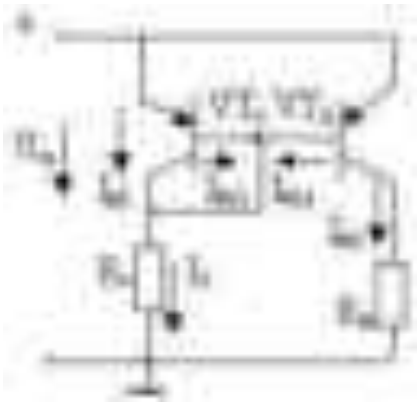


Рис. 8.14. Схема «токовое зеркало»

Для схемы справедливы уравнения:

$$I_1 = I_{K1}+I_{Б31}+I_{Б32} = (1+h_{21,1})I_{Б31}+I_{Б32}\ ;\ I_{K2} = h_{21,2}\, I_{Б32},$$

$$I_{K1}/I_{K2} = [(1+h_{21,1})I_{Б31}+I_{Б32}] / h_{21,2}\, I_{Б32}. \qquad (8.15)$$

Если $I_{Б31} = I_{Б32}$, что может быть лишь при идентичных транзисторах, $h_{21,1}=h_{21,2}>>1$, то $I_{K2}=I_1(h_{21,1}+2)/h_{21,2}=I_1(1+2/h_{21,2})$, т.е. ток I_{K2} приближённо равен I_1.

Ток в цепи резистора R_3 определяется напряжением $U_П$:
$I_1 = (U_П–U_{БЭ}) / R_3$, а ток I_{K2} практически не зависит от сопротивления резистора R_H (это свойство генератора тока). Равенство $I_1 = I_{K2}$ определило название схемы – «токовое зеркало». На транзисторах с проводимостью типа *n–p–n*-схема «токовое зеркало» будет иметь вид, показанный на рис. 8.15.

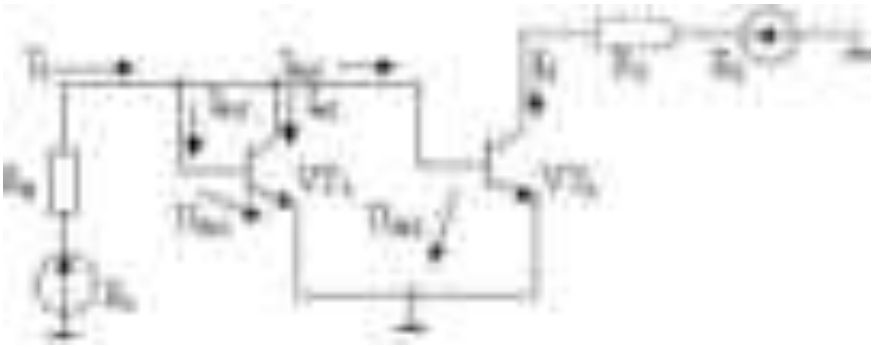


Рис. 8.15. «Токовое зеркало» на транзисторах *n–p–n*

Для схемы справедливы уравнения: $I_{K1} = h_{21}\, I_{Б31}$; $I_1 = I_{K1} + 2I_{Б31}$, так как $I_{Б31} = I_{Б32}$, потому что $U_{БЭ1} = U_{ЭБ2}$; $I_2 = h_{21}\, I_{Б32} = h_{21}\, I_{Б31}$; $I_1 = (E_1 – U_{БЭ1})/R_H$.

Определяем отношение токов, подставляя их значения:

$$I_2 / I_1 = h_{21}\cdot I_{Б31} / (I_{K1} + 2I_{Б31}) = h_{21} / (2 + h_{21}) \approx 1. \qquad (8.16)$$

При достаточно больших значениях R_H, h_{21} и E_1 получим $I_2 = I_1 \equiv E_1 /R_H$, что соответствует свойству «токового зеркала». Улучшенный вариант схемы (рис. 8.14) представлен на рис. 8.16.

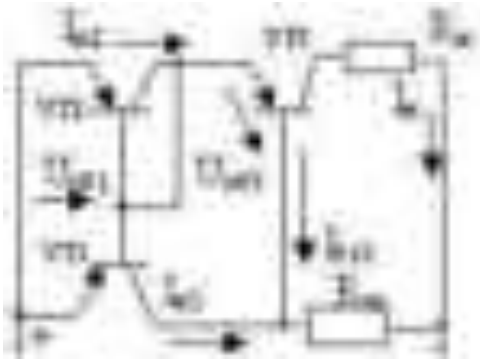


Рис. 8.16. Улучшенный вариант «токового зеркала»

Здесь выполняется соотношение: $I_H = I_{K2} + I_{Б31} + I_{Б32} – I_{Б33}$. Если $R_{ЗД} >> R_H$, а транзисторы работают в линейном режиме и $I_{Б31} << I_{K1}$, то $I_{K2} = I_{K1}$, ток нагрузки I_H практически не зависит от сопротивления R_H.

«Токовое зеркало» – динамическая нагрузка ДУ. Рассмотрим схему дифференциального каскада, в которой вместо резисторов нагрузки включены транзисторы по схеме «токовое зеркало» (рис. 8.17). Такое включение называют динамической нагрузкой.

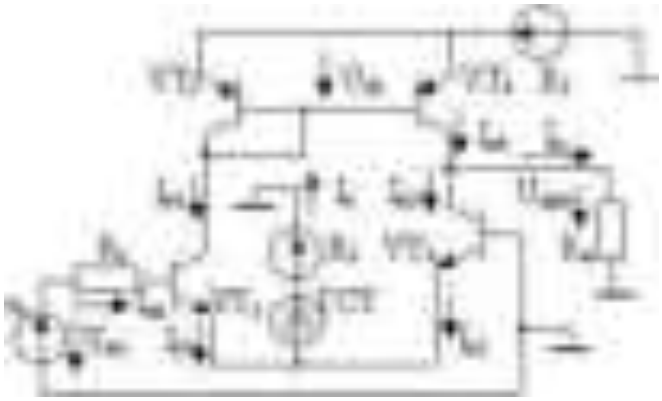


Рис. 8.17. Схема ДУ с динамической нагрузкой

По свойству «токового зеркала» при идентичности параметров транзисторов в схеме соблюдается равенство $I_{K1} = I_{K4}$. Ток в нагрузке (резисторе R_H) определяется соотношением $I_H = I_{K4} – I_{K2}$.

В режиме покоя ($e_Г = 0$, $U_{ВХ} = 0$) для дифференциальной схемы справедливо следующее соотношение токов:

$$I_{K1} = I_{K4} = I_{K2} = I_{Э1} = I_{Э2} = I_Э/2.$$

Если на вход подаётся усиливаемый сигнал ($e_Г \neq 0$), создающий ток $I_{ВХ}$ в базовых цепях входных транзисторов, например, показанного на схеме направления, то в коллекторных токах появляются приращения: $I_{K1} = I_Э / 2 + h_{21}\, I_{ВХ}$; $I_{K2} = I_Э / 2 – h_{21}\, I_{ВХ}$.

Учитывая, что $I_{K1} = I_{K4}$, получим выражения для выходных величин:

$$I_H = I_{K4} – I_{K2} = 2\, h_{21} \cdot I_{ВХ};\; U_{ВЫХ} = 2\, h_{21} \cdot I_{ВХ}\, R_H. \qquad (8.17)$$

Если изменится полярность входного тока, изменится знак $U_{ВЫХ}$. Коэффициент усиления напряжения определится соотношением:

$$K_U = U_{ВЫХ} / e_Г = 2\ h_{21}\ R_H / (R_Г + 2\ h_{11}). \qquad (8.18)$$

Выражение (8.18) показывает, что коэффициент усиления схемы K_U пропорционален сопротивлению резистора нагрузки $R_н$.

Составные транзисторы. В усилительных схемах, в том числе и дифференциальных, часто используются так называемые составные транзисторы, представляющие собой два или более транзистора, которые собраны в схему, имеющую три вывода и работающую как отдельный транзистор. Простейшие схемы составных транзисторов представлены на рис. 8.18.

Рис. 8.18. Схемы составных транзисторов

Схема рис. 8.18, *а* имеет следующие значения *h*-параметров: $h_{11}=h_{11Э1}+h_{11Э2}(1+h_{21Э1})$; $h_{21}=h_{21Э1}+h_{21Э2}(1+h_{21Э1})$; $h_{12}=h_{12Э1}$; $h_{22}=h_{22Э2}$. Схема имеет большое входное сопротивление и большой коэффициент усиления базового тока.

В схеме рис. 8.18, *б*, называемой каскодной, $h_{11}=h_{11Э1}$; $h_{12}=h_{12Э1}h_{12Э2}$; $h_{22}=h_{22Б2}$; $h_{21}=h_{21Э1}h_{21Б2}\approx h_{21Э1}$. Эта схема имеет $h_{12}\approx 0$, поэтому обладает улучшенными частотными свойствами и расширенной полосой пропускания.

9. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

9.1. Общие сведения

Операционный усилитель (ОУ) – это усилитель постоянного тока, имеющий большой коэффициент усиления в широком диапазоне частот (от 0 до десятков МГц), выполненный по интегральной технологии. ОУ позволяет реализовать усилительные устройства, приближающиеся по свойствам к идеальным усилителям, и поэтому относится к универсальным электронным схемам, на основе которых строят разнообразные функциональные узлы.

Из теории усилителей известно, что при достаточно большом собственном коэффициенте усиления усилительного элемента свойства усилительного каскада, охваченного цепями внешних обратных связей, определяются свойствами этих связей [21]. На основе ОУ выбором элементов цепей обратных связей можно обеспечить выполнение различных математических операций с аналоговыми сигналами: сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование, логарифмирование, усреднение и др.

Особенности схемотехники ОУ определяются тем, что в его схеме используются лучшие схемные решения усилительных устройств: на входе ОУ – дифференциальный усилительный каскад, используются динамические нагрузки, схемы источников тока, токовое зеркало, эмиттерные повторители на выходе (рис. 9.1).

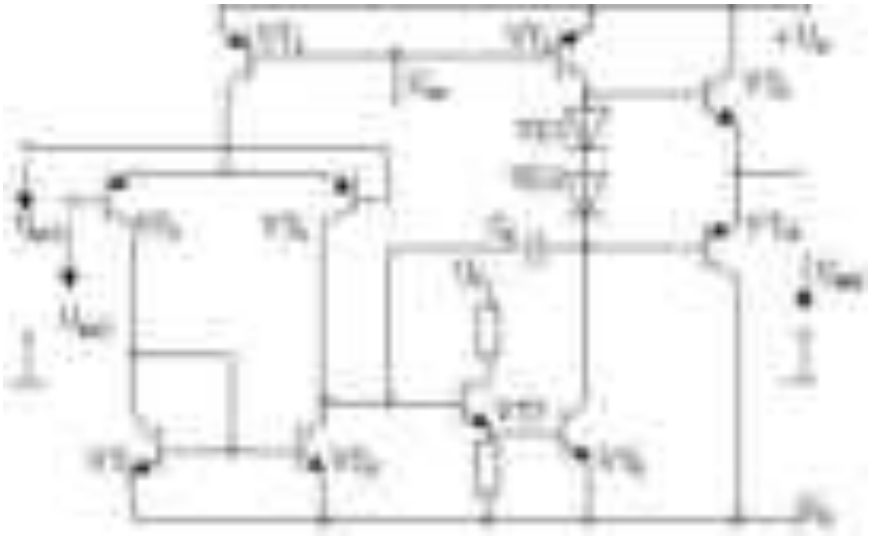


Рис. 9.1. Упрощенная структурная схема ОУ (пример)

В схемах ОУ изображают либо прямоугольником, либо треугольником с указанием входов и выхода, как показано на рис. 9.2.

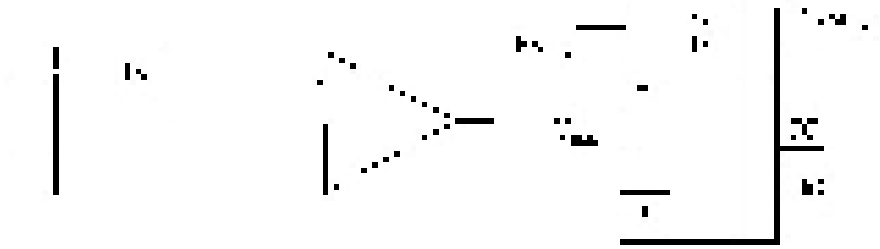


Рис. 9.2. Варианты условных графических изображений ОУ:
FC – выводы для частотной коррекции; NC – выводы для коррекции нуля

Характерной особенностью ОУ является то, что входные сигналы подаются относительно одной общей для входа и выхода точки (шины), которая непосредственно связана с общей точкой двух последовательно соединенных источников питания. Эта точка может не выводиться из корпуса микросхемы, а образована внешними цепями. ОУ имеет два входа, один из которых называется *инвертирующим*,
а другой *неинвертирующим* (инвертирующий вход помечают кружком). Часто эти входы называют соответственно *инверсным* и *прямым*. Выводы для коррекции у современных ОУ могут отсутствовать.

9.2. Идеальный операционный усилитель

Основные принципы работы устройств, построенных на основе ОУ, базируются на понятии «идеальный ОУ», т.е. виртуальный ОУ, для которого приняты следующие допущения: собственный коэффициент усиления $K = \infty$, входное сопротивление $R_{BX} = \infty$, выходное сопротивление $R_{вых} = 0$, полоса пропускания $\Delta f = (0 - \infty)$ Гц, отсутствуют дрейф и шумы (при $U_{BX} = 0$, $U_{ВЫХ} = 0$) [6].

С учетом принятых допущений найдем основное уравнение для идеального ОУ. Для этого составим систему уравнений для схемы, показанной на рис. 9.3.

Примем разность потенциалов между входами равной нулю, тогда:

$$U_{BX1} - U_{BX2} - I_1 Z_1 = 0;$$
$$U_{BX1} - U_{ВЫХ} - I_2 Z_2 - I_1 Z_1 = 0;$$
$$I_1 = (U_{BX1} - U_{BX2})/Z_1.$$

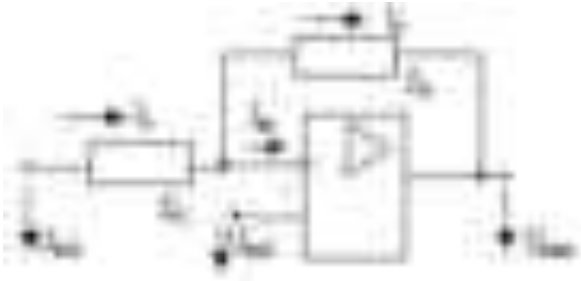


Рис. 9.3. Расчетная схема для идеального ОУ

Учитывая, что $I_1 = I_2$, получим:

$$U_{ВЫХ} = -U_{ВХ1}\, Z_2 / Z_1 + U_{ВХ2}\,(1 + Z_2 / Z_1). \qquad (9.1)$$

Уравнение (9.1) позволяет получить соотношения между входными и выходным сигналами для частных случаев:

а) $U_{ВХ1} = 0$, $U_{ВЫХ} = U_{ВХ2}\,(1 + Z_2 / Z_1)$ – неинвертирующее включение ОУ (рис. 9.4, *а*);

б) $U_{ВХ2} = 0$, $U_{ВЫХ} = -U_{ВХ1}\, Z_2 / Z_1$ – инвертирующее включение ОУ (рис. 9.4, *б*);

в) $Z_2 = 0$, $U_{ВЫХ} = U_{ВХ2}$ – ОУ включен по схеме повторителя напряжения (рис. 9.4, *в*).

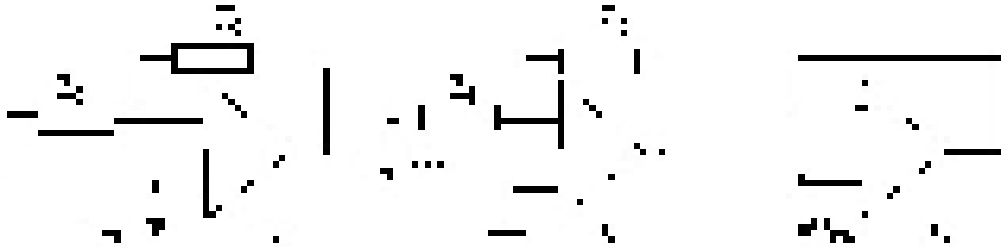


Рис. 9.4. Варианты включения ОУ:
а – неинвертирующее включение; *б* – инвертирующее включение;
в – повторитель напряжения

Выбирая различные виды входных элементов и обратных связей ОУ, можно строить различные функциональные узлы. Широко распространены сумматоры (вычитатели) аналоговых сигналов, интеграторы, дифференциаторы и др. Структурные схемы таких устройств показаны на рис. 9.5.

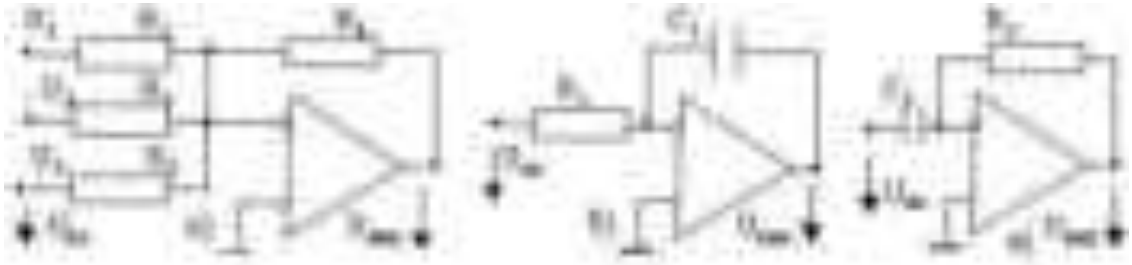


Рис. 9.5. Функциональные узлы, построенные на ОУ:
а – сумматор (вычитатель) напряжений; *б* – интегратор входного напряжения;
в – дифференциатор входного напряжения

Уравнения, связывающие входные и выходные напряжения для схем (рис. 9.5) имеют следующий вид:

Схема (а): $U_{ВЫХ} = -R_4\,[(U_1 / R_1) - (U_2 / R_2) + (U_3 / R_3)]$.

Схема (б): $U_{ВЫХ} = -1/T_И \int U_{ВХ} dt$,

где $T_И$ – постоянная времени интегрирования, $T_И = R_1 C_1$.

Схема (в): $U_{ВЫХ} = -T_Д\, dU_{ВХ}/dt$,

где $T_Д$ – постоянная времени дифференцирования, $T_Д = R_2 C_1$.

Уравнения, характеризующие свойства схем с ОУ, охваченными различного рода цепями обратных связей, имеют несложный вид только в том случае, если принимается предположение, что ОУ идеален.

В практических уточняющих расчетах схем с применением ОУ часто используют схемную модель ОУ (схему замещения), в которой можно учесть реальные входные и выходные сопротивления ОУ, влияние величины и несимметрии входных токов, напряжение смещения нуля. Один из простых вариантов схемы замещения ОУ [6] показан на рис. 9.6.

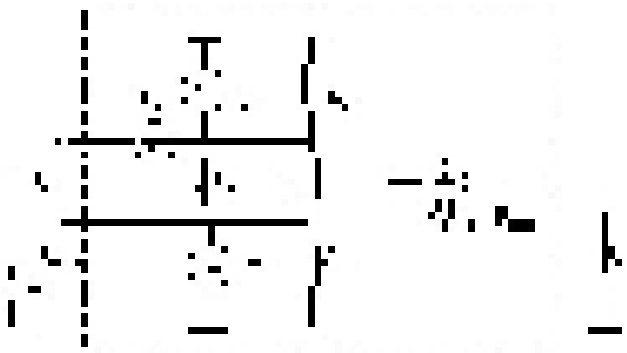


Рис. 9.6. Схема замещения ОУ для малых сигналов (вариант)

В схеме замещения обозначено: $U_Д$ – дифференциальное напряжение, которое усиливается в схеме, причем $U_Д = U_{ВХ1} – U_{ВХ2} + U_{СМ}$; $R_Д$ – дифференциальное входное сопротивление; K_U – собственный коэффициент усиления; $U_{СМ}$ – напряжение смещения входа. Наличие входных токов по каждому входу имитируется двумя источниками тока $I_{ВХ–}$, $I_{ВХ+}$.

9.3. Основные параметры и характеристики операционных усилителей

Реальный ОУ описывается большим числом параметров и характеристик, некоторые из которых являются входными, некоторые – выходными, другие характеризуют передачу сигнала операционным усилителем. Основные параметры и характеристики реального ОУ:

1. Напряжение смещения нуля $U_{СМ}$ – это напряжение на выходе ОУ при нулевом входном сигнале, деленное на коэффициент усиления:

$$U_{СМ} = U_{ВЫХ} / K, \quad U_{ВХ} = 0.$$

2. Входные токи обусловлены конечным значением входных сопротивлений ОУ. Входные токи ОУ обеспечивают нормальную работу входного дифференциального каскада. Если этот каскад выполнен на полевых транзисторах, то входные токи столь малы, что сравнимы с токами различных утечек. Однако если источники входного сигнала, подключенные к входам ОУ, имеют разные внутренние сопротивления, то между входами образуется нежелательная разность потенциалов, которая после усиления появится на выходе. Поэтому резисторы, подключаемые к входам ОУ, следует по возможности выбирать с одинаковыми сопротивлениями.

3. Разность входных токов образуется по приведенным в п. 2 причинам и может иметь любой знак.

4. Входные сопротивления: дифференциальное и синфазное.

Дифференциальное входное сопротивление – это полное входное сопротивление со стороны любого входа при условии, что второй вход соединен с общим выводом схемы. Значение этого сопротивления – от десятков кОм до сотен мОм. Входное синфазное сопротивление характеризует изменение среднего входного тока при приложении к входам ОУ синфазного напряжения. Синфазное сопротивление на несколько порядков выше сопротивления для дифференциального сигнала.

5. Коэффициент ослабления синфазного сигнала – это отношение напряжения синфазного (поданного на оба входа одновременно) сигнала к дифференциальному входному на-

пряжению, которое обеспечило бы на выходе такой же сигнал, как и в случае подачи синфазного напряжения:

$$K_{ОЛСФ} = U_{ВХ\,СФ}/U_{ВХ\,ДИФ}, \text{ при } U_{ВЫХ\,СФ} = U_{ВЫХ\,ДИФ}.$$

Так как $U_{ВЫХ} = K\,(U_{ВХ\,ДИФ} + U_{ВХ\,СФ}/K_{ОЛСФ})$, то ясно, что $K_{ОЛСФ}$ характеризует диапазон синфазного напряжения, при котором работа ОУ не нарушается.

6. Температурные дрейфы: по напряжению – $U_{СМ}$/°С, по току – $I_{ВХ}$/°С важны для особо точных (прецизионных) ОУ, оцениваются в мкВ/°С и в нА/°С.

7. Напряжение шумов, приведенное к входу, – это действующее значение $U_{ВЫХ}$ при нулевом входном сигнале и нулевом внутреннем сопротивлении источника сигнала, деленное на коэффициент усиления ОУ: $U_{Ш\,ВХ} = U_{Ш\,ВЫХ}/K$.

Шумы оценивают в определенной полосе частот входного сигнала, поэтому размерность оценки шума имеет вид: $\text{нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Иногда в технических данных ОУ приводят значение коэффициента шума в дБ, как отношение мощностей приведенного шума ОУ к мощности шума внутреннего сопротивления источника, с помощью которого измеряют шумовые характеристики.

8. Коэффициент влияния нестабильности источника питания – это отношение приведенного к входу изменения выходного напряжения ОУ к вызвавшему его изменению питающего напряжения:

$$K_в = \Delta\, U_{СМ}/\Delta U_{ПИТ}, \text{ мкВ/В}.$$

9. Выходное сопротивление – это измеренное со стороны выходного зажима ОУ активное сопротивление.

10. Выходное напряжение и выходной максимально допустимый ток – параметры, указывающиеся при определенной (допустимой) величине сопротивления нагрузки.

11. Коэффициент усиления по напряжению K_U.

12. Частота единичного усиления f_1 – это частота входного сигнала, при которой модуль коэффициента усиления ОУ равен 1. Часто указывают граничную частоту, под ней подразумевается частота, до которой ОУ обеспечивает гарантируемое значение коэффициента усиления.

13. Допустимая скорость нарастания напряжения – это максимальная скорость изменения выходного напряжения при максимальном значении его амплитуды, В/мкс.

14. Время установления выходного сигнала – время, за которое выходной сигнал нарастает от 0,1 до 0,9 амплитудного значения.

15. Время восстановления – время возврата из режима насыщения.

16. Амплитудная характеристика представляет собой зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного сигнала. Согласно такому определению ОУ будет иметь две характеристики: для инвертирующего и неинвертирующего входов. Вид характеристик представлен на рис. 9.7.

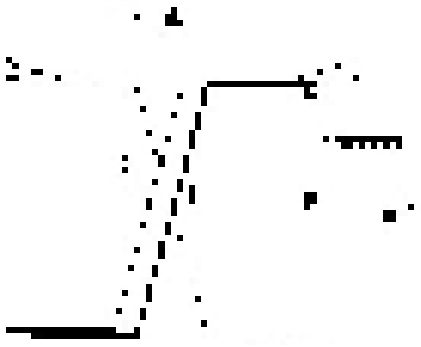


Рис. 9.7. Амплитудные характеристики ОУ:
1 – по неинвертирующему входу, *2* – по инвертирующему входу,
3 – по неинвертирующему входу при наличии смещения нуля

Следует учитывать, что масштабы напряжений имеют разные значения: по горизонтальной оси – милливольты, по вертикальной оси – вольты, а также то, что в ОУ максимальное $U_{ВЫХ}$ не может превышать напряжение источника питания.

17. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ). АЧХ показывает зависимость коэффициента усиления ОУ от частоты входного сигнала. ФЧХ показывает зависимость угла сдвига фаз входного и выходного сигналов от частоты входного сигнала. Наличие указанных характеристик обусловлено тем, что в схеме ОУ всегда имеются паразитные емкости и индуктивности, вносящие сдвиги фаз в сигналы в процессе их усиления. При этом с ростом частоты коэффициент усиления падает, а фазовый сдвиг увеличивается. Если фазовый сдвиг достигает значения 2π, то отрицатель- ная обратная связь превращается в положительную, усилитель превращается в генератор беспорядочных колебаний (возбуждается), теряет устойчивость работы, а следовательно и усилительные свойства.

Примерный вид АЧХ и ФЧХ показан на рис. 9.8.

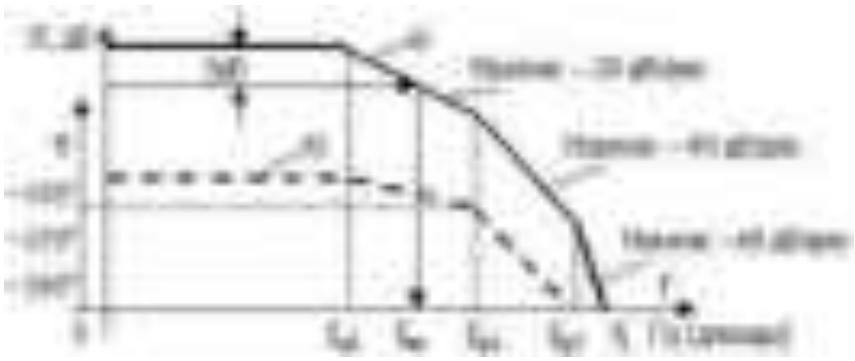


Рис. 9.8. Частотные характеристики ОУ:
а – АЧХ, *б* – ФЧХ

На рис. 9.8, *а* по вертикальной оси откладывается значение модуля коэффициента усиления ОУ (обычно в дБ), по горизонтальной оси отложены значения частот в логарифмическом масштабе.

Характерные точки АЧХ показывают диапазоны частот, в которых происходит изменение модуля коэффициента усиления: $f_{СР1}$, $f_{СР2}$, $f_{СР3}$ – частоты «среза» – частоты, при которых происходит заметное уменьшение коэффициента усиления; $f_{ПП}$ – частота «полосы пропускания» – показывает диапазон частот, в котором модуль коэффициента усиления уменьшается от максимального значения не более, чем на 3 дБ; f_1 – частота «единичного усиления», при

которой входной сигнал уже не усиливается. На логарифмических АЧХ (ЛАЧХ) участки характеристики показывают отрезками прямых линий, имеющих наклон, соответствующий скорости изменения модуля коэффициента усиления ОУ при изменении частоты входного сигнала (рис. 9.8, *а*). Фазочастотная характеристика на рис. 9.8, *б* представлена для случая, когда входной сигнал подан на инвертирующий вход, поэтому начальное значение угла сдвига фаз $\Psi = -180^{\circ}$. По мере роста частоты модуль угла сдвига фаз увеличивается, при некоторой частоте достигается значение -360°, что приводит к потере устойчивости работы ОУ.

С целью недопущения таких режимов производят частотную коррекцию характеристик при изготовлении ОУ (внутренняя коррекция), либо делают специальные контактные выводы в микросхеме ОУ для подключения корректирующих конденсаторов (внешняя коррекция).

Коррекцией добиваются желательного изменения АЧХ и ФЧХ
в заданном диапазоне частот усиливаемого сигнала. Особого внимания заслуживает случай, когда нагрузка ОУ носит емкостный характер, так как емкость вносит дополнительный сдвиг фаз в усилительный тракт, который может привести к самовозбуждению схемы.
С целью предотвращения самовозбуждения в цепь отрицательной обратной связи ОУ обычно включают дополнительные конденсаторы для коррекции ФЧХ и АЧХ.

9.4. Обратные связи в усилительных устройствах

Обратной связью (ОС) называют процесс передачи выходного сигнала (целиком или его части) с выхода на вход усилительного устройства с целью коррекции характеристик и параметров этого устройства.

Обратная связь осуществляется с помощью электрических цепей (устройств), соединяющих вход и выход усилительного устройства. Часто эти цепи тоже называют обратной связью и говорят, что они «охватывают» усилитель или усилительное устройство. В общем случае ОС может охватывать один усилительный каскад или несколько каскадов, поэтому можно различать *общую* и *местную* ОС.

Сигнал ОС, получаемый с выхода устройства, может на входе либо суммироваться с основным усиливаемым сигналом, либо вычитаться из него. В первом случае обратную связь называют *положительной* (ПОС), во втором – *отрицательной* (ООС). В случае сигналов переменного тока ПОС будет осуществляться при совпадении фаз основного (входного) сигнала и сигнала ОС, а ООС – при разности этих фаз, равной 180°.

Основные соотношения для усилительного устройства, охваченного цепями обратной связи, можно получить из обобщённой структурной схемы усилительного устройства, состоящего из усилительного каскада, цепи обратной связи и сумматора сигналов на входе (рис. 9.9).

Система уравнений, характеризующих структурную схему, выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} U_{ВЫХ} &= K\,U_C; \\ U_C &= U_{ВХ} + \beta U_{ВЫХ}, \end{aligned} \qquad (9.2)$$

где K – собственный коэффициент передачи усилителя;

β – коэффициент передачи цепи (звена) ОС;

$U_{ВХ}$ – входной (основной) усиливаемый сигнал;

$U_{ВЫХ}$ – выходной сигнал усилительного устройства.

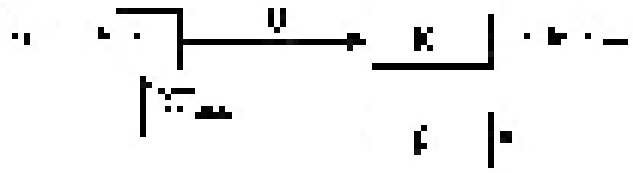


Рис. 9.9. Обобщённая структурная схема усилительного устройства с цепью обратной связи

Вычислим по общему правилу результирующий коэффициент передачи (усиления) схемы: $K_P = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$. С учётом уравнений (9.2) получим:

$$K_P = K/(1–\beta K). \qquad (9.3)$$

Полученное выражение позволяет сделать важные выводы о свойствах усилительного устройства, охваченного цепью ОС, а также выяснить степень влияния свойств звена ОС на общие свойства этого устройства.

В усилительных устройствах используют разнообразные виды обратных связей, различающихся по способам получения (формирования) сигнала ОС, по способам использования (введения) сигнала ОС на входе, по частотным свойствам и т.д. Основные названия видов ОС представлены на рис. 9.10.

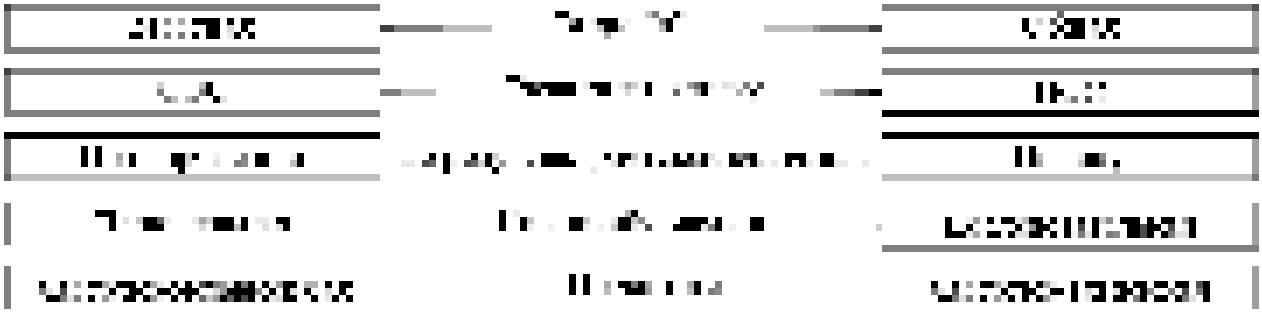


Рис. 9.10. Классификация типов обратной связи

Рассмотрим влияние обратных связей на общие свойства усилительного устройства, обобщенная схема которого изображена на рис. 9.9.

Анализ выражения (9.3) показывает, что величина результирующего коэффициента передачи схемы зависит от величины и знака коэффициента передачи звена ОС β, причём, если $\beta > 0$, а $\beta K < 1$, то $K_P > K$, т.е. коэффициент усиления схемы становится больше, чем собственный коэффициент усиления усилительного элемента (УЭ). Если $\beta < 0$, то $K_P < K$, т.е. коэффициент усиления схемы становится меньше, чем собственный коэффициент усиления УЭ.

Первый случай соответствует ПОС, второй – ООС. Если $\beta K = 1$, то теоретически результирующий коэффициент передачи увеличивается до бесконечно большой величины. На практике схема становится неработоспособной как усилитель и превращается в устройство, генерирующее (если не принять специальных мер) беспорядочные колебания выходного сигнала (говорят, что схема теряет устойчивость – «возбуждается»). Если предположить, что

собственный коэффициент усилительного звена достаточно большой, то из выражения (9.3) можно получить

$$K_p \approx -(1/\beta). \qquad (9.4)$$

Полученное соотношение свидетельствует о том, что свойства усилителя с большим собственным коэффициентом усиления будут определяться свойствами звена обратной связи. Этот факт широко используется для построения разнообразных функциональных узлов и устройств на основе ОУ.

Влияние ОС на другие параметры усилительного устройства рассмотрим на примерах изменения входных и выходных сопротивлений устройств с введением цепей ОС. Отметим два важных свойства указанных параметров:

1. Входное сопротивление устройства, охваченного цепью ОС, зависит от способа введения сигнала ОС во входную цепь и не зависит от способа получения этого сигнала.

2. Выходное сопротивление усилителя, охваченного цепью ОС, зависит от способа получения сигнала ОС и не зависит от способа введения этого сигнала во входную цепь.

Методику определения входных и выходных сопротивлений для усилительного каскада, охваченного цепью ОС, рассмотрим на примере обобщённой структурной схемы усилителя напряжения, показанной на рис. 9.11.

Рис. 9.11. Структурная схема усилительного устройства с ОС, введённой последовательно по напряжению

В схеме соблюдаются следующие очевидные соотношения:

$U_{ВЫХ} = KU_{ВХ}$; $U_{ОС} = \beta U_{ВЫХ}$; $U_{Г} = U_{ВХ} + U_{ОС}$; $U_{ВХ}/I_{ВХ} = Z_{ВХ0}$,

где $Z_{ВХ0}$ – собственное входное сопротивление усилителя, имеющего собственный коэффициент усиления K.

Определяя по общему правилу входное сопротивление всей схемы как $Z_{ВХ} = U_{Г} / I_{ВХ}$, получим:

$$Z_{ВХ} = Z_{ВХ0}(1+\beta K). \qquad (9.5)$$

Соотношение (9.5) показывает, что при наличии ООС входное сопротивление схемы увеличивается. Если направление напряжения $U_{ОС}$ изменить на противоположное, получим положительную обратную связь. В этом случае

$$Z_{ПВХ} = Z_{ВХ0}(1-\beta K). \qquad (9.6)$$

Анализ показывает, что в этом случае входное сопротивление схемы может быть нулевым, отрицательным либо положительным, но меньше $Z_{ВХ0}$.

Используя для анализа выходных сопротивлений соотношения, аналогичные (9.5, 9.6), можно получить следующие результаты:

1. ООС по напряжению уменьшает выходное сопротивление схемы, а ПОС либо увеличивает его, либо делает отрицательным.

2. ООС по выходному току увеличивает выходное сопротивление схемы, ПОС может это сопротивление оставить неизменным, увеличить его или сделать отрицательным.

Подробный анализ действия цепей ОС в усилительных устройствах позволяет сделать следующие общие выводы [11]:

1. Введение цепей ОС изменяет основные параметры усилительного устройства как количественно, так и качественно.

2. Действие ООС и ПОС, как правило, противоположно.

3. Введение цепей ООС стабилизирует коэффициент усиления устройства, расширяет полосу пропускания, уменьшает частотные и фазовые искажения.

4. Введение цепей ПОС сужает полосу пропускания устройства, приводит к увеличению частотных и фазовых искажений, уменьшает устойчивость схемы к изменениям параметров и характеристик элементов схемы.

5. Параметры цепей (звеньев) ОС оказывают существенное влияние на параметры и характеристики всего усилительного устройства.

9.5. Примеры использования операционных усилителей и обратных связей в некоторых схемах

Конверторы сопротивлений. ОУ позволяют строить схемы, обладающие свойствами, нехарактерными для обычных элементов. Примерами могут служить так называемые конверторы и инверторы сопротивлений и проводимостей [6]. Эти схемы позволяют изменять масштаб сопротивлений, проводимостей, ёмкостей и индуктивностей, заменять индуктивные элементы ёмкостными, изменять знак сопротивлений с положительного на отрицательный, схемно получать отрицательные ёмкости и индуктивности. Понятия отрицательной ёмкости и индуктивности связаны с комплексным представлением соответствующих проводимостей. Положительная емкость имеет комплексную проводимость $Y_C = \omega C e^{j90^\circ}$, которая показывает, что ток
в ёмкости опережает напряжение на 90°. В отрицательной ёмкости ток будет отставать от напряжения на 90°.

Известно, что в индуктивности (положительной) ток отстаёт от напряжения на 90°, а индуктивное сопротивление представляют комплексной величиной $Z_L = \omega L e^{j90^\circ}$.

Отрицательная индуктивность представляется комплексным сопротивлением, в котором ток опережает напряжение на 90°. Некоторые структурные схемы таких устройств [6] показаны на рис. 9.12.

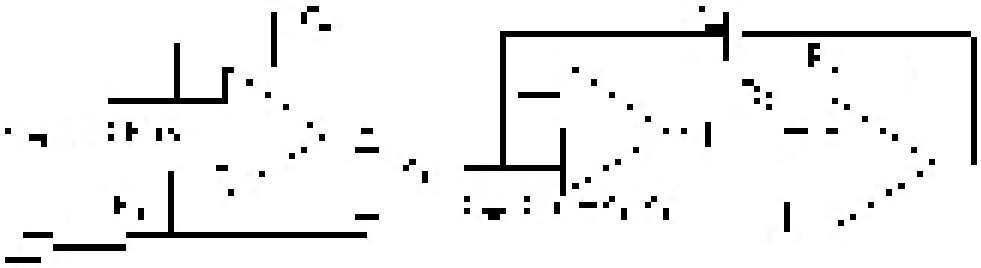


Рис. 9.12. Схемы конверторов емкостного сопротивления

Схемы сравнения на основе операционных усилителей. Большой собственный коэффициент усиления позволяет построить эффективные схемы сравнения двух напряжений, применяемые в различных устройствах автоматики [26]. На основе ОУ можно построить как однопороговые, так и гистерезисные схемы сравнения. Передаточные характеристики таких схем представлены на рис. 9.13 и 9.14.

Рис. 9.13. Идеальные передаточные характеристики однопороговой схемы сравнения:
а – для идеального ОУ без внешнего смещения;
б – с положительным смещением, *в* – с отрицательным смещением

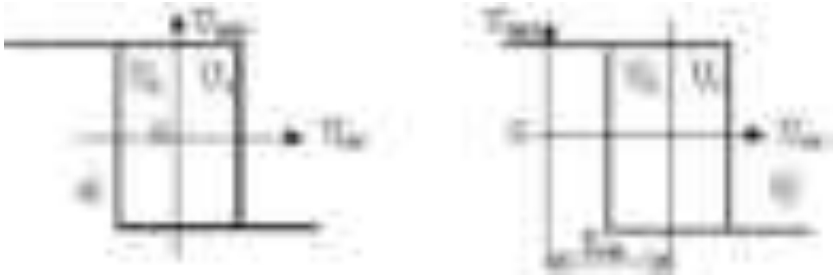


Рис. 9.14. Передаточные гистерезисные характеристики:
а – симметричная без смещения; *б* – со смещением

Передаточные характеристики, показанные на рис. 9.13 и 9.14, могут быть получены, если использовать ОУ без обратной связи или с положительной обратной связью. При этом ОУ по свойствам должен приближаться к идеальному: $K_{OУ} \to \infty$, $R_{BX} \to \infty$, $R_{ВЫХ} \to 0$. Согласно основному уравнению для усилителя с обратной связью имеем:

$$K_{OC} = \frac{K_{OУ}}{1 - b_{OC} \cdot K_{OУ}}, \qquad (9.7)$$

где b_{OC} – коэффициент обратной связи;

$K_{OУ}$ – собственный коэффициент усиления ОУ;

K_{OC} – коэффициент усиления схемы.

Если $b_{OC} = 0$ (отсутствует ОС), то $K_{OC} = K_{OУ}$, причем при достаточно большом значении $K_{OУ}$ напряжение на выходе ОУ появится при нулевом значении напряжения на его входах. Работа ОУ в таком режиме имеет только теоретическое значение. Для того чтобы построить схему сравнения, нужно использовать факт перехода ОУ из одного состояния в другое при разности напряжений на входах, близкой к нулю. Сравниваемые напряжения подают на инвертирующий
и неинвертирующий входы, а момент их равенства будет зафиксирован скачкообразным изменением напряжения на выходе. Структурные схемы, позволяющие осуществить сравнение одного напряжения с другим (в том числе и с нулем), показаны на рис. 9.15.

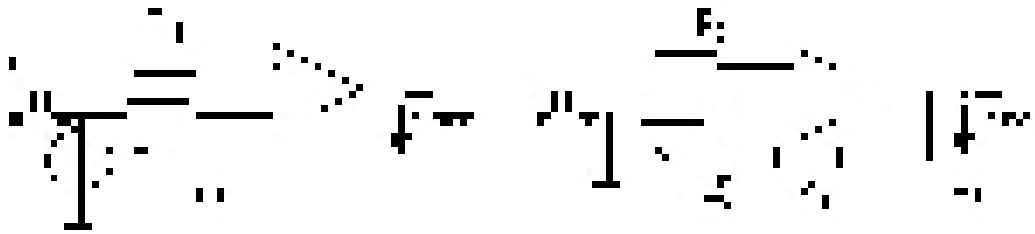
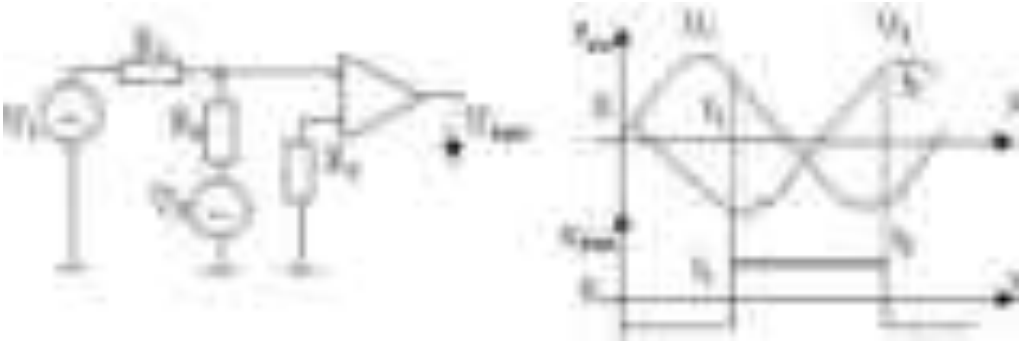


Рис. 9.15. Структурные схемы сравнения напряжений:
а – ОУ без цепи обратной связи с высоким $K_{OУ}$, *б* – ОУ с положительной ОС

В схеме на рис. 9.15, *а* входное напряжение U_{BX} сравнивается
с опорным напряжением E_0. В схеме на рис. 9.15, *б* входное напряжение U_{BX} сравнивается с напряжением $U_{ПОС}$, образованным из выходного напряжения резистивным делителем R_2R_3.

Схема сравнения может быть построена на ОУ без обратной связи при подаче сравниваемых напряжений на один неинвертирующий вход, если одно из сравниваемых напряжений (или оба) имеют знакопеременный характер изменения. Схема такого устройства сравнения приведена на рис. 9.16.



а *б*

Рис. 9.16. Структурная схема сравнения знакопеременных напряжений (*а*) и временные диаграммы сигналов (*б*)

Переключение схемы будет происходить в моменты t_1, t_2, когда

$$\frac{U_1(t)}{R_1} = \frac{U_2(t)}{R_2}, \qquad (9.8)$$

где $U_1(t)$, $U_2(t)$ – текущие (мгновенные) значения сравниваемых напряжений.

Если выбрать $R_1=R_2$, переключение будет происходить в моменты равенства абсолютных значений противоположных по знаку напряжений (в предположении, что внутренние сопротивления источников напряжений одинаковы).

Если $b_{OC} \neq 0$ и имеет положительный знак, то согласно (9.7), коэффициент передачи схемы увеличивается, при этом гистерезисную характеристику (рис. 9.14) можно получить при $b_{OC} > 1/K_{OY}$.

В схеме (рис. 9.15, *б*) на инвертирующий вход подано изменяющееся по абсолютному значению и знаку напряжение U_{BX}, а цепь ПОС образована делителем R_2R_3. На неинвертирующем входе будет образовано напряжение:

$$\left|U_{ПОС}\right| = \left|U_{ВЫХ\ МАХ}\right| \cdot \frac{R_3}{\left(R_2 + R_3\right)}. \qquad (9.9)$$

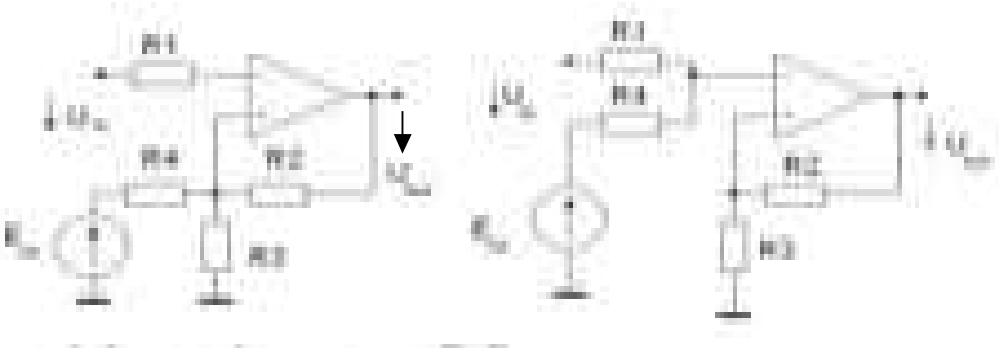
Знак этого напряжения будет определяться знаком выходного напряжения ОУ, находящегося в состоянии положительного или отрицательного ограничения. Если, например, на выходе ОУ напряжение соответствует уровню положительного ограничения (на выходе присутствует положительное $U_{ВЫХ\ МАХ}$), подача отрицательного напряжения U_{BX} не будет изменять состояние схемы до тех пор, пока $|U_{BX}|<|U_{ПОС}|$. В момент, когда $|U_{BX}|=|U_{ПОС}|$ произойдет изменение выходного напряжения ОУ от + $U_{ВЫХ\ МАХ}$ до $-$ $U_{ВЫХ\ МАХ}$, а на неинвертирующем входе установится напряжение:

$$U_{ПОС} = -U_{ВЫХ\ МАХ} \cdot \frac{R_3}{\left(R_2 + R_3\right)}. \qquad (9.10)$$

Таким образом, устойчивые состояния при наличии ПОС в рассматриваемой схеме будут устанавливаться каждый раз после перехода входного напряжения через пороговые значения $U_{ПОС}$, определяемые выражениями (9.9), (9.10). Анализ работы схемы с идеальным ОУ и цепью ПОС показывает, что передаточная характеристика будет иметь вид, представленный на рис. 9.14, *а*, где U_1 и U_2 определяются по выражению (9.10).

Смещение характеристики по горизонтальной оси относительно начала координат можно осуществить подачей дополнительного напряжения смещения на тот или иной вход. Если напряжение смещения положительное, то подача его на неинвертирующий вход смещает характеристику вправо (рис. 9.14, *б*), а подача его на инвертирующий вход смещает характеристику влево. Смещение характеристики влево можно осуществить подачей отрицательного смещения на неинвертирующий вход.

Следует заметить, что подачу напряжения смещения нужно выполнять через резистор, сопротивление которого должно быть значительно больше сопротивлений, используемых для реализации характеристик. Структурные схемы, реализующие такие характеристики, показаны на рис. 9.17.



а *б*

Рис. 9.17. Гистерезисные структурные схемы:
а – напряжение смещения подано на неинвертирующий вход;
б – напряжение смещения подано на инвертирующий вход

Аналоговый компаратор. Построение схем сравнения повышенной чувствительности на ОУ, как на дискретном элементе, встречает определенные трудности. Значительно лучшими характеристиками обладают интегральные схемы сравнения двух напряжений, называемые *аналоговыми компараторами*.

Компаратором принято называть интегральную схему, предназначенную для сравнения двух напряжений и выдачи результата сравнения в виде напряжения, соответствующего логическим уровням «0» или «1». Аналоговый компаратор служит связующим звеном между аналоговой и цифровой частями схемы.

В структурной схеме компаратора, помимо операционного усилителя, есть дополнительные элементы, обеспечивающие выполнение основной функции сравнения и функции преобразования уровня выходного напряжения в соответствии с результатом сравнения. Передаточные характеристики и упрощенная структурная схема компаратора [14] показаны ниже на рис. 9.18.

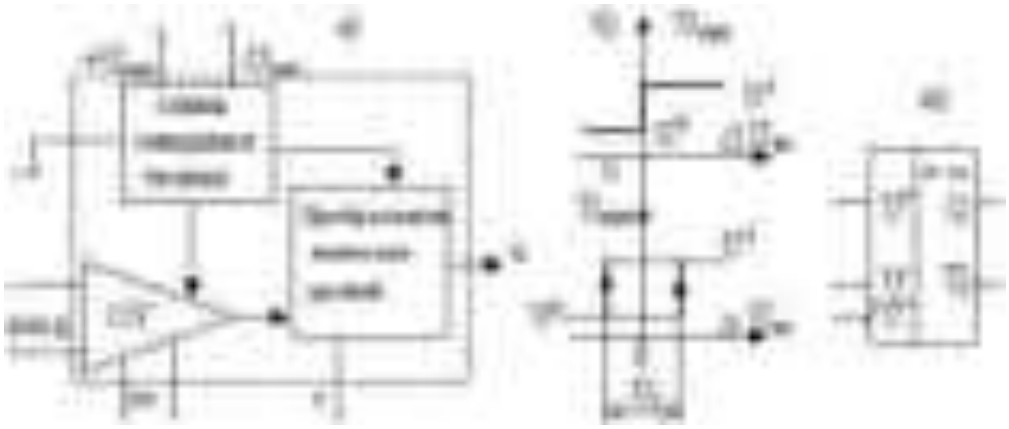


Рис. 9.18. Структурная схема (*а*), передаточные характеристики (*б*) и УГО (*в*) аналогового компаратора:
NC – выводы для коррекции нулевого уровня (балансировки); *C* – вход тактирования;
U^0, U^1 – логические уровни выходного сигнала; *Q* – обозначение выхода;
U^+, U^- – обозначения входных зажимов; $U_Г$ – ширина петли гистерезисной характеристики

Условия работы компаратора определяются следующим образом:

$$U_{ВЫХ} = \begin{cases} U^1, \text{при } U^+ > U^- \text{ или } \Delta U_{ВХ} > 0; \\ U^0, \text{при } U^+ < U^- \text{ или } \Delta U_{ВХ} < 0. \end{cases}$$

Наличие гистерезиса в выходной характеристике компаратора обусловлено погрешностью сравнения уровней входных напряжений, а величина напряжения $U_Г$ характеризует его чувствительность и может составлять несколько мВ. Важнейшими параметрами компаратора являются:

– пороговая чувствительность – минимальный разностный сигнал, который способен идентифицировать компаратор;

– входные и выходные токи;

– коэффициент ослабления синфазного сигнала – отношение величины синфазного напряжения к дифференциальному сигналу, вызывающему срабатывание компаратора, (измеряется в дБ);

– быстродействие (время переключения), характеризуемое промежутком времени от момента подачи входного сигнала $\Delta U_{ВХ}$ до момента достижения выходным сигналом логического уровня U^0
или U^1.

Современные аналоговые компараторы имеют время переключения несколько десятков нс при пороговой чувствительности около 0,25 мВ.

9.6. Области применения операционных усилителей в электронных схемах

Области использования ОУ весьма разнообразны. Приведенный ниже перечень устройств не охватывает все возможные случаи использования ОУ.

1. В линейных частотно-независимых и частотно-зависимых схемах:

а) инвертирующие и неинвертирующие масштабные усилители;

б) усилители с регулируемым усилением и повторители напряжения;

в) специальные дифференциальные и мостовые усилители;

г) стабилизаторы тока и напряжения;

д) усилители тока фотоэлементов и электрометрические усилители;

е) интеграторы, дифференциаторы, фазовращатели, активные фильтры;

2. Схемы с нелинейными и управляемыми обратными связями.

а) формирователи импульсов, ограничители, функциональные преобразователи;

б) прецизионные и фазочувствительные выпрямители, детекторы и компараторы;

в) логарифмические и антилогарифмические усилители;

г) аналоговые умножители и делители, широтно-импульсные модуляторы;

д) аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП);

е) автогенераторы, мультивибраторы, генераторы синусоидальных колебаний;

ж) преобразователи напряжения в частоту и частоты в напряжение.

10. ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ И ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ

10.1. Общие сведения

Генератор колебаний – это устройство, посредством которого энергия источника питания преобразуется в электрические колебания нужной формы, частоты и мощности.

Генераторы классифицируют по следующим признакам: частоте, форме колебаний, назначению, выходной мощности, типу активного элемента, виду цепей обратной связи.

По частоте различают инфранизкочастотные генераторы (частота генерации меньше 10 Гц), низкочастотные (от 10 Гц до 100 кГц), высокочастотные (от 100 кГц до 100 МГц), сверхвысокочастотные (выше 100 МГц). По форме колебаний различают генераторы гармонических и негармонических (импульсных) сигналов. По виду цепей обратной связи различают *LC-, RC-, RL*-генераторы. По используемым активным элементам генераторы подразделяют на транзисторные, ламповые, на операционных усилителях, динисторах и др. [12].

Генератор колебаний можно представить нелинейным устройством, обобщенная структурная схема которого имеет вид, показанный на рис. 10.1.

Схема содержит усилитель с коэффициентом усиления K, цепь отрицательной обратной связи с коэффициентом передачи m и цепь положительной обратной связи с коэффициентом передачи β. Различают два этапа после включения питания: этап возбуждения и этап стационарного режима. На первом этапе основную роль играет цепь положительной обратной связи (ПОС), которая обычно выполняется на пассивных элементах и имеет потери.

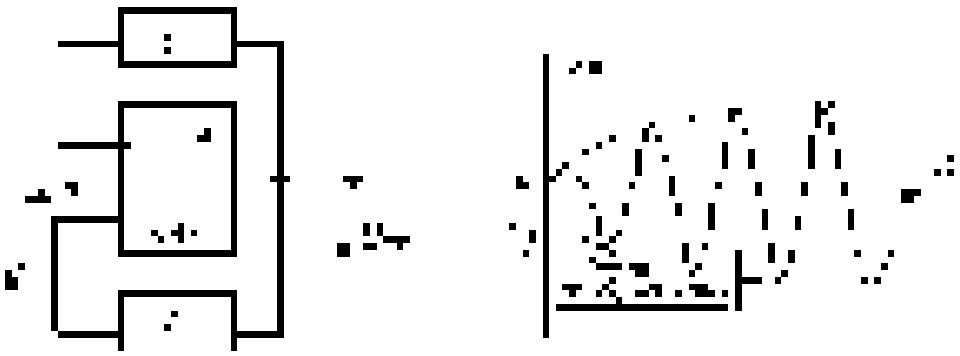


Рис. 10.1. Структурная схема генератора с внешней обратной связью (*а*) и процесс установления колебаний (*б)*

После подачи питания в схеме возникают колебания, обусловленные нестационарными (переходными) процессами – зарядом емкостей, нарастанием тока в индуктивностях, переходными процессами в транзисторах или операционных усилителях. Эти колебания появляются на входе в виде сигнала $U_{вх}$ и на выходе усилителя в виде сигнала $U_{вых} = KU_{вх}$. С выхода усилителя колебания через цепь ПОС поступают на вход усилителя, т.е.

$$U_{вх} = \beta U_{вых}.$$

Сравнение выражений для $U_{вых}$ приводит к равенству $U_{вых} = =\beta K U_{вых}$, откуда следует, что для возбуждения колебаний должно соблюдаться условие

$$\beta K = 1. \qquad (10.1)$$

Произведение βK называется *петлевым усилением* усилителя с обратной связью. Это условие распадается на два, которые называют *условиями баланса амплитуд и фаз*:

$$|K\beta| = 1; \qquad (10.2)$$

$$\arg(K\beta) = \varphi_к + \varphi_с = 0, \qquad (10.3)$$

где $\varphi_к$ и $\varphi_с$ – сдвиг по фазе, соответственно, для прямой и обратной передачи усиливаемого сигнала.

Условие (10.2) означает, что модуль коэффициента усиления усилителя должен быть равен модулю обратной величины коэффициента передачи звена ПОС, т.е. насколько сигнал ослабляется при передаче через цепь ПОС, настолько он должен быть усилен при прохождении через усилитель.

Если $K < \beta^{-1}$, то колебания в схеме генератора будут затухающими и наоборот. Цепь отрицательной обратной связи служит для точного выполнения условия баланса амплитуд.

Условие (10.3) называют условием баланса фаз. Оно означает, что полный фазовый сдвиг между колебаниями на входе и выходе в замкнутом контуре генератора должен быть равен $2\pi n$, где n – любое целое число. Если условие (10.3) соблюдается только на одной частоте, то (при выполнении условия баланса амплитуд) колебания будут гармоническими. Если условия баланса фаз выполняются для нескольких частот, колебания будут негармоническими.

10.2. Генераторы гармонических сигналов

Широкое распространение получили схемы генераторов, имеющих название трехточечных. Одна из них приведена на рис. 10.2.

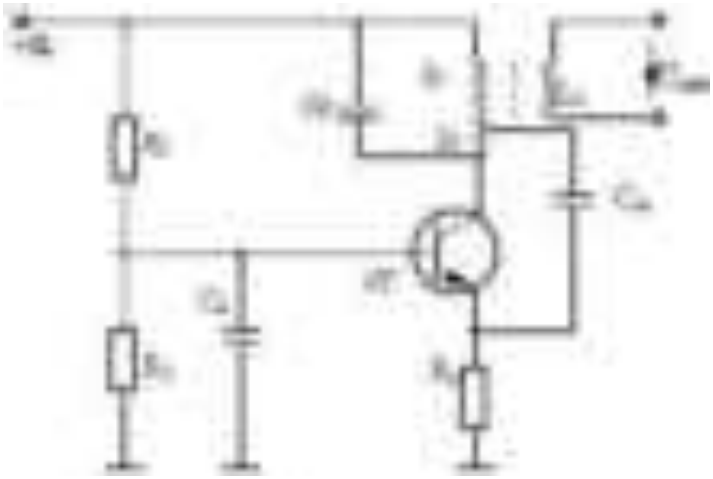


Рис. 10.2. Схема индуктивного трехточечного генератора на биполярном транзисторе

Колебания возникают в контуре $C_к$, L_1, L_2, а часть напряжения через конденсатор связи $C_{св}$ подается во входную эмиттерную цепь транзистора, образуя положительную обратную связь.

Сопротивления R_1 и R_2 обеспечивают выбор рабочей точки транзистора по постоянному току. Выходное напряжение снимается с дополнительной индуктивной обмотки. Генераторы с *LC*-контурами используются в основном на высокой частоте. На низких частотах обычно используют генераторы с *RC*-цепями в звеньях ПОС. Часто используется цепь, называемая мостом Вина, схема которой изображена на рис. 10.3.

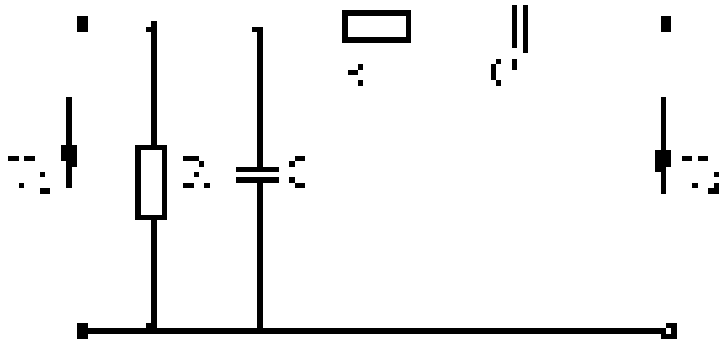


Рис. 10.3. Схема моста Вина

Мост Вина состоит из двух *RC*-звеньев: первое звено образовано последовательным соединением конденсатора и резистора и имеет сопротивление:

$$z_1 = R + \frac{1}{j\omega C}.$$

Второе звено образовано параллельным соединением таких же элементов и имеет сопротивление:

$$z_2 = \frac{R\dfrac{1}{j\omega C}}{R + \dfrac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}.$$

Схема генератора гармонических колебаний с мостом Вина показана на рис. 10.4. Мост Вина образует цепь ПОС с коэффициентом передачи:

$$\beta = \frac{z_2}{z_1 + z_2} = \frac{1}{1 + \dfrac{(1 + j\omega RC)(1 + j\omega RC)}{j\omega RC}} = \frac{j\omega RC}{1 + 3j\omega RC - C^2R^2\omega^2}. \qquad (10.4)$$

Если выполнить условие $1-C^2R^2\omega^2=0$, т.е. $\omega=\frac{1}{CR}$, то фазовый сдвиг будет равен нулю, а модуль коэффициента обратной связи $\beta=\frac{1}{3}$. Частота генерации будет определяться выражением:

$$f=\frac{1}{2RC\pi}. \qquad (10.5)$$

Стабилизацию амплитуды в таком генераторе обеспечивают с помощью нелинейной цепи отрицательной обратной связи R_1, R_2. В качестве нелинейного сопротивления можно использовать миниатюрную лампочку накаливания.

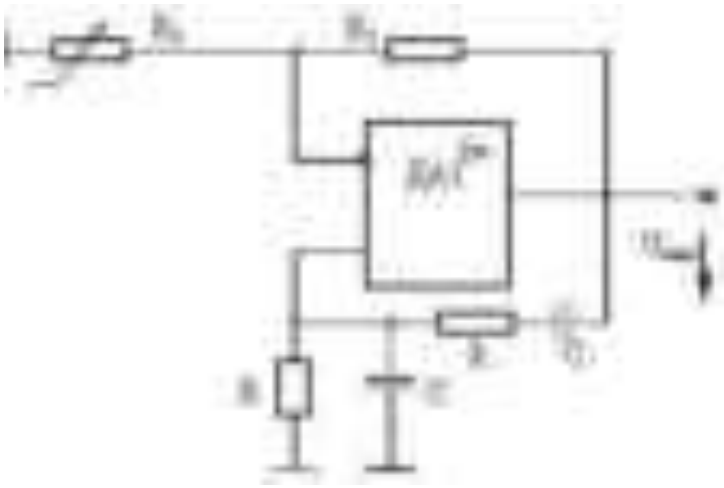


Рис. 10.4. Схема генератора с мостом Вина

При этом с увеличением выходного напряжения ток в цепи R_1, R_2 увеличивается, что приводит к увеличению сопротивления нити лампы накаливания и возрастанию глубины отрицательной обратной связи:

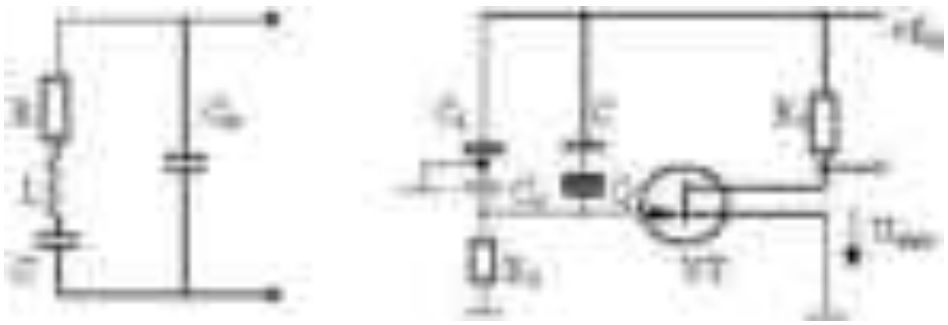
$$m = R_2/(R_1+R_2). \qquad (10.6)$$

Увеличение глубины отрицательной обратной связи приводит к замедлению увеличения выходного напряжения, в результате чего амплитуда выходного напряжения стабилизируется.

10.3. Кварцевые генераторы

В кварцевых генераторах в качестве элемента колебательного контура используется кристалл кварца (кварцевый резонатор), имеющий высокостабильную собственную резонансную частоту.

Схема замещения кварцевого резонатора представлена на рис. 10.5, *а*. Кварцевый генератор может быть построен по схеме, приведенной на рис. 10.5, *б*.



а *б*

Рис. 10.5. Схема замещения кварца (*а*)
и схема кварцевого генератора (*б*)

В схеме замещения кварцевого резонатора (рис. 10.5) L – эквивалентная индуктивность кварца, R – сопротивление потерь, C – последовательная емкость, C_n – параллельная емкость. В изображенном контуре (рис. 10.5, *а*) наблюдаются две резонансные частоты: резонанса токов и резонанса напряжений. Для кварца эти частоты практически совпадают, поэтому частотная характеристика кварцевого резонатора имеет резко выраженный максимум. В схеме кварцевого генератора (рис. 10.5, *б*) ПОС обеспечивается за счет того, что кварц вносит дополнительный фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями. Конденсаторы C_1 и C_2 включаются для улучшения условий возбуждения. Основное преимущество кварцевых генераторов – высокая стабильность частоты колебаний. Например, стабильность частоты *RC*-генераторов имеет величину около 0,1 %, *LC*-генераторов – около 0,01 %, а кварцевый генератор имеет стабильность (10^{-4} – 10^{-5}) % [14].

10.4. Генераторы колебаний прямоугольной формы (мультивибраторы)

Принцип получения сигналов с прямоугольной формой напряжения поясним на примере использования схемы *КР1006ВИ1*, называемой интегральным таймером [6]. Таймерами называют устройства, предназначенные для получения точных интервалов времени или по-

следовательности импульсов со стабильными частотами. Упрощенная схема интегрального таймера изображена на рис. 10.6.

Рис. 10.6. Упрощенная схема таймера *КР1006ВИ1* (*а*)
и его включение мультивибратором (*б*)

Схема содержит делитель напряжения, составленный из одинаковых резисторов R_1, R_2, R_3, два компаратора $ДА_1$, $ДА_2$, выполненные на основе схем операционных усилителей, *RS*-триггер DD_1, инвертор DD_2, разрядный ключ на транзисторе VT_1, ключ сброса VT_2 (показан условно).

При подаче напряжения на таймер конденсатор C (рис. 10.6, *б*) заряжается по цепи R_4, R_5, C до напряжения $U = \frac{2}{3}U_n$, при котором срабатывает компаратор $ДА_1$. Компаратор $ДА_1$ устанавливает триггер DD_1 в такое положение, при котором на его выходе появляется сигнал, включающий ключ VT_1. При этом обеспечивается создание цепи разряда конденсатора через резистор R_5 и транзистор VT_1. При достижении напряжением на конденсаторе значения 1/3 E_n срабатывает компаратор $ДА_2$ и через вход S триггера DD_1 устанавливает триггер в исходное положение, при котором на его выходе образуется низкое напряжение, ключ VT_1 закрывается. Начинается заряд конденсатора до напряжения $2/3U_n$. В схеме устанавливаются устойчивые колеба-

ния. На выходе инвертора DD_2 получим прямоугольные импульсы, амплитуда которых определяется напряжением питания.

Длительность стадий заряда T_1 и разряда T_2 конденсатора C можно определить как

$$\begin{aligned} \mathrm{T}_1 &= 0{,}693\left(R_4 + R_5\right)C, \\ \mathrm{T}_2 &= 0{,}693 R_5 C \end{aligned} \qquad (10.7)$$

Частота генерируемых импульсов определяется выражением:

$$f = \frac{1}{\mathrm{T}_1 + \mathrm{T}_2} \approx \frac{1{,}443}{\left(2R_5 + R_4\right)C}. \qquad (10.8)$$

Скважность импульсов определяется формулой:

$$Q = R_5 /(R_4 + 2R_5). \qquad (10.9).$$

При изменении емкости конденсатора от 0,001 до 100 мкФ и суммарного сопротивления (R_4 + 2R_5) от 1 кОм до 10 мОм можно получить любые частоты в диапазоне от 0,1 Гц до 100 кГц [6].

Следует отметить, что на основе рассмотренной схемы таймера можно собрать различные устройства, такие как ждущий мультивибратор, делитель частоты, широтно-импульсный и фазо-импульсный модуляторы и другие.

Мультивибраторы на операционных усилителях и логических элементах. Генераторы прямоугольных импульсов с невысокими требованиями к стабильности могут быть выполнены на операционном усилителе. Примером может быть схема, показанная на рис. 10.7.

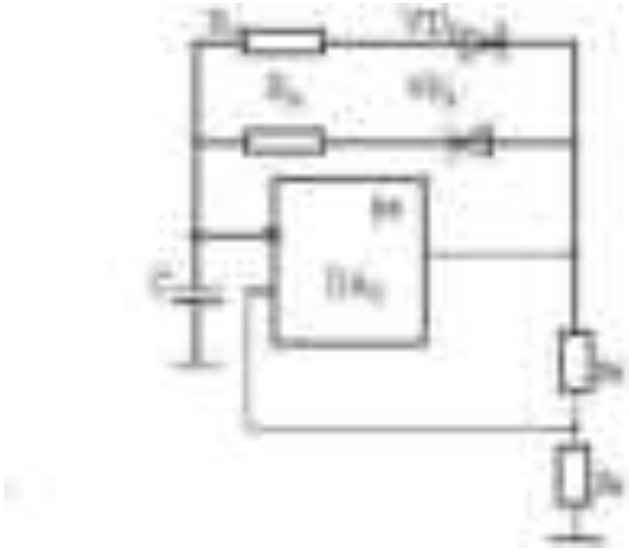


Рис. 10.7. Схема мультивибратора на операционном усилителе

Усилитель $ДА_1$ работает в режиме регенеративного компаратора, т.е. в режиме, при котором полярность и значение опорного напряжения изменяются в зависимости от полярности выходного сигнала. В схеме имеется положительная обратная связь, обеспечиваемая делителем R_3, R_4, а выходное напряжение может принимать два устойчивых значения: $U^{+}_{вых.\,max}$ и $U^{-}_{вых.\,max}$.

Коэффициент передачи цепи ПОС:

$$\gamma = \frac{R_4}{R_3 + R_4}.$$

В зависимости от исходного состояния ОУ напряжение на неинвертирующем входе будет

$$U_1 = U^{-}_{вых.\max}\gamma \qquad (10.10)$$

или

$$U_2 = U^{+}_{вых.\max}\gamma.$$

Компаратор срабатывает в моменты, когда напряжение на конденсаторе достигает значения U_1 или U_2.

Если на выходе ОУ было отрицательное напряжение, конденсатор разряжается по цепи: общий провод – резистор R_1 – диод VD_1. Если на выходе ОУ было положительное напряжение, конденсатор перезаряжается по цепи R_2, VD_2. Время заряда и разряда определяются приближенно по следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} T_1 &= R_1 C \ln \frac{U^{+}_{вых.\max} + \left|U^{-}_{вых.\max}\right|\gamma}{U^{+}_{вых.\max}(1-\gamma)}, \\ T_2 &= R_2 C \ln \frac{\left|U^{-}_{вых.\max}\right| + U^{+}_{вых.\max}\gamma}{\left|U^{-}_{вых.\max}\right|(1-\gamma)}. \end{aligned} \qquad (10.11)$$

Частота колебаний определяется по формуле:

$$f = 1/(T_1 + T_2). \qquad (10.12)$$

Мультивибратор удовлетворительно работает в диапазоне частот от нескольких Гц до 100 кГц. Выбирая параметры R_1, R_2, C, можно менять не только частоту, но и скважность выходных импульсов.

Стабильность частоты колебаний генератора на основе ОУ может быть существенно повышена, если в качестве реактивного элемента использовать кварцевый резонатор. Схема такого генератора приведена на рис. 10.8.

Кварцевый резонатор включен в цепь ООС. Глубина ООС определяется соотношением:

$$M = R_2 / (R_2 + Z), \qquad (10.13)$$

где Z – эквивалентное сопротивление параллельно соединенных резистора R_1 и кварцевого резонатора Q.

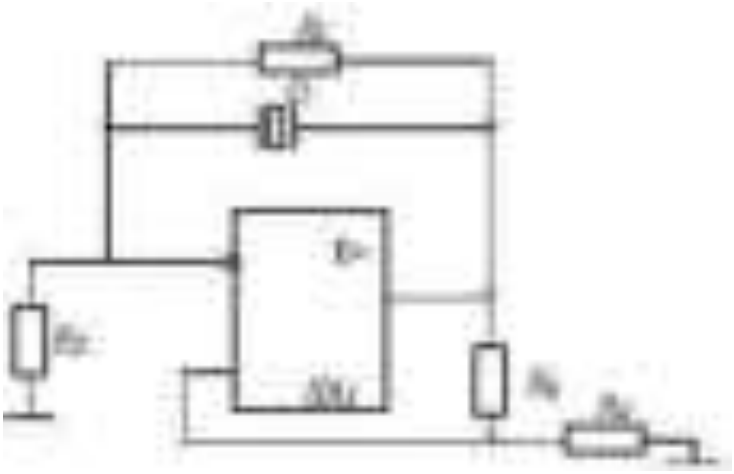


Рис. 10.8. Генератор колебаний на ОУ с кварцевым резонатором

Глубина ПОС определяется соотношением: $\gamma = R_4/(R_3 + R_4)$.

На резонансной частоте полное сопротивление кварцевого резонатора, а следовательно и эквивалентного сопротивления Z, резко увеличивается, глубина ООС уменьшается. Если результирующее значение обратной связи окажется положительным и $K\gamma > 1$, то генератор возбудится. Ограничение амплитуды осуществляется за счет свойств ОУ.

Мультивибраторы часто выполняют на логических элементах (рис. 10.9). Логические элементы (ЛЭ) схемно представляют собой усилители с большим коэффициентом усиления, у которых имеются два входных пороговых значения $U^0_{вх.пор}, U^1_{вх.пор}$. Следовательно, обеспечив положительную обратную связь, как на схеме рис. 10.7, при наличии реактивного элемента, можно получить процесс генерации колебаний подобно тому, как было рассмотрено ранее.

При этом можно использовать кварцевую стабилизацию частоты. Промышленность выпускает интегральные схемы мультивибраторов, с помощью которых можно получать колебания с частотой от долей Гц до 80 МГц [22].

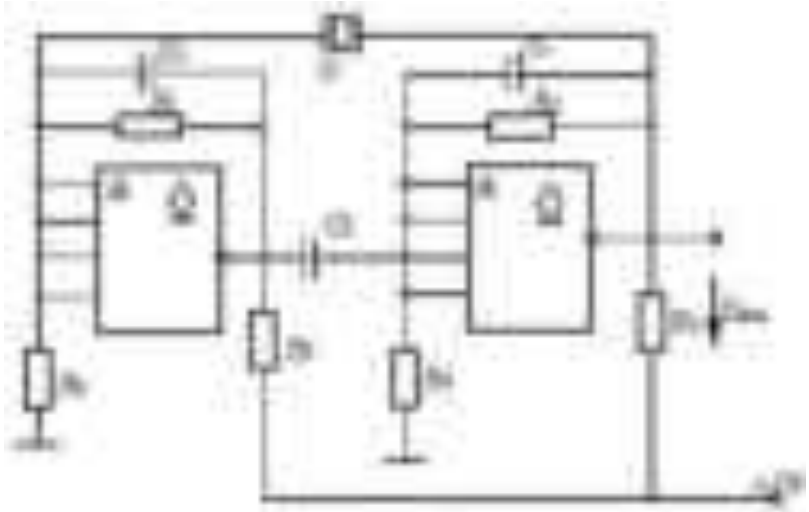


Рис. 10.9. Мультивибратор на логических элементах *К155ЛА7*

В схеме использован кварцевый резонатор для повышения стабильности частоты колебаний. ЛЭ выполняют функции усилителей. Усилители охвачены ООС, обеспечиваемой резисторами R_1, R_2 и R_3, R_4. Конденсаторы C_1 и C_2 включены для устранения паразитного возбуждения. Конденсатор C_3 введен для развязки по постоянному току выхода микросхемы DD_1 от входа микросхемы DD_2. Положительная обратная связь обеспечивается за счет фазового сдвига, осуществляемого кварцевым резонатором. Так как ЛЭ *К155ЛА7* имеет открытый коллектор, то в цепях выходов имеются резисторы R_5 и R_6. В зависимости от соотношения параметров колебания могут быть синусоидальными либо несинусоидальными. Стабильность частоты генерации при этом сохраняется.

10.5. Импульсные сигналы

Импульсный принцип построения систем занимает доминирующее положение по сравнению с аналоговым.
В импульсных системах используются сигналы (напряжение, ток) импульсной формы. Наиболее распространены импульсы, близкие по форме к прямоугольной, пилообразной и экспоненциальной, они мо-

гут быть положительной, отрицательной или чередующейся полярности (рис. 10.10).

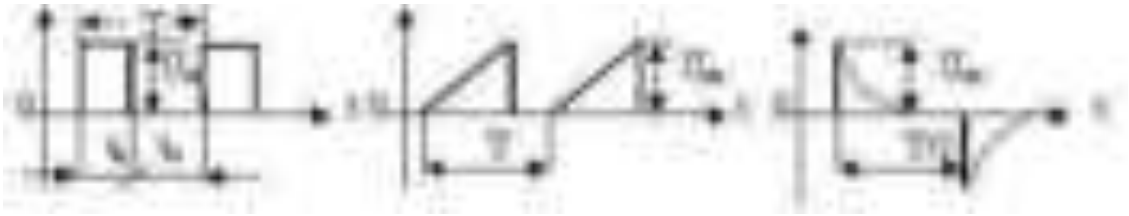


Рис. 10.10. Примеры электрических импульсов различной формы:
U_m – амплитуда, T – период импульсной последовательности,
$t_и$ – ширина (длительность) импульса,
$t_п$ – длительность паузы

Импульсными называются устройства, предназначенные для генерирования, формирования, преобразования и передачи импульсных сигналов.

Параметры электрического импульса. *Электрическим импульсом* называют кратковременное скачкообразное изменение напряжения или силы тока. Все электрические импульсы принято разделять на видеоимпульсы и радиоимпульсы (рис. 10.11).

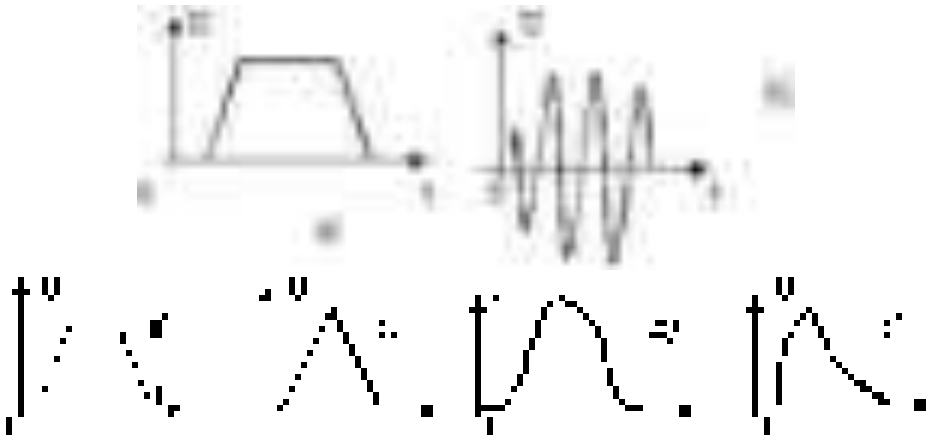


Рис. 10.11. Примеры видеоимпульсов (*а, в – е*) и радиоимпульса (*б*)

На рис. 10.11 представлены распространённые формы импульсов: трапецеидальная (*а*, *в*), треугольная (*г*), колоколообразная (*д*), пилообразная (*е*).

Однополярные электрические импульсы называют видеоимпульсами. Они не содержат высокочастотных колебаний. Электрические импульсы, представляющие собой ограниченные во времени

ВЧ или СВЧ электромагнитные колебания, огибающая которых имеет форму видеоимпульса, называют радиоимпульсами.

Принято различать следующие участки импульса: фронт, вершина, срез, основание. Срез называют иногда задним фронтом.

Основные параметры видеоимпульса (рис. 10.12):

1) высота импульса (амплитуда) – A;

2) спад вершины импульса – ΔA;

3) длительность импульса $t_и$, определяют на уровне $0{,}1A$;

4) время установления или нарастания фронта импульса (длительность фронта импульса) $t_ф$ – время нарастания сигнала от уровня 0,1 до уровня 0,9 своего максимального значения;

5) длительность среза $t_с$ определяется аналогично $t_ф$;

6) длительность вершины импульса $t_в$ – на уровне $0{,}9A$;

7) активная длительность импульса $t_{иа}$ – на уровне $0{,}5A$.

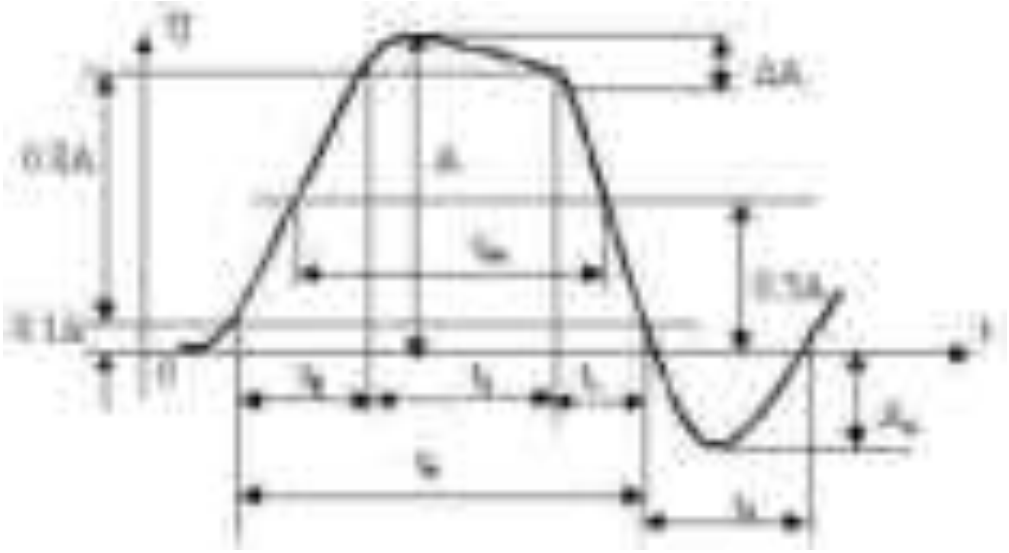


Рис. 10.12. Иллюстрация параметров видеоимпульса

Выброс, образующийся чаще всего после спада, называют хвостом импульса, который характеризуется длительностью t_x и амплитудой выброса $A_в$. В этом случае расчетная длительность среза $t_с$ должна быть увеличена. Периодическую последовательность импульсов характеризуют следующими параметрами:

1) периодом повторения импульсов T;

2) частотой повторения импульсов $f = 1/T$;

3) скважностью импульсов $Q = T/t_и$, $Q > 1$;

4) коэффициентом заполнения $K_з = 1/Q = t_и/T$, $K_з < 1$.

Устройства, в которых выполняются основные виды преобразований импульсных сигналов, разделяются на несколько видов:

а) электрические цепи, обеспечивающие неискаженную передачу импульсов – линии передачи, кабели, трансформаторы, линии задержки, усилители импульсов (видеоусилители);

б) устройства преобразования импульсов обеспечивают получение импульсов одной формы из импульсов другой формы или той же формы, но с другими параметрами:

– линейные преобразователи (интегрирующие и дифференцирующие устройства);

– нелинейные формирующие устройства (ограничители, компараторы, триггеры Шмитта, формирователи);

– преобразователи импульсов цифровых устройств, предназначенные для выполнения логических функций и преобразований одной последовательности импульсов в другую (логические элементы, триггеры, счетчики, регистры, комбинационные устройства);

в) импульсные генераторы (автогенераторы, мультивибраторы, одновибраторы, синхронизируемые генераторы, делители частоты).

Основу всех этих устройств составляют электронные ключи.

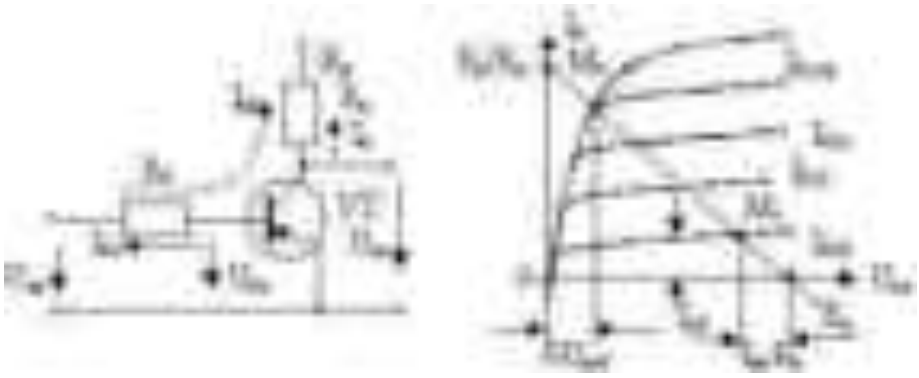
10.6. Электронные ключи

Ключи на биполярных транзисторах. Вся импульсная и цифровая техника базируется на работе транзистора в качестве *ключа* – устройства, коммутирующего электрическую цепь. Основой всех узлов и схем импульсной и цифровой техники является так называемая ключевая схема – каскад на транзисторе, работающем в ключевом режиме (рис. 10.13). Транзистор может включаться по схемам ОЭ, ОК, ОБ.

Режим запирания (отсечки) осуществляется подачей на вход транзистора напряжения положительной полярности (согласно стрелке на рис. 10.13) $U_{вх} > 0$. Эмиттерный переход под действием этого напряжения запирается и его ток равен 0. Вместе с тем через резистор $R_б$ протекает обратный (тепловой) ток коллекторного перехода $I_{к0}$. Этому режиму на выходных характеристиках транзистора соответствует точка $M_з$ (рис. 10.13). Величину запирающего входного напряжения $U_{вх.зап}$ выбирают такой, чтобы при протекающем через $R_б$ тепловом токе выполнялось условие:

$$U_{бэ} = (U_{вх.зап} - I_{к0}\, R_б) > 0. \qquad (10.14)$$

Режим открытого состояния транзистора достигается изменением полярности входного напряжения ($U_{вх} < 0$) и заданием соответствующего тока базы. С изменением полярности входного напряжения увеличению тока базы будет соответствовать увеличение тока коллектора, чему соответствует условное перемещение на характеристиках точки M из положения $M_з$ вверх по линии нагрузки, при этом $U_{кэ}$ уменьшается по модулю.



а *б*

Рис. 10.13. Схема электронного ключа (*а*) и графическая иллюстрация его состояния (*б*)

До некоторого граничного значения тока базы $I_{бзгр}$ сохраняется известная зависимость между током коллектора $I_к$ и током базы $I_{бз}$:

$$I_к \approx \beta I_{бз},$$

где β – статический (усредненный) коэффициент передачи тока транзистора в схеме ОЭ.

При токе базы $I_{бзгр}$ будет «полное» открытие транзистора. При этом в точке $M_о$: $I_к = (E_к - \Delta U_{кэ0}) / R_к$, где $\Delta U_{кэ0}$ – остаточное напряжение на транзисторе в открытом состоянии.

$\Delta U_{кэ0}$ является существенным параметром транзистора в импульсном режиме, причём оно должно быть минимальным. Обычно $\Delta U_{кэ0}$ = (0,5 – 1) В. Тогда граничное значение тока базы открытого транзистора:

$$I_{бз\,гр} = I_к / \beta \cong E_к / (R_к \cdot \beta). \qquad (10.15)$$

При дальнейшем увеличении тока базы остаточное напряжение остается практически неизменным. Режим работы открытого транзи-

стора при $I_{бз} > I_{бз\ гр}$ называют насыщенным, а отношение $S = I_{бз}/I_{бзгр}$ – *коэффициентом насыщения* транзистора. С целью надежного обеспечения режима насыщения обычно выбирают $S = (1{,}5 – 3)$.

Процессы, протекающие в ключевой схеме, при условии, что входной импульс напряжения имеет идеальную прямоугольную форму, можно представить импульсными диаграммами сигналов, показанными на рис. 10.14.

На интервале $0 – t_1$ транзистор заперт напряжением $U_{вхз}$. Напряжение на транзисторе $U_{кэ} = – (E_к – I_{кб0} \cdot R_к)$. При появлении импульса (момент t_1) ток $I_к$ начинает нарастать, а напряжение $U_{кэ}$ – уменьшаться. Для упрощения можно считать, что изменения токов и напряжений происходят по экспоненциальному закону.

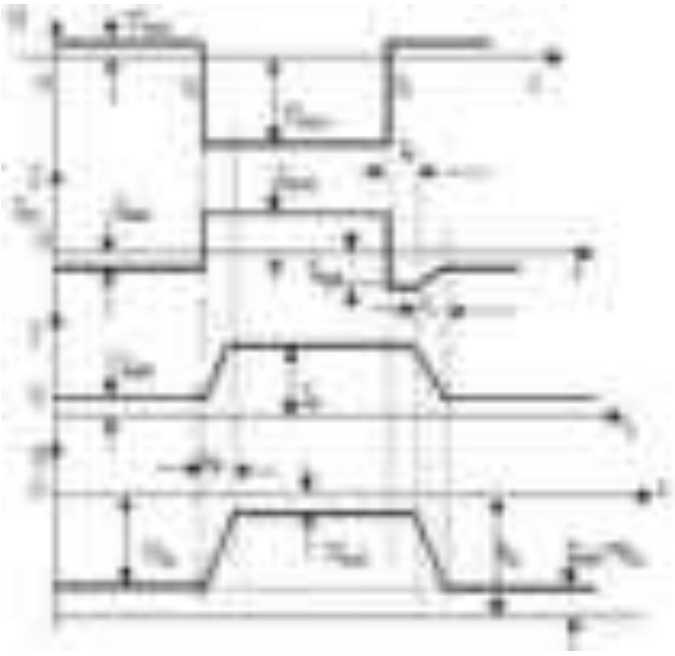


Рис. 10.14. Импульсные диаграммы сигналов транзисторного ключа

Инерционность процессов в области высоких частот можно учесть эквивалентной постоянной времени

$$T_в = T_1 + T_2,$$

где $T_1 = 1/2\pi F_{гр}$ – постоянная времени, характеризующая процессы в транзисторе, связанные с величиной граничной частоты $F_{гр}$;

T_2 – постоянная времени, зависящая от величины емкости коллекторного перехода и величины сопротивления коллекторной цепи в схеме ОЭ.

С некоторыми допущениями, полагая, что коллекторный ток возрастает по экспоненциальному закону, можно оценить длительность фронта импульса коллекторного тока:

$$t_ф = T_в \ln[S / (S - 1)], \qquad (10.16)$$

где $S = I_{бзот}/I_{бз\ гр}$ – коэффициент насыщения транзистора.

Из уравнения следует вывод, что длительность фронта импульса уменьшается с увеличением коэффициента насыщения. Происходит это потому, что в случае увеличения коэффициента S увеличивается базовый ток, заставляющий быстрее изменяться коллекторный ток. При $S = 1$ (это активный режим на грани насыщения) значение $t_ф$ следует определять по другому выражению, определяя его относительно уровней 0,1 и 0,9 установившегося значения коллекторного тока: $t_ф = T_в \ln (0{,}9/ 0{,}1) = 2{,}2\ T_в$.

Процесс запирания транзистора начинается в момент t_2, когда $U_{вхо}$ меняет знак. Однако ток коллектора и напряжение на открытом транзисторе некоторое время остаются неизменными, т.е. создается задержка в запирании транзистора. Происходит это из-за того, что необходимо какое-то время $t_р$ ухода избыточных носителей заряда из базы (время рассасывания заряда). Рассасывание происходит по цепи коллектора (за счет ухода избыточных зарядов) и по цепи базы (за счет протекания обратного тока $I_{бз0}$, вызванного запирающим напряжением). Величина этого тока ограничивается сопротивлением $R_б$ входной цепи:

$$I_{бз0} = U_{вхз} / R_б.$$

Время, в течение которого происходит рассасывание избыточного заряда в базе, называется временем рассасывания $t_р$. Это время зависит от коэффициента насыщения S. Приближенно его можно оценить по выражению $t_р = T_в/2 \cdot \ln S$. За ним следует интервал времени спада тока коллектора $t_с$ (время заднего фронта, время среза):

$$t_с = T_в \ln[1 + (I_{бз\ гр} / I_{бзв})],$$

где $I_{бзв}$ – амплитуда импульса тока базы в момент переключения (рис. 10.14).

Длительности $t_ф$, $t_р$, $t_с$ характеризуют быстродействие транзисторного ключа. Приведенные оценочные выражения показывают, что эти величины зависят от частотных свойств транзистора и параметров импульса базового тока. Порядок их величин составляет от долей единицы до единиц микросекунд.

Одним из способов повышения быстродействия транзисторных ключей является способ применения ненасыщенных ключей, в которых транзистор работает на границе активной области, например, ключ с транзистором Шоттки. Структурная схема такого ключа приведена на рис. 10.15, где обозначено: $VD_{ш}$ –диод Шоттки, $VT_{ш}$ – транзистор Шоттки.

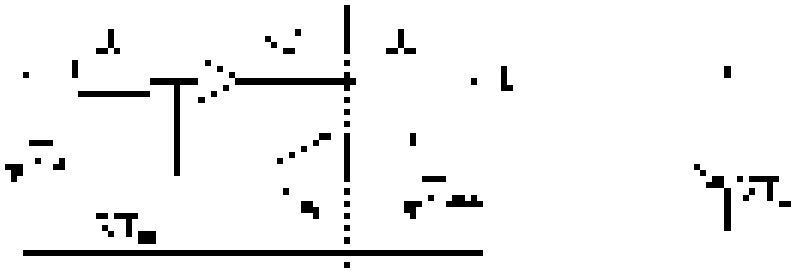


Рис. 10.15. Ключ с диодом Шоттки и УГО транзистора Шоттки

Особенность действия ключа состоит в следующем. До момента открывания диода процесс идет как обычно. В процессе открытия транзистора диод закрыт до момента, при котором вследствие уменьшения коллекторного напряжения напряжение на диоде не достигнет порогового значения. С момента открытия диода ток управления ключом замыкается на коллектор, что приводит к уменьшению тока базы в $(1 + h_{21})$ раз. В итоге избыточный заряд в базе станет намного меньше, чем в обычной схеме насыщенного ключа. Диоды Шоттки имеют малое собственное время восстановления (0,1 нс), низкое напряжение отпирания (0,25 В) и малое сопротивление в открытом состоянии (около 10 Ом).

Реальные ключи на биполярных транзисторах для обеспечения четкой работы в своем составе имеют обычно не менее двух транзисторов. Примеры схем таких ключей представлены на рис. 10.16.

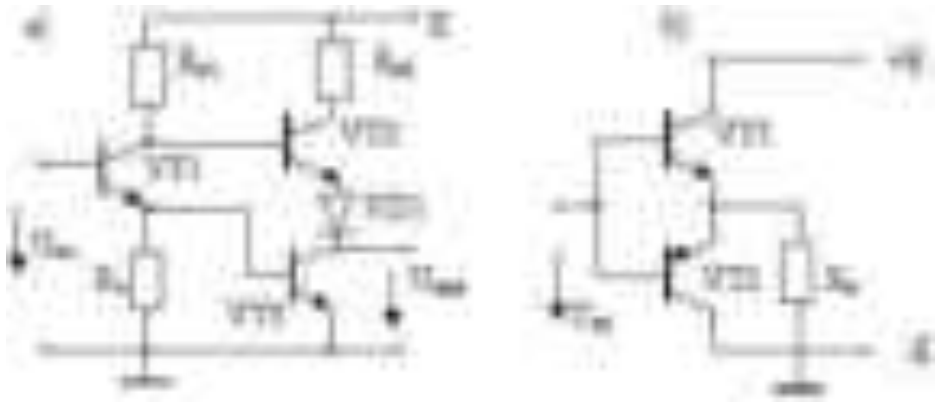


Рис. 10.16. Схемы ключей на биполярных транзисторах:
а – с управлением однополярным входным импульсом;
б – с управлением двухполярным входным импульсом

Ключевая схема, изображенная на рис. 10.16, *а*, служит простейшим выходным каскадом цифровых (логических) элементов на биполярных транзисторах (элементы серии ТТЛ).

В схеме ключа рис. 10.16, *а* при уровне входного сигнала $U_{вх} \le U_{оп}$ на выходе устанавливается выходной сигнал $U_{1п} \le U_{вых} < E$, где $U_{оп}$, $U_{1п}$ – пороговые значения соответственно низкого и высокого уровней входного сигнала. Транзисторы *VT*1, *VT*3 находятся в режиме отсечки, транзистор *VT*2 – в проводящем состоянии. При подаче на вход схемы $U_{вх} > U_{1п}$, транзистор *VT*1 открывается, транзистор *VT*3 переходит в режим насыщения, транзистор *VT*2 закрывается, на выходе устанавливается «нулевой» уровень выходного напряжения $U_{вых} \le U_{оп}$. Диод *VD*1 в схеме рис. 10.16, *а* служит для обеспечения чёткого переключения транзистора *VT*2. Схема, изображенная на рис. 10.16, *б*, часто используется как выходной каскад в операционных усилителях.

Ключи на полевых транзисторах (ПТ). Ключи на полевых транзисторах имеют широкое применение в качестве коммутаторов аналоговых сигналов (для этого используются ПТ с управляющим *p – n*-переходом или МОП-транзисторы с индуцированным каналом), а также для коммутации цифровых сигналов (только МОП транзисторы с индуцированным каналом). Примеры ключевых схем на полевых транзисторах разного типа представлены на рис. 10.17.

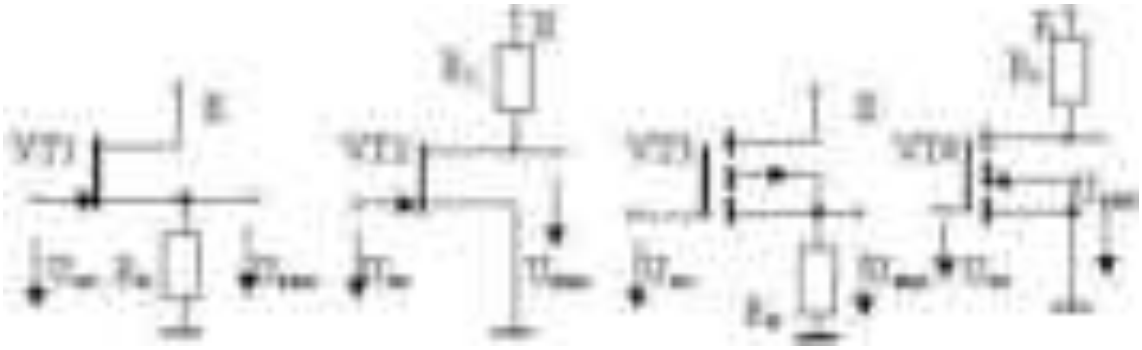


Рис. 10.17. Схемы ключей на полевых транзисторах

Основные достоинства ключей:

– малое остаточное напряжение в проводящем состоянии;

– высокое сопротивление в непроводящем состоянии;

– малая мощность управления; возможность коммутации электрических сигналов очень малого уровня.

Недостаток – сравнительно низкое быстродействие (по сравнению с ключами на биполярных транзисторах).

Для запирания ключей, выполненных на ПТ с управляющим *p–n*-переходом, к затвору следует приложить запирающее напряже- ние $U_{зап}$, по модулю большее напряжения отсечки, но меньшее допустимых для переходов затвор – исток, затвор – сток:

$$U_{зап} \geq [U_{зи\ отс} + (1 \div 3)\ В];\ U_{зап} \leq (U_{зс\ доп}, U_{зи\ доп}).$$

МОП-транзисторы с индуцированным каналом закрыты до тех пор, пока $U_{зи}$ и $U_{зс}$ меньше эффективного порогового напряжения: $(U_{зи}, U_{зс}) < U_{зи\ пор}$.

Входное сопротивление (по цепи затвора) ключей на ПТ при малой частоте коммутации составляет 10^8 – 10^9 Ом у ПТ с управляющим *p–n*-переходом, 10^{12} – 10^{14} Ом – у МОП-транзисторов. На высоких частотах сказываются емкости между стоком, истоком и затвором $C_{зс}$, $C_{зи}$, поэтому сопротивление ключа уменьшается. У МОП-транзисторов подложку обычно подключают к источнику питания требуемой полярности [подложку «*n*» – к (+*E*), подложку «*p*» – к (–*E*)].

В цифровых устройствах важно иметь стабильные уровни выходных напряжений. Для этого широко применяют ключи на комплементарных транзисторах – КМОП-ключи (рис. 10.18). Комплементарные транзисторы – это транзисторы, обладающие идентичными параметрами, но имеющие разный тип проводимости.

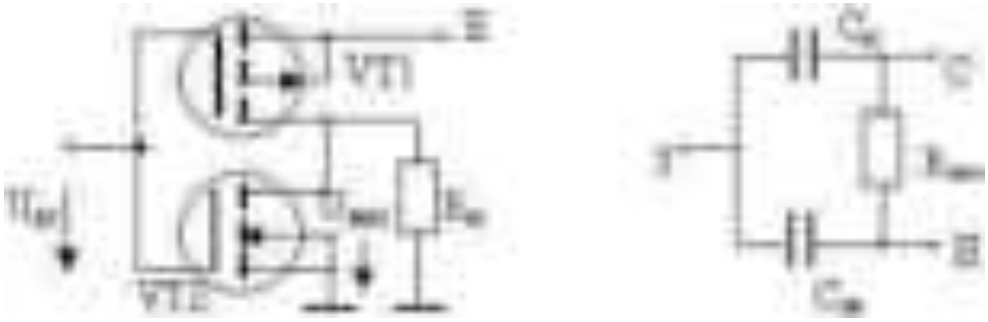


Рис. 10.18. Схема КМОП-ключа и схема замещения открытого МОП-транзистора: $R_н$ – сопротивление нагрузки; $R_{сио}$ – сопротивление сток – исток

КМОП-ключ работает следующим образом.

Если подано ($–U_{вх}$), открыт *VT*1 и резистор $R_н$ подключен к источнику питания. Если подано ($+U_{вх}$), открыт *VT*2 и вывод выходной цепи подключен к общей шине. При этом ток от источника сигнала не потребляется, т.е. в первом случае на резисторе $R_н$ устанавливается +*E*, во втором – нуль. На основе таких ключей созданы разнообразные микросхемы КМОП серий.

Эквивалентные схемы МОП-транзистора в открытом и закрытом состоянии существенно различаются, так как сопротивление сток – исток в открытом состоянии $R_{\text{сио}}$ на несколько порядков меньше, чем сопротивление $R_{\text{сиз}}$ в закрытом состоянии (рис. 10.19).

Ключи на МОП-транзисторах удобны тем, что могут пропускать ток в обоих направлениях, а цепь управления изолирована от коммутируемой цепи. Сопротивление канала открытого (нахо-дящегося в проводящем состоянии) ключа на МОП-транзисторе составляет (10 – 100) Ом, а быстродействие может достигать (3 – 5) нс [2].

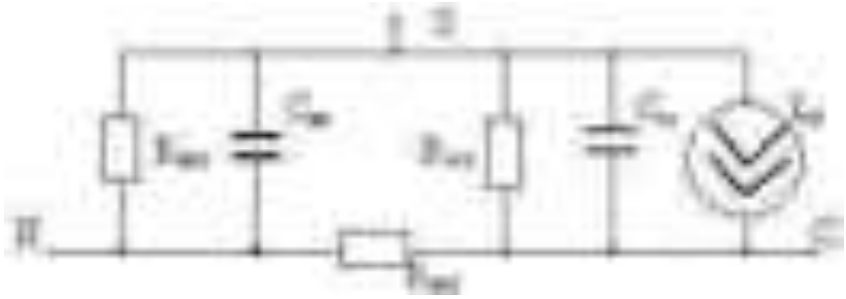


Рис. 10.19. Эквивалентная схема МОП-транзистора в закрытом состоянии

Чаще всего для построения ключей в интегральном исполнении используют КМОП-транзисторы. Это даёт возможность получить постоянное по величине сопротивление ключа в отрытом состоянии, не зависящее от величины и направления протекающего тока. Интегральное исполнение ключей позволяет в составе микросхемы сформировать элементы, необходимые для выдачи сигналов управления внешними нормированными сигналами логических элементов цифровых схем.

Сопротивление отрытого КМОП-ключа существенно зависит от температуры: оно увеличивается на (2 – 5) % на каждые 10 ºС. В закрытом состоянии через КМОП-ключ течёт обратный ток закрытого *p*–*n*-перехода [(0,1 – 10) нА при комнатной температуре], причём он увеличивается приблизительно в два раза на каждые 10 ºС.

Ключи на полевых транзисторах находят широкое применение не только как самостоятельные электронные элементы, но и как составная часть многих сложных электронных узлов. К таким узлам можно отнести аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобра-зователи, запоминающие устройства и многие другие устройства аналоговой и цифровой техники.

10.7. Использование МОП-ключей в электронных устройствах с переключаемыми конденсаторами

Как известно, основными компонентами интегральных схем (ИС) являются резисторы, конденсаторы и транзисторы (биполярные или (и) полевые), выполняющие функции усилительных и ключевых элементов.

В современной электронике наблюдается устойчивая тенденция вытеснения МОП-транзисторами других типов транзисторов практически во всех категориях ИС, кроме некоторых разновидностей прецизионных и высокочастотных аналоговых ИС. Это объясняется следующими основными преимуществами МОП-технологии ИС по сравнению с биполярными технологиями:

– существенно более высокой плотностью упаковки транзисторов на кристалле;

– простотой схемотехники и технологии изготовления МОП-ИС;

– на несколько порядков меньшей потребляемой мощностью при одинаковой функциональной сложности;

– на несколько порядков большим входным импедансом функциональных узлов ИС (что существенно упрощает сопряжение ИС между собой и управление их режимами и параметрами).

Кроме вышеперечисленных, важным преимуществом МОП-технологии ИС является простота реализации конденсаторов, функции которых при этом выполняют емкости затвор – канал МОП-транзисторов.

С другой стороны, при производстве МОП-ИС (как и биполярных) определенную сложность представляет изготовление резисторов в интегральном исполнении, а также обеспечение приемлемой точности изготовления таких резисторов и стабильности их характеристик во времени и при изменении температуры. В частности, типовая погрешность номинала резистора, изготовленного методом ионной имплантации, составляет порядка нескольких десятых процента, а его температурный коэффициент – несколько сотых долей процента на градус, в то время как аналогичные параметры для МОП-конденсатора примерно на порядок меньше [3].

В качестве радикального решения вышеуказанной проблемы было предложено реализовывать функции резисторов в МОП-ИС посредством переключаемых конденсаторов (ПК), состоящих из МОП-конденсаторов, коммутируемых ключами на МОП-транзисторах. ПК

при этом или выступают в качестве цепей прямой имитации резисторов, или (преимущественно в аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователях) служат для косвенной (функциональной) замены резисторов в кодоуправляемых источниках напряжения, а также в интеграторах [3, 10]. При этом для цепей прямой имитации резисторов посредством ПК характерно постоянное переключение конденсаторов в процессе работы, а для ПК, служащих для функциональной замены резисторов – периодическое выполнение некоторого рабочего цикла, состоящего из нескольких тактов коммутации, обычно с восстановлением начальных значений зарядов на конденсаторах перед каждым рабочим циклом.

С точки зрения теории цепей электронные устройства с переключаемыми конденсаторами (ЭУПК) относятся к дискретным системам с непрерывными (аналоговыми) входными сигналами, так как изменение во времени их выходных сигналов носит дискретный характер. Это означает, что информативными являются значения указанных сигналов только в некоторые моменты времени, соответствующие окончанию очередной фазы коммутации. Поэтому рассмотрение и анализ ЭУПК должно осуществляться с учетом дискретного характера их сигналов.

Необходимо также отметить, что корректное функционирование ЭУПК, как и других типов дискретных систем с непрерывными входными сигналами, возможно только при периоде дискретизации (применительно к ЭУПК – длительности фазы коммутации), намного меньшем периода наиболее высокочастотной из спектральных компонент входного сигнала.

Технология ПК позволяет:

– строить аналоговые и аналого-цифровые ИС на основе только МОП-транзисторов (однотипных элементов), выступающих как в качестве усилительных и ключевых элементов, так и конденсаторов (роль которых при этом играет емкость между затвором и каналом МОП-транзисторов) и элементов цепей имитации или функциональной замены резисторов;

– обеспечивать повышенную точность реализации резисторов и стабильность их сопротивления по сравнению с «классическими» методами их изготовления (например, ионной имплантацией), что обусловлено значительно более высокой точностью и стабильностью емкости МОП-конденсаторов и, тем более, периода коммутации ПК

по сравнению с аналогичными параметрами резисторов в интегральном исполнении, изготовленных «классическими» методами [3];

– достаточно просто реализовывать аналоговые устройства с цифровым управлением параметрами (например, фильтры с управляемой частотой среза).

Естественно, технология ПК не свободна от недостатков, основными из которых являются [3, 10]:

– существенные погрешности имитации или функциональной замены резисторов на частотах, превышающих 10 – 20 % частоты коммутации;

– характерный для всех дискретных систем эффект наложения спектров (элайзинга), заключающийся в искажении спектра выходного сигнала ЭУПК при наличии во входном сигнале составляющих с частотами выше половины частоты коммутации;

– наличие на выходе ЭУПК наводок, обусловленных процессами коммутации; частота данных наводок совпадает с частотой коммутации, а амплитуда обычно составляет порядка единиц – десятков милливольт.

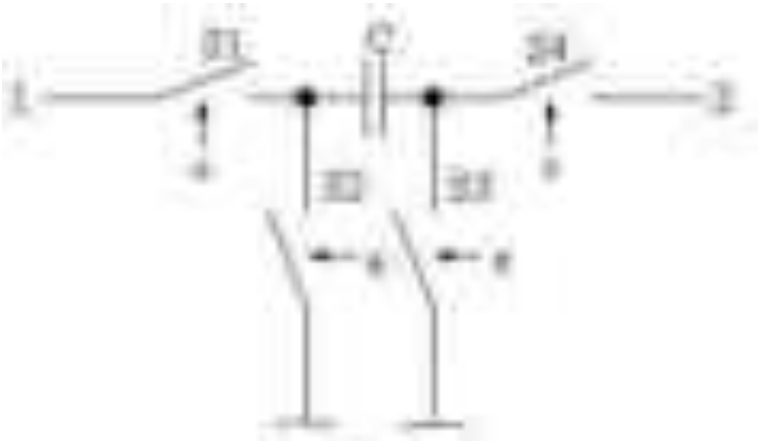
Однако ввиду того, что на практике частота коммутации на несколько порядков превышает верхнюю граничную частоту информативного входного и выходного сигнала ЭУПК, влияние перечисленных недостатков на функционирование ЭУПК достаточно легко сводится к минимуму. Эффекты, обусловленные первыми двумя из них, устраняются включением на входе ЭУПК ФНЧ (фильтра низкой частоты) с частотой среза, намного меньшей частоты коммутации, а наводки на выходе ЭУПК – включением на нем аналогичного ФНЧ. Обычно указанные ФНЧ или компоненты для их реализации входят в состав ИС на ПК.

Вышесказанное, в целом, обусловливает весьма широкое применение технологии ПК в современных аналоговых и аналого-цифровых ИС.

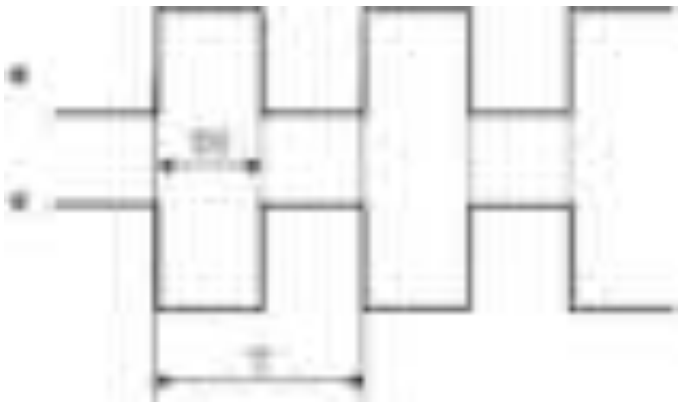
Рассмотрим общие принципы реализации ЭУПК, основанных как на прямой имитации, так и на косвенной замене резисторов.

ЭУПК на основе прямой имитации резисторов. Физический принцип прямой имитации резисторов посредством коммутации конденсаторов может быть пояснен на примере ПК, функциональная схема которого представлена на рис. 10.20, *а*, а временные диаграммы сигналов управления его ключами показаны на рис. 10.20, *б*. Буквами

e и *o* обозначены сигналы управления ключами, активные в течение четной и нечетной фаз коммутации, от английских слов «even» – четный и «odd» – нечетный. Длительности четной и нечетной фаз коммутации ПК всегда равны между собой, а управляющие сигналы четной и нечетной фаз взаимно инверсны.



а



б

Т – период коммутации

Рис. 10.20. Пример цепи прямой имитации резистора на ПК (*а*) и временные диаграммы сигналов управления ее ключами (*б*)

В течение нечетных фаз коммутации, т.е. при замыкании ключей S1 и S4, конденсатор заряжается напряжением, приложенным между точками 1 и 2. При размыкании ключей S1 и S4 и замыкании управляемой в противофазе с ними пары ключей S2 и S3 (в течение четных фаз) конденсатор разряжается. Период циклов его заряда и разряда совпадает с периодом сигналов управления ключами, а длительности данных циклов равны половине периода указанных сигналов.

С физической точки зрения, принцип имитации резистора посредством ПК можно пояснить следующим образом. Как известно, конденсатор проводит электрический ток только в процессе заряда/разряда. Поэтому ПК, функционирующий в режиме периодического заряда с последующим разрядом можно рассматривать как структуру, способную проводить ток любой частоты, в том числе постоянный.

Определим эквивалентное сопротивление между точками 1 и 2 представленного на рис. 10.20, *а*, ПК в простейшем с точки зрения анализа случае – при пренебрежимо малом сопротивлении между каждой из указанных точек и общей шиной. Это имеет место, например, при работе данного ПК в качестве входного резистора интегратора на операционном усилителе (ОУ) [6], при пренебрежимо малом выходном сопротивлении источника входного напряжения интегратора. На рис. 10.21, *а*, и 10.21, *б*, приведены эквивалентные схемы указанного ЭУПК в каждой из двух фаз коммутации. Для упрощения полагаем, что конденсаторы, ключи и ОУ идеальны (в частности, коэффициент усиления и входное сопротивление ОУ бесконечно велики [6]).

Очевидно, эквивалентное сопротивление ПК равно отношению среднего за период коммутации значения напряжения на нем к среднему значению тока через ПК за указанный период. Среднее за период коммутации T напряжение на ПК анализируемого ЭУПК, описывается следующим выражением:

$$\overline{U_{C1}} = \frac{1}{C1}\int_0^T i_{C1}(t)\cdot dt,$$

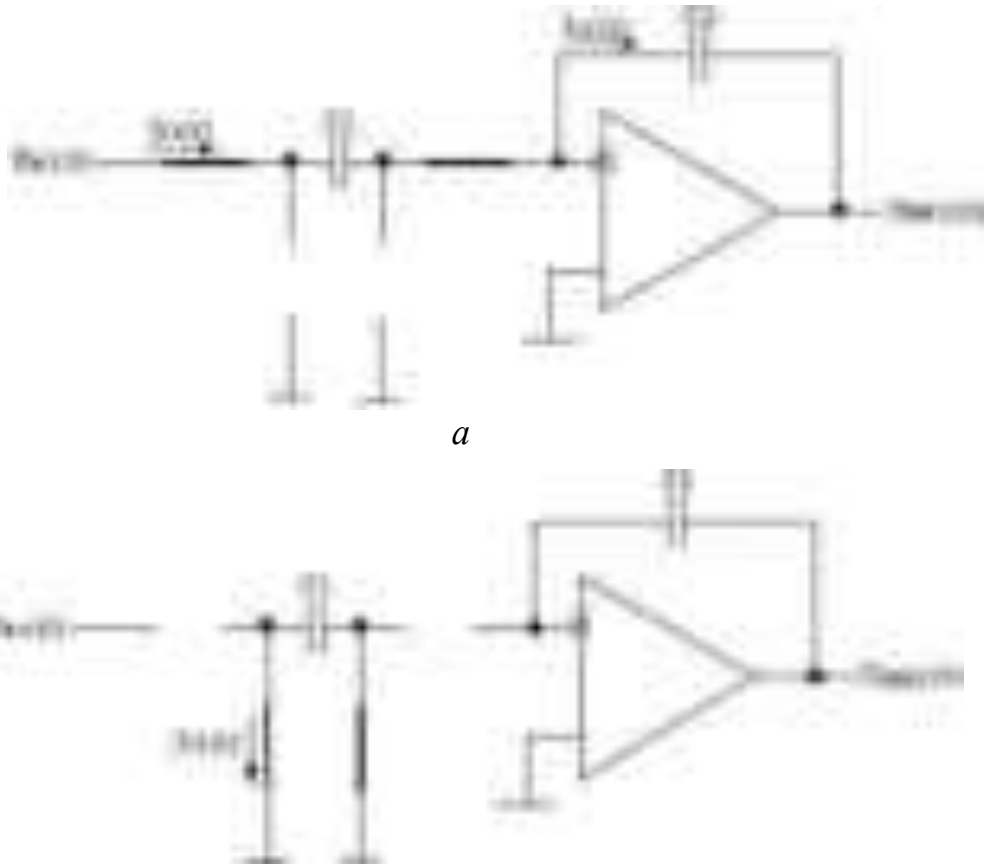
откуда получаем, что:

$$\overline{U_{C1}} = \frac{\overline{I_{C1}}}{C1}T,$$

где $\overline{I_{C1}}$ – среднее за период коммутации значение тока через ПК.

Следовательно, эквивалентное сопротивление анализируемого ПК равно:

$$R_{Э} = \frac{\overline{U_{C1}}}{\overline{I_{C1}}} = \frac{T}{C1}.$$



а

б

Рис. 10.21. Эквивалентные схемы интегратора на ПК в нечетных (*а*) и четных (*б*) фазах коммутации

На частотах, много меньших частоты коммутации, падение напряжения на ПК и ток через него можно приближенно считать постоянными в течение периода коммутации. Поэтому в данном частотном диапазоне верно соотношение:

$$\frac{u_{C1}(t)}{i_{C1}(t)} \approx \frac{T}{C1}.$$

Таким образом, на частотах, много меньших частоты коммутации, данный ПК эквивалентен резистору с сопротивлением, прямо пропорциональным периоду коммутации и обратно пропорцио-нальным емкости ПК.

Естественно, кроме рассмотренной выше цепи имитации резистора на ПК, известно достаточно много вариантов реализации подобных цепей.

В общем случае, на частотах, намного меньших частоты коммутации, эквивалентный импеданс цепи прямой имитации резистора на базе ПК равен kT/C, где k – коэффициент, зависящий от конкретной конфигурации ПК, а также от соотношения между емкостью ПК и выходной емкостью источника сигнала, с одной стороны, и емкостью нагрузки – с другой [10]. Необходимо также отметить, что корректное функционирование указанных цепей возможно только при емкостном характере как выходного импеданса источника сигнала, так и нагрузки [3, 10].

ЭУПК на основе косвенной замены резисторов. В ЭУПК указанного класса ПК служат преимущественно в качестве элементов кодоуправляемых источников напряжения [3, 10]. Принцип действия таких источников основан на задании их выходных напряжений путем комбинирования и перераспределения зарядов (напряжений) на коммутируемых конденсаторах, входящих в состав указанных источников.

Базовыми положениями при анализе указанных ЭУПК являются следующие [3, 10]:

– *в установившемся режиме* заряд конденсатора Q_C и приложенное к нему напряжение U_C связаны соотношением:

$$Q_C = U_C \times C, \tag{10.17}$$

общий заряд n параллельно соединенных конденсаторов равен сумме их зарядов:

$$Q_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} Q_{Ci}, \tag{10.18}$$

а при последовательном соединении n конденсаторов их заряды равны между собой:

$$Q_{C1} = Q_{C2} = \ldots = Q_{Cn}; \tag{10.19}$$

– *при коммутации* напряжение на конденсаторе не может изменяться скачкообразно.

Основными разновидностями ЭУПК на основе косвенной замены резисторов являются *цифро-аналоговые* и *аналого-цифровые преобразователи* (ЦАП и АЦП) на ПК.

Подробное изложение вопросов реализации и анализа ЭУПК на основе косвенной замены резисторов представлено в [3] и [10].

МОДУЛЬ 3. ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

11. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЛОГИЧЕСКИХ (ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ) ФУНКЦИЙ

11.1. Логические функции и элементы

В подавляющем большинстве ЭВМ и цифровых устройств обрабатываемая информация представлена в виде двоичных чисел. Переменные величины и функции от них, которые могут принимать только два значения 1 и 0, называются логическими переменными и логическими (переключательными) функциями. Свойства логических функций изучает алгебра логики, а реализация логических функций осуществляется функциональными устройствами, называемыми логическими элементами.

Значениям переменных 1 и 0 ставятся в соответствие символы двоичного алфавита 1 и 0, а также физические аналоги – два хорошо различимых значения напряжения, тока, электрического сопротивления, магнитной индукции. Величина и полярность уровней (например, напряжения), которым ставятся в соответствие символы 0 и 1, выбираются из соображений удобства технической реализации и заданной помехоустойчивости.

В основе цифровой техники лежит использование логических или переключательных схем. Различают два класса логических схем [16]:

1. Комбинационные схемы, в которых значение выходной переменной зависит только от значений входных переменных в данный момент времени.

2. Последовательностные схемы, в которых значение выходной переменной зависит не только от значений входных переменных в данный момент, но и от состояний элементов памяти, заданных в предыдущих тактах работы.

Функционирование любого, сколь угодно сложного цифрового устройства можно описать двояким образом: аналитически или

с помощью таблиц. Распространены комбинационные схемы, имеющие *m* логических входов и *n* логических выходов (рис. 11.1).

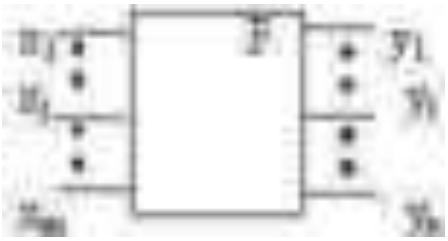


Рис. 11.1. Блок-схема цифрового устройства

Если x_1, x_2, …. x_j, … x_m – информационные значения независимых входных (управляющих) сигналов, а y_1, y_2, … y_i, ... y_n – информационные значения выходных сигналов, то комбинационная схема может быть описана системой уравнений:

$$\left\| Y_i = F(X_i) \right\|. \qquad (11.1)$$

Функцию Y_i называют логической (булевой или переключательной). При наличии *m* независимых входных переменных, каждая из которых может принимать два значения (1 или 0), максимальное число возможных наборов из этих переменных будет $A = 2^m$, а максимально возможное число значений функций определится соотношением $N_m = 2^A$.

Можно задать систему уравнений (11.1) в виде таблиц, называемых *таблицами истинности.* Таблицы и аналитические выражения используются для анализа и синтеза устройств с наименьшим количеством элементов [16].

В алгебре логики основными считаются такие функции (операции), при помощи которых можно записать любую сложную логическую функцию и распространить их действие на любое количество переменных. Такими основными функциями являются следующие три:

1) *инверсия* (отрицание) – операция НЕ;

2) *конъюнкция* (логическое умножение) – операция И;

3) *дизъюнкция* (логическое сложение) – операция ИЛИ.

Сущность логической операции инвертирования состоит в отрицании первичного высказывания. С помощью логической операции НЕ можно переводить прямой код в обратный и наоборот. Обратным кодом при положительном кодировании называется такой, в котором истинному логическому высказыванию соот-

ветствует нулевой сигнал (цифра 0), а ложному – единичный сигнал (цифра 1). В математической логике высказывания оцениваются двумя критериями: оно может быть «истинным» или «ложным». Этому можно поставить в соответствие цифры 1 и 0, либо сигналы, условно соответствующие этим цифрам. Аналитически операция НЕ записывается в виде $y = \bar{x}$ (читается «игрек равен не икс»). Табличное представление этой функции (таблица истинности) и условное графическое обозначение (УГО) элемента (инвертора), реализующего эту функцию, показаны на рис. 11.2.

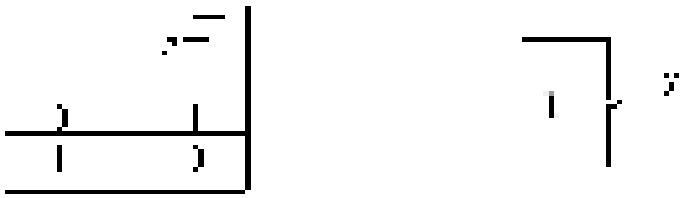


Рис. 11.2. Таблица истинности и УГО инвертора

Конъюнкция – операция И или логическое произведение, является сложным высказыванием, истинным только в единственном случае, когда истинны все элементарные высказывания. Аналитически эта операция записывается следующим образом:

$$y = x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_m. \qquad (11.2)$$

Принятая форма записи наглядно показывает, что функция «*y*» обращается в нуль, если хотя бы один из аргументов принимает нулевое значение. Таблицы истинности и условные обозначения некоторых конъюнкторов показаны на рис. 11.3.

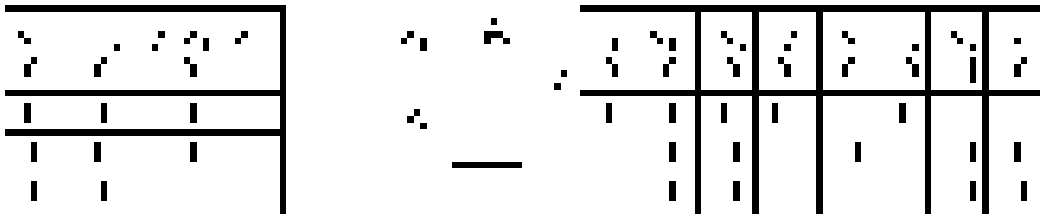


Рис. 11 3. Таблицы истинности для конъюнкторов с двумя и тремя аргументами и УГО двухвходового конъюнктора

Дизъюнкция – логическая сумма (операция ИЛИ) является сложным высказыванием, истинным, если истинно не менее чем одно элементарное высказывание. Аналитическое выражение этой операции имеет вид:

$$y = x_1 + x_2 + \ldots . + x_n. \qquad (11.3)$$

Графическое изображение двухвходового дизъюнктора и его таблица истинности показаны на рис. 11.4.

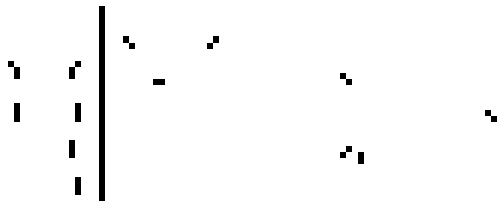


Рис. 11.4. Таблица истинности и УГО
двухвходового элемента ИЛИ

Логические функции конъюнкции и дизъюнкции обладают свойством *двойственности,* которое заключается в том, что одна и та же функция в зависимости от способа кодирования уровней сигналов значениями 0 и 1 может выполнять функции либо И, либо ИЛИ. Сравнивая таблицы истинности этих функций, можно заметить, что таблица истинности для элемента И соответствует операции И для положительной логики (когда высокий уровень – «истинно» соответствует 1, а низкий – «ложно» соответствует 0). С другой стороны, эта же таблица выражает операцию ИЛИ для негативной логики (когда в качестве высокого уровня – «истинно» принят 0, а в качестве низкого уровня «ложно» принята 1). Чаще всего используется положительная логика, поэтому в дальнейшем рассматриваются функции для неё.

Для лучшего усвоения понятий конъюнкции, дизъюнкции и свойства двойственности на рис. 11.5 показаны электромеханические эквиваленты операций И и ИЛИ. Если за 1 принять наличие напряжения на резисторе, а за 0 – отсутствие напряжения (положительное кодирование), то схема на рис. 11.5, *а* реализует операцию ИЛИ, а схема на рис. 11.5, *б* – операцию И. Если за единицу принять отсутствие напряжения на резисторе, а за 0 – наличие напряжения (отрицательное кодирование), то схема на рис. 11.5, *а* реализует операцию И, а схема на рис. 11.5, *б* – операцию ИЛИ. Соответственно можно условиться, что при положительном кодировании разомкнутое положение ключа соответствует логическому нулю, а замкнутое положение – логической единице, и наоборот – при отрицательном кодировании.

Алгебра логики допускает возможность образования сложных функций, т.е. функций, аргументы которых являются функциями других двоичных аргументов. Например, если $Y = y(z_1, z_2)$,

а $z_1 = f_1(x_1, x_2)$ и $z_2 = f_2(x_3, x_4)$, то очевидно, что $Y = y(x_1, x_2, x_3, x_4)$. Такая операция замены аргументов одной функции другими функциями называется *суперпозицией* функций. Эта операция дает возможность с помощью функций меньшего числа аргументов получать функции большего их числа. Набор двоичных функций, который обеспечивает представление любой другой функции посредством суперпозиции функций этого набора, называют функционально полным.

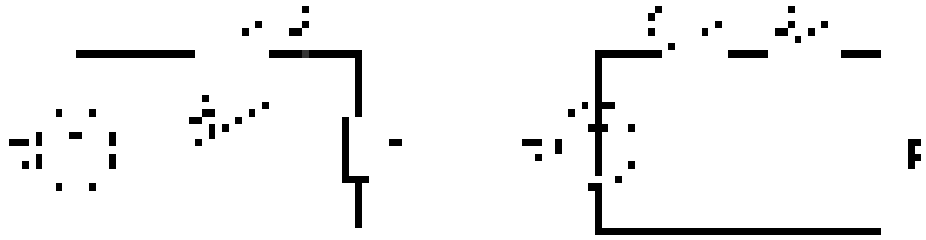


Рис. 11.5. Электромеханические эквиваленты операций ИЛИ и И

Например, из функций двух переменных можно составить значительное число различных функционально полных наборов. Так функционально полные наборы образуют функции инверсии и конъюнкции, инверсии и дизъюнкции. Сочетания этих функций широко используются при синтезе электронных устройств.

Инверсия логической суммы двух величин (элемент ИЛИ-НЕ) носит название *стрелка Пирса*, её аналитическое представление имеет вид:

$$y = \overline{x_1 + x_2} \quad \text{или} \quad y = x_1 \downarrow x_2 . \qquad (11.4)$$

Инверсия логического произведения двух величин (элемент И-НЕ) носит название *штрих Шеффера*, его аналитическое представление показано ниже:

$$y = x_1 \cdot x_2 \text{ или } y = x_1 / x_2. \qquad (11.5)$$

Набор функций дизъюнкции, конъюнкции и инверсии, рассмотренных выше, получил название основного функционально полного набора.

11.2. Аксиомы, законы, тождества и теоремы алгебры логики (булевой алгебры)

В алгебре логики любая переменная может иметь состояние «0» или «1», поэтому каждой двоичной переменной, например X, ставит-

ся в соответствие обратная или дополнительная к ней (инверсная) переменная, такая, что:

$$\text{если } X = 0, \text{ то } \overline{X} = 1; \text{ если } X = 1, \text{ то } \overline{X} = 0.$$

Правила (законы), характеризующие операции дизъюнкцию (логическое сложение), конъюнкцию (логическое умножение), инверсию (логическое отрицание) приведены в табл. 11.1.

Для алгебры логики, как и для обыкновенной алгебры, действительны следующие законы:

– закон коммутативности (переместительный закон) для логического сложения и умножения: $x + y = y + x$; $x \cdot y = y \cdot x$;

– закон ассоциативности (сочетательный закон) для логического сложения и умножения: $x + y + z = (x + y) + z = x + (y + z)$;

– закон дистрибутивности логического умножения по отношению к сложению (распределительный закон):

$x\,(y + z) = xy + xz$.

Следует предостеречь, что в булевой алгебре не действуют правила вычитания и деления обычной алгебры. Величины в алгебре логики не могут делиться, а потому в ней нельзя сокращать общий множитель. В булевой алгебре имеются специфические операции, отсутствующие в обычной алгебре, например, «склеивание», «поглощение».

1. Операция склеивания (правило склеивания): $xy + x\overline{y} = x$; $(x + y) \cdot (x + \overline{y}) = x$.

Второе выражение является двойственным первому. В алгебре Буля двойственные выражения получаются путем одновременной замены операций ИЛИ операциями И и наоборот – операций И на операции ИЛИ, а также заменой всех логических нулей единицами и всех единиц нулями.

2. Операция поглощения: $x + xy = x$; $x(x + y) = x$.

3. Операция (функция) неравнозначности (ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, обозначается знаками «⊕», «∇» или «∀»): $\overline{x}y + x\overline{y} = x \oplus y$.

Логическая функция, называемая ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, в отличие от операции ИЛИ («*x* или *y,* или *x* и *y* оба вместе») означает: «только *x* или только *y*». Таблица истинности для двух функций показана на рис. 11.6.

В двоичной системе операция ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ аналогична (по виду таблицы) результату арифметического сложения двух бинарных чисел, поэтому называется «суммой по модулю 2» или полусуммой.

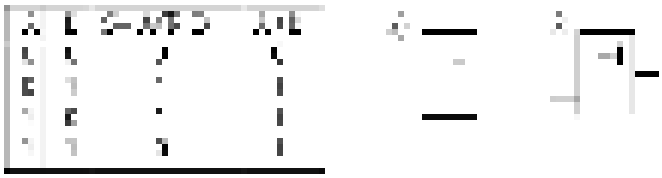
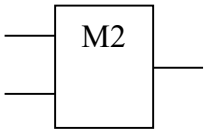


Рис. 11.6. Таблица истинности для функций двух переменных ИЛИ и ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ и условные графические изображения логических элементов: *а* – элемент ИЛИ, *б* – элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

Аксиомы для логической функции ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ имеют вид:

$$x \oplus 0 = x;\ x \oplus x = 0;\ x \oplus \overline{1} = x;\ \overline{x} \oplus x = 1.$$

В литературе часто используется ещё одно условное изображение элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ:



Перечень основных законов и тождеств алгебры Буля приведен в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Законы булевой алгебры

№	Название	Форма записи	
		а	*б*
1	Закон нулевого множества	$x + 0 = x$	$x \cdot 0 = 0$
2	Законы универсального множества (сложения с единицей и умножения на 1)	$x + 1 = 1$	$x \cdot 1 = x$
3	Законы инверсии (теоремы де Моргана). Инверсия суммы есть произведение слагаемых, инверсия произведения есть сумма инверсий сомножителей	$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$; $\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}$	$\overline{\overline{x_1} + \overline{x_2}} = \overline{\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}}$; $\overline{\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}} = \overline{\overline{x_1}} + \overline{\overline{x_2}}$
4	Закон двойного отрицания	$\overline{\overline{x}} = x$	

Окончание табл. 11.1

№	Название	Форма записи	
		а	*б*
5	Закон тождества (повторения, тавтологии)	$x + x = x$	$x \cdot x = x$
6	Закон исключённого третьего (противоречия, дополнительности, правило отрицания)	$x + \bar{x} = 1$	$x \cdot \bar{x} = 0$
7	Закон коммутативности (переместительный)	$x_1 + x_2 = x_2 + x_1$	$x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$
8	Ассоциативный закон (сочетательный)	$x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + x_2 + x_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3)$
9	Дистрибутивный закон (распределительный)	$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3$; $(x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3) = x_1 + x_2 \cdot x_3$	
10	Закон обращения	Если $x_1 = x_2$, то $\overline{x_1} = \overline{x_2}$	
11	Закон поглощения (абсорбции)	$x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1$	$x_1 \cdot (x_1 + x_2) = x_1$
12	Закон склеивания	$(x_1 + \overline{x_2}) \cdot (x_2 + x_1) = x_1$	$x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2 = x_1$

Законы 5, 7, 8, 9, 11, 12 называют комбинационными законами [32].

11.3. Представление и преобразование логических функций

Логическая функция может быть записана аналитически различными сочетаниями логических операций. Однако с точки зрения представления логических функций и последующего синтеза логической схемы наиболее удобны формы записи, при которых функция выражается либо в виде суммы произведений переменных, либо в виде произведения их сумм.

Первая запись (сумма произведений переменных) называется дизъюнктивной нормальной формой (ДНФ). Например:

$$F = x_1 + \bar{x}_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 .$$

Вторая форма (произведение сумм переменных) называется конъюнктивной нормальной формой (КНФ). Например:

$$F_1 = x_1 \cdot (x_1 + x_2) \cdot (x_2 + x_3) \cdot (\bar{x}_1 + x_2 + x_3) .$$

При этом инверсия любой функции, записанной в ДНФ, дает запись в КНФ и наоборот. Например:

$$F = x_1 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3;$$

$$\bar{F} = \bar{x}_1 \cdot (\bar{x}_2 + x_3) \cdot (\bar{x}_1 + x_2 + \bar{x}_3).$$

Это доказывается с помощью *теоремы Шеннона*, обобщившего законы де Моргана. Теорема утверждает, что инверсия любой функции получается заменой каждой переменной ее инверсией и одновременно взаимной заменой символов сложения (дизъюнкции) и умножения (конъюнкции).

При применении правила следует строго придерживаться группировки членов. Например: $F = x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot x_2 = x_1 \oplus x_2$ – функция неравнозначности.

Определение инверсии по теореме Шеннона даёт функцию равнозначности: $\bar{F} = (\bar{x}_1 + x_2) \cdot (x_1 + \bar{x}_2) = x_1 \cdot x_2 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$.

Логическую функцию, заданную любым аналитическим выражением, можно преобразовать к ДНФ и КНФ, пользуясь правилами алгебры логики, при этом может существовать несколько равносильных ДНФ и КНФ. Оказалось, что имеется только один вид ДНФ и КНФ, в которых функция может быть записана единственным образом: это так называемые *совершенные нормальные формы* – СДНФ и СКНФ.

В СДНФ каждое входящее слагаемое включает все переменные (они могут быть с инверсиями или без них) и нет одинаковых слагаемых. В СКНФ каждый сомножитель включает все переменные (они могут быть с инверсиями или без них) и нет одинаковых сомножителей.

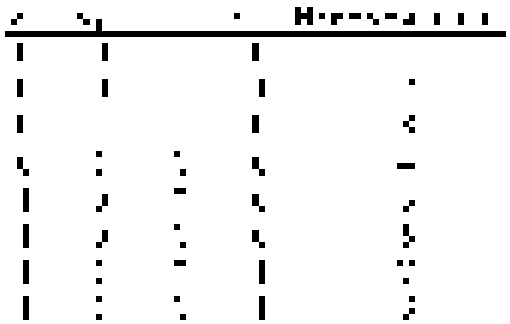
Логическая функция наиболее наглядно и полно представляется так называемой таблицей соответствия или истинности, в которой для каждой комбинации значений переменных указывается значение функции. По сути это алгоритм работы синтезируемой цифровой системы. От табличной формы представления функции можно перейти к её аналитической записи в виде СДНФ или СКНФ. Например, функция $F(x_1, x_2, x_3)$ задана табличными значениями (табл. 11.2). Требуется записать её в виде СДНФ и СКНФ.

Анализ табл. 11.2 показывает, что для комбинаций 2, 7, 8, где $F = 1$, справедливы логические произведения: $\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 = 1$; $x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 = 1$; $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = 1$.

Комбинации, при которых функция истинна (F = 1), называют конституентами единицы или минтермами (конституировать – устанавливать, определять состав, содержание). Представление логической функции в виде логической суммы минтермов определяет ее СДНФ: $F = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$.

Таблица 11.2

Таблица истинности функции F



Функцию можно представить не только ее единичными, но и нулевыми значениями, как инверсиями единицы. Из таблицы видно, что $F = 0$ или $\overline{F} = 1$, если $\overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} = 1$; $\overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} = 1$; $\overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 = 1$; $x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} = 1$; $x_1 \cdot x_3 \cdot \overline{x_2} = 1$.

Тогда функцию $\overline{F}$ можно представить в виде логической суммы:

$$\overline{F} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot x_3 \cdot \overline{x_2}.$$

Используя теорему Шеннона, получим произведение сумм переменных, для чего ещё раз инвертируем инверсию функции F:

$$\overline{\overline{F}} = F = (x_1 + x_2 + x_3) \cdot (x_1 + \overline{x_2} + x_3) \cdot (x_1 + \overline{x_2} + \overline{x_3}) \cdot (\overline{x_1} + x_2 + x_3) \cdot (\overline{x_1} + x_3 + \overline{x_2}).$$

Каждый сомножитель в полученном выражении состоит из суммы тех переменных, для которых функция обращается в нуль в соответствии с таблицей истинности. Такие суммы называют конституентами нуля или макстермами. Произведение макстермов определяет СКНФ функции F.

11.4. Понятие о минимизации логических функций

Минимизация функции – это упрощение формы её записи с целью реализации с наименьшим числом элементов. Алгебра логи-

ки располагает приёмами, разработанными на основе её законов, позволяющими производить минимизацию достаточно просто. Если число переменных не превышает четырёх, удобен метод карт Карно. Карта Карно представляет собой графическое изображение значений всех возможных комбинаций переменных – это по сути наглядное представление всех минтермов заданного числа переменных, размещенных в клетках карты определенным образом. Для представления способов размещения минтермов изобразим карты Карно для двух, трёх и четырёх переменных и запишем в клетки соответствующие минтермы.

В карте минтермы расположены так, что минтермы соседних клеток отличаются значением только одной переменной. При этом соседними считаются также крайние клетки столбца или строки. Прямое значение переменной обозначается символом 1, инверсное – символом 0. Порядок чередования значений переменных в строках и столбцах: 00, 01, 11, 10 (как показано на рис. 11.7).

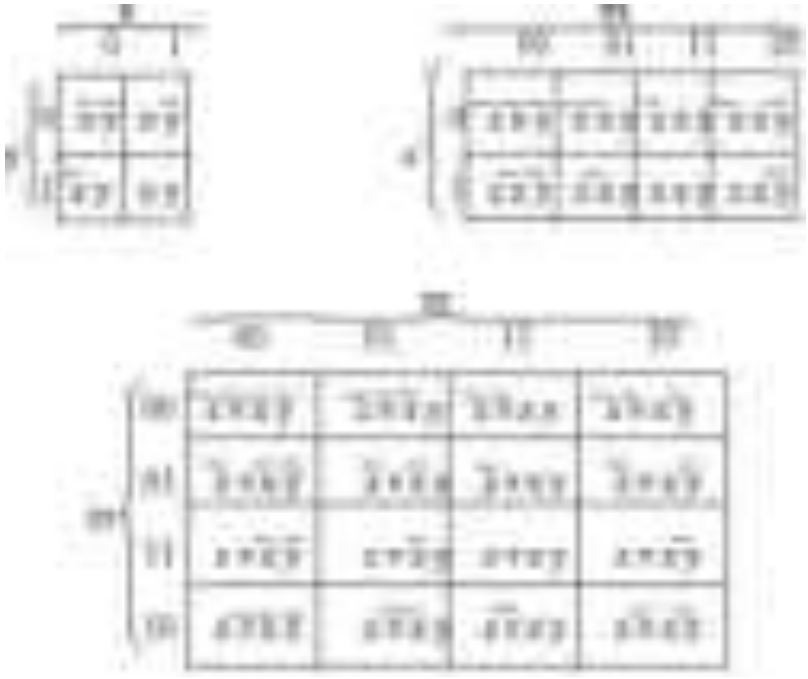


Рис. 11.7. Карты Карно для двух (x, y), трёх (z, x, y) и четырёх (z, v, x, y) переменных

Минтермы минимизируемой функции отмечают единицами в соответствующих клетках карты. Минтермы, не входящие в функцию, отмечают в клетках нулями или пустыми клетками. На основании дистрибутивного (распределительного) закона: $(x + y) \times$

$\times\cdot(x + z) = x + yz$, а также логических соотношений $x + 0 = x$, $x + 1 = 1$, $x + \bar{x} = 1$, $x \cdot \bar{x} = 0$ можно доказать, что группа из двух минтермов, находящихся в соседних клетках, может быть заменена одним логическим произведением, содержащим на одну переменную меньше. Если соседними являются две пары минтермов, то такая группа из четырех минтермов может быть заменена произведением, содержащим уже на две переменные меньше и т.д. В общем случае наличие 2^n соседних минтермов позволяет заменить их произведениями, содержащими на n (n = 1, 2, 3) переменных меньше. В этом и состоит суть метода минимизации с применением карт Карно (карты Карно часто называют диаграммами Вейча) [46].

Рассмотрим процесс минимизации на примере функции четырёх переменных x, y, z, v, заданной следующим логическим выражением: $F = yvz + \bar{x}yv + \bar{y}\bar{v}z + \bar{x}y\bar{z}$.

Для представления функции F в виде логической суммы минтермов преобразуем её следующим образом: каждое слагаемое умножим на единичное значение, образованное логической суммой прямого и инверсного значения той переменной, которой недостаёт для полного набора в каждом слагаемом.

$$\bar{F} = yvz(\bar{x} + x) + \bar{x}yv(z + \bar{z}) + \bar{y}\bar{v}z(x + \bar{x}) + \bar{x}y\bar{z}(v + \bar{v}) =$$

$$= \bar{x}yvz + xyvz + \bar{x}yvz + \bar{x}yv\bar{z} + x\bar{y}\bar{v}z + \bar{x}\bar{y}\bar{v}z + \bar{x}yv\bar{z} + \bar{x}y\bar{v}\bar{z}.$$

Заменяя группы повторяющихся выражений одним соответствующим выражением, получим функцию в виде СДНФ:

$$F = xyvz + \bar{x}yvz + x\bar{y}\bar{v}z + \bar{x}yv\bar{z} + xy\bar{v}\bar{z} + \bar{x}\bar{y}vz.$$

Анализ показывает, что функция четырёх переменных получена в виде суммы шести минтермов (в каждом слагаемом содержатся все переменные и нет одинаковых слагаемых). Для осуществления минимизации следует использовать карту Карно для четырёх переменных. Таким образом, в карте Карно из шестнадцати клеток функцию будут представлять минтермы, размещённые в шести клетках. Обозначая места размещения минтермов в клетках единицами, заполняем карту, как показано на рис. 11.8.

Выделяем группы соседних минтермов, учитывая, что крайние клетки столбцов и строк являются тоже соседними. На карте выделенные группы отмечены пунктирными контурами и цифрами мелкого шрифта. Первая группа: $\bar{x}yv\bar{z} + \bar{x}yv\bar{z} = \bar{x}y\bar{z}$. Вторая группа: $xyvz + \bar{x}yvz = yvz$. Третья группа: $\bar{x}\bar{y}\bar{v}z + x\bar{y}\bar{v}z = \bar{y}\bar{v}z$.

Итак, минимизированная функция, выраженная в ДНФ, будет иметь вид:

$$F = \bar{x}y\bar{z} + yvz + \bar{y}\bar{v}z \ .$$

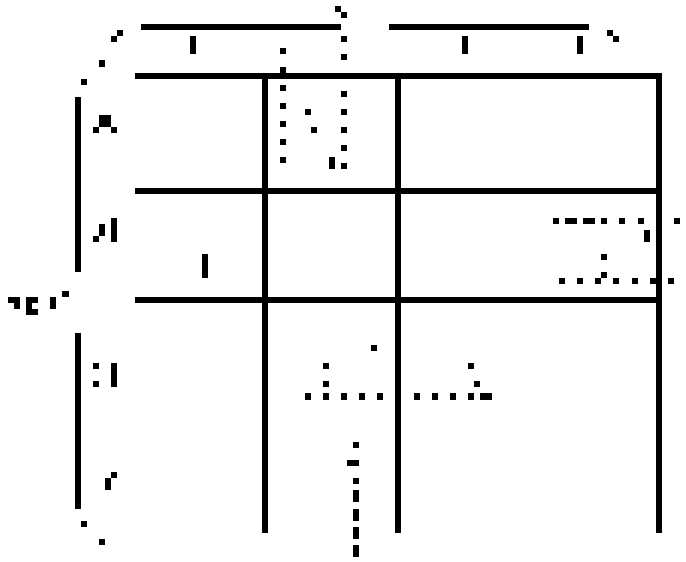


Рис. 11.8. Карта Карно для минимизируемой функции

Непосредственная реализация функции по полученному выражению требует использования четырёх инверторов, двух логических элементов ИЛИ, трёх логических элементов И с тремя входами. Такая реализация нерациональна. С точки зрения уменьшения аппаратных затрат часто желательно иметь функцию в виде произведения. Для преобразования функции воспользуемся теоремой де Моргана (Шеннона), дважды инвертируя минимизированную функцию:

$$\overline{\overline{F}} = \overline{\overline{\bar{x}y\bar{z} + yvz + \bar{y}\bar{v}z}} \ ; \ F = \overline{\overline{\bar{x}y\bar{z}} \cdot yvz \cdot \overline{\bar{y}\bar{v}z}} \ .$$

В полученном выражении отсутствуют операции логического сложения, следовательно, аппаратная реализация может быть осуществлена без логических элементов ИЛИ. Следует отметить, что минимизация логических выражений имеет целью обеспечение условий оптимальной реализации электронных устройств, использующих логические элементы. Критерии оптимальности при этом определяются конкретными условиями проектирования и использования электронных устройств. Здесь эти вопросы не рассматриваются, поэтому покажем только упрощенную структурную

схему алгоритма минимизации сложной логической функции (рис. 11.9).

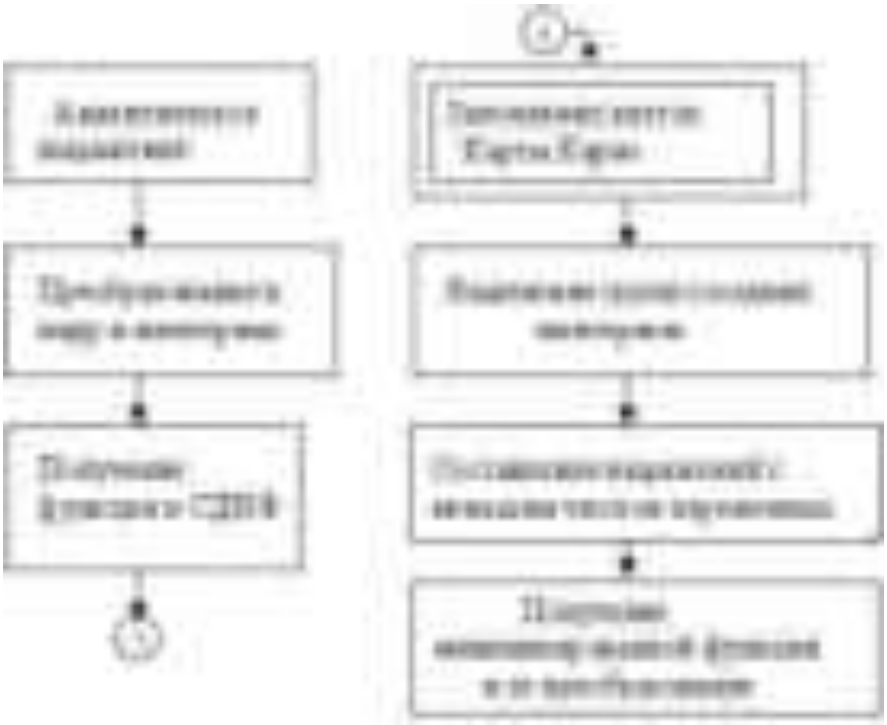


Рис. 11.9. Структурная схема алгоритма минимизации логической функции

11.5. Структура и принцип действия логических элементов

Для построения логических элементов, как устройств электронной техники, в основном используются элементы Шеффера и Пирса, которые являются основными представителями современной потенциальной системы логических элементов. Можно доказать, что достаточно иметь набор одинаковых логических элементов (И-НЕ, либо ИЛИ-НЕ), чтобы только на них построить все многообразие логических схем. Однако такой способ чаще всего оказывается нерациональным, так как требует большого количества этих элементов. На практике в состав серий цифровых схем, выпускаемых промышленностью, входят не только указанные элементы (И-НЕ, ИЛИ-НЕ), но и другие элементы, обладающие большим разнообразием по способу их выполнения, по компоновке и числу входов и выходов. Логические элементы по виду реализуемой функции подразделяют на простейшие элементы одноступенчатой логики (И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ) и элементы двухступенчатой логики (И-ИЛИ, И-ИЛИ-НЕ и др.). На рис. 11.2 – 11.4 показаны

элементы одноступенчатой логики. На рис. 11.10 показаны примеры условных графических обозначений двухступенчатых элементов.

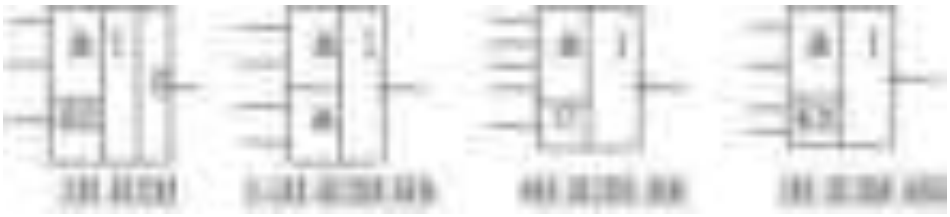


Рис. 11.10. Примеры двухступенчатых логических элементов

Обозначение элемента 2-2И-ИЛИ-НЕ значит, что в составе микросхемы имеются два двухвходовых элемента И, выходы которых подключены к входам элемента ИЛИ, его выход подключен к входу элемента НЕ, выход элемента НЕ является выходом всей микросхемы. Таким образом, в одной микросхеме имеются все три основных элемента. Построение элемента 2-2И-ИЛИ-НЕ с помощью простейших элементов показано на рис. 11.11.

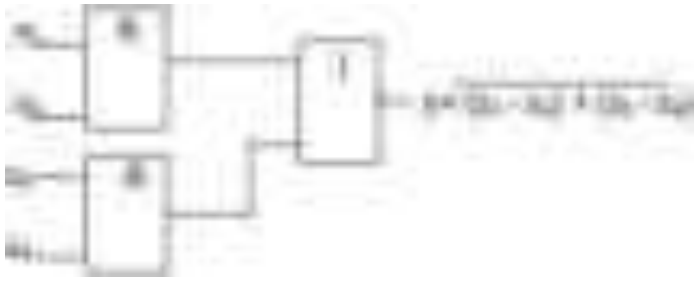


Рис. 11.11. Структурная схема элемента 2-2И-ИЛИ-НЕ

С помощью базовых операций, используемых в двухступенчатой логике, выполняются некоторые функции, нашедшие широкое применение в электронных системах. Примерами таких функций являются: ЗАПРЕТ, ИМПЛИКАЦИЯ (вовлечение), ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. Таблицы истинности и УГО элементов, реализующих перечисленные функции, показаны на рис. 11.12, 11.13:

Функция ЗАПРЕТ Функция ИМПЛИКАЦИЯ

Рис. 11.12. Условные изображения, таблицы истинности и аналитическое представление дополнительных логических функций

Функция ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

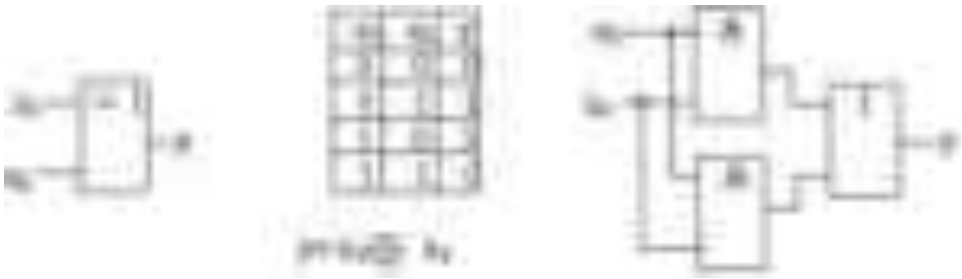


Рис. 11.13. Изображение, таблица истинности и структурная схема логического элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

Выпускается несколько серий микросхем, наибольшее распространение из которых получили серии логических элементов ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика), ТТЛШ (на транзисторах Шоттки), ЭСЛ (эмиттерно-связанная логика), КМОП (на комплементарных МОП-транзисторах).

Характерной особенностью логических элементов (ЛЭ) ТТЛ является использование на входах многоэмиттерных транзисторов. Рассмотрим электрическую принципиальную схему элемента 4И-НЕ (рис. 11.14, *а*), условное графическое обозначение которого показано на рис. 11.14, *б*. Схема содержит четырехэмиттерный транзистор VT_1 на входе, промежуточный усилитель (VT_2) и выходной усилительный каскад на транзисторах VT_3, VT_4.

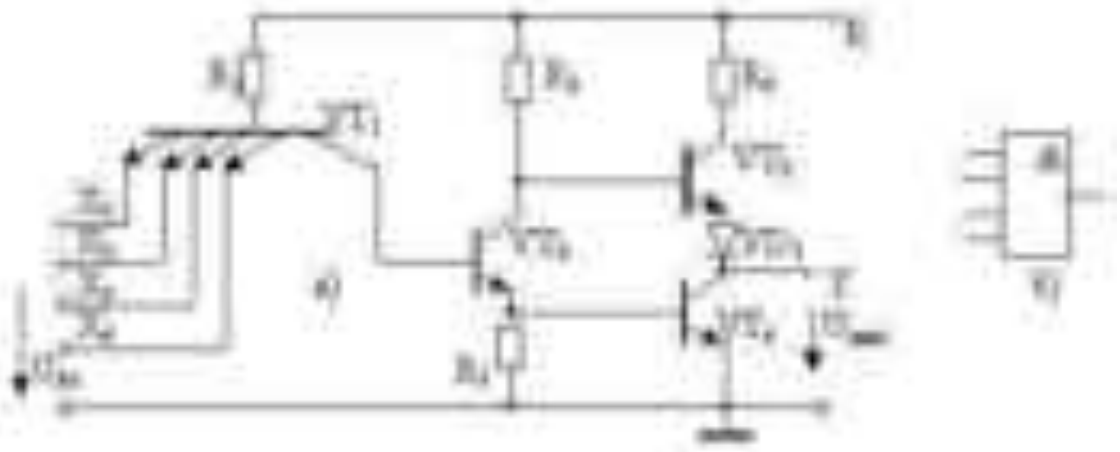


Рис. 11.14. Электрическая принципиальная схема логического элемента 4И-НЕ (*а*) и его условное обозначение (*б*)

Логический элемент работает следующим образом. Многоэмиттерный транзистор в исходном состоянии (при наличии источников входного сигнала) может находиться либо в состоянии насыщения (если хотя бы один из входных сигналов равен 0, а остальные 1), либо в состоянии отсечки, когда все входные сигналы

равны 1. Если транзистор VT_1 насыщен, то транзистор VT_2 закрыт, так как его базовое напряжение близко к нулю. Соответственно закрыт транзистор VT_4, так как его базовый ток мал.

Транзистор VT_3 открыт базовым током, протекающим через резистор R_2. Напряжение источника E через резистор R_4, открытый транзистор VT_3 и диод VD_1 попадает на выход, т.е. на выходе получим уровень, соответствующий 1. Таким образом, при появлении на входе хотя бы одного сигнала с уровнем, соответствующим логическому нулю, на выходе будем иметь уровень, соответствующий логической единице. Если на все четыре входа подать уровень сигнала, соответствующий логической единице, транзистор VT_1 окажется в режиме отсечки, однако по цепи база-коллектор VT_1 – база-эмиттер транзистора VT_2 будет протекать ток, достаточный для открытия транзистора VT_2, и, соответственно, транзистора VT_4. Открытый транзистор VT_2 шунтирует базовую цепь транзистора VT_3 и он закрывается, отсекая выход Y от источника питания. На выходе появляется низкий уровень сигнала, соответствующий логическому нулю. Следовательно, рассматриваемая схема реализует функцию И-НЕ по отношению к сигналам, подаваемым на любой (или на все) из четырех входов.

Примером микросхемы, в которой используются все три основные логические функции, может служить элемент ТТЛ 2-2И-ИЛИ-НЕ, принципиальная схема которого показана на рис. 11.15.

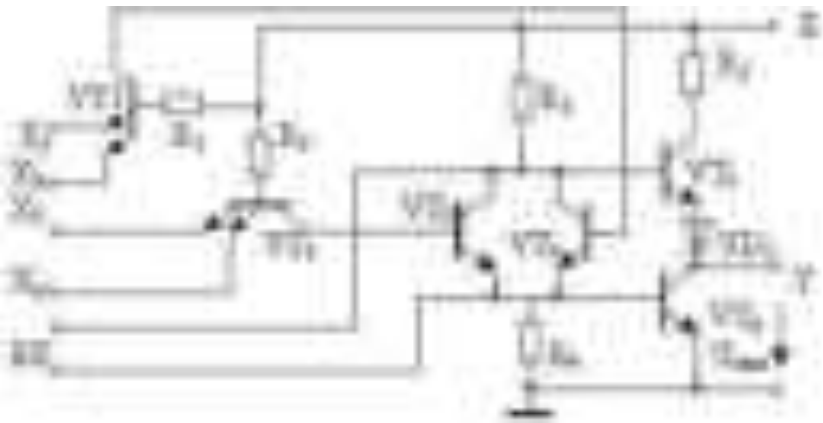


Рис. 11.15. Электрическая принципиальная схема элемента 2-2И-ИЛИ-НЕ

Функцию И в этой схеме выполняют двухэмиттерные транзисторы VT_1 и VT_2, функцию ИЛИ – транзисторы VT_3, VT_4. Принцип действия каждой пары транзисторов (VT_1, VT_2), (VT_3, VT_4) практически не

отличается от работы транзисторов VT_1, VT_2 схемы рис. 11.14, *а*. Для появления сигнала 0 на выходе логического элемента безразлично, открыт только один из транзисторов VT_1, VT_2 или открыты оба, что соответствует реализации функции ИЛИ. Выводы, обозначенные *EX*, служат для подключения специальных схем (расширителей по входу), с помощью которых можно увеличить количество входных сигналов [1, 2].

11.6. Основные параметры и характеристики логических элементов

Схемотехническая реализация цифровых логических устройств осуществляется на основе типовых (базовых) функциональных элементов. Классификацию параметров и характеристик логических элементов можно произвести по следующим признакам:

1. Функциональные признаки:

а) реализуемая логическая функция;

б) нагрузочная способность (коэффициент разветвления по выходу) $K_р$;

в) коэффициент объединения по входу $K_о$.

2. Статические характеристики:

а) входные;

б) выходные;

в) передаточная;

г) уровни сигналов, соответствующих логической единице и логическому нулю;

д) статическая помехоустойчивость.

3. Импульсные и переходные характеристики (динамические):

а) среднее время задержки распространения сигнала;

б) предельная рабочая частота;

в) необходимая скорость нарастания управляющего напряжения на входе логического элемента;

г) динамическая помехоустойчивость.

4. Требования к источнику питания:

а) потребляемая мощность;

б) входные токи при входных напряжениях низкого и высокого уровня;

в) напряжение источника питания и допустимые отклонения от номинального значения.

5. Климатические признаки:

а) диапазон рабочих температур;

б) влагоустойчивость и др.

6. Конструктивные и другие признаки:

а) вес;

б) габариты;

в) стоимость и т.д.

Краткое описание основных параметров и характеристик. Нагрузочная способность логического элемента характеризуется коэффициентом разветвления $K_р$, который показывает, какое число логических входов устройств этой же серии может быть одновременно присоединено к выходу данного логического элемента без нарушения его работоспособности. Увеличение $K_р$ расширяет логические возможности элемента, позволяет уменьшить число элементов в цифровом устройстве. Однако это увеличение ухудшает другие параметры: быстродействие, помехоустойчивость, увеличи-вает потребляемую мощность. По этой причине в составы серий цифровых интегральных схем часто входят логические элементы с различной нагрузочной способностью: основные с $K_р = 4 – 10$ и буферные с $K_р = 20 – 50$. Это позволяет более гибко проектировать цифровые устройства, достигая оптимальных показателей по потребляемой мощности и количеству логических элементов.

Коэффициент объединения по входу $K_о$ характеризует максимальное число логических входов функционального элемента. С увеличением $K_о$ расширяются логические возможности схемы за счет выполнения функций с большим числом аргументов на одном базовом логическом элементе, однако это ухудшает нагрузочную способность, помехоустойчивость и быстродействие. Обычно логические элементы выполняются с $K_о = 2 – 8$. Увеличение $K_о$ сверх восьми обеспечивается за счет применения специальных логических расширителей.

Статические характеристики рассмотрим на примере характеристик базового элемента серии 155 [22] (серия устаревшая).

Передаточная и входная характеристики базового элемента ТТЛ серии 155 приведены на рис. 11.16.

На характеристиках можно отметить следующие параметры: $U_{вх1п} \approx 1{,}5$ В; $U_{вх0п} \approx 0{,}8$ В; $U_{вых1} \approx 4$ В; $U_{вых0} \approx 0{,}4$ В, где $U_{вх1п}$, $U_{вх0п}$ – пороговые напряжения соответственно высокого и низкого уровней – это наименьшее ($U_{вх1п}$) или наибольшее ($U_{вх0п}$) значения соответствующих уровней, при которых начинается переход логического элемента в другое состояние.

Рис. 11.16. Характеристики логического элемента ТТЛ:
а – передаточная; *б* – входная

Входная характеристика (рис. 11.16, *б*) показывает, что при $U_{вх} > 4$ В начинается заметный рост входного тока. По этой причине для логических элементов серии ТТЛ недопустимо увеличение $U_{вх}$ свыше 5 В. Выходные характеристики элементов ТТЛ имеют вид, показанный на рис. 11.17.

Рис. 11.17. Выходные характеристики логических элементов ТТЛ:
а - для сигналов низкого уровня; *б* – для сигналов высокого уровня

По характеристикам видно, что уровень выходного сигнала существенно зависит от величины сопротивления нагрузки. При заданных допустимых значениях уровней выходных напряжений нагрузка не должна превышать допустимых значений. Поэтому в составе серий микросхем различают микросхемы с нормальной и повышенной нагрузочной способностью. Например, в серии 155 микросхемы с $I_{вых0} \leq 16$ мА, $K_р \leq 10$ относятся к микросхемам

с нормальной нагрузочной способностью, а схемы с повышенной нагрузочной способностью имеют $I_{вых0}$ = 48 мА. По выходным характеристикам можно определить, что выходные сопротивления логических элементов ТТЛ имеют небольшую величину. По этой причине нельзя объединять между собой выходы нескольких ТТЛ ЛЭ, так как в случае разных уровней выходных сигналов через выходные транзисторы ЛЭ (рис. 11.15) будут протекать большие токи. Чтобы осуществлять непосредственное соединение выводов нескольких логических элементов между собой и получать разные уровни выходного сигнала используют схемы с «открытым» электродом, например, коллектором, т.е. схемы, на выходе которых установлен транзистор, чья коллекторная цепь оставлена свободной [22]. Следует заметить, что «открытым» может быть не только коллектор, но и эмиттер у биполярных транзисторов, а также сток или исток у полевых.

Быстродействие логического элемента характеризуется временем задержки распространения сигналов при включении $t_{з10}$, выключении $t_{з01}$ и средним временем $t_{зс}$ (рис. 11.18).

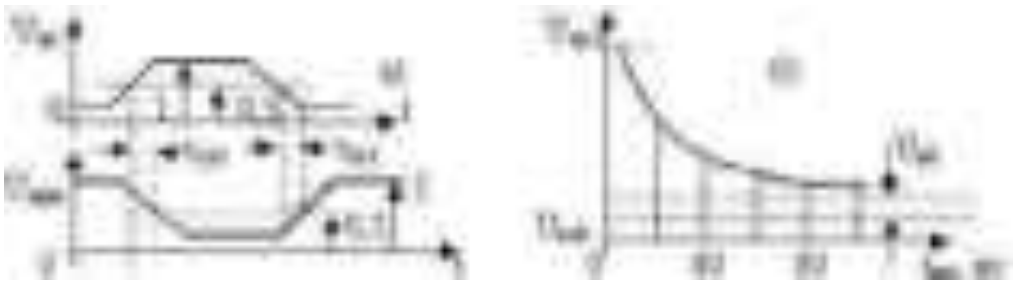


Рис. 11.18. Определение времени задержки распространения сигнала (*а*) и изменение амплитуды импульсной помехи с изменением её длительности (*б*)

Время задержки распространения сигнала при включении ЛЭ – это интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе выходного напряжения от уровня логической единицы к уровню логического нуля, измеренный на уровне 0,5 амплитуды.

Аналогично время задержки распространения сигнала при выключении ЛЭ - это интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе выходного напряжения от уровня логического нуля к уровню логической единицы, измеренный на уровне 0,5 (рис. 11.18, *а*). Среднее время задержки распространения – это интер-

вал времени, равный полусумме времен задержки распространения сигнала при включении и выключении логического элемента:

$$t_{зс} = (t_{з01} + t_{з10})/2. \qquad (11.6)$$

Помехоустойчивость логического элемента различается статическая и динамическая. Статическая помехоустойчивость определяется как минимальная разность между значениями выходного и входного сигналов данного логического уровня:

$$U_{п1} = U_{вых1} - U_{вх1},$$
$$U_{п0} = U_{вх0} - U_{вых0}. \qquad (11.7)$$

Из (11.7) можно заключить, что статическая помехоустойчивость – это минимальное значение напряжения помехи на выходе ЛЭ, которое может вызвать срабатывание подключенного к нему ЛЭ.

Помехи могут быть импульсными. При малых длительностях помехи, меньших или соизмеримых с $t_{зс}$, этот импульс напряжения может быть значительно больше напряжения статической помехи и не вызывать срабатывания ЛЭ. Это объясняется наличием емкостей между элементами микросхемы, емкостей полупроводниковых структур, проявляющимися при больших частотах сигналов. Динамическую помехоустойчивость обычно характеризуют графиком, связывающим длительность и амплитуду допустимой помехи (рис. 11.18, *б*).

Важным параметром логического элемента является потребляемая мощность $P_п$ или ток потребления $I_п$, которые приводятся в справочных данных. В целях сравнения между собой микросхем отдельных серий иногда используют интегральный параметр, называемый энергией переключения:

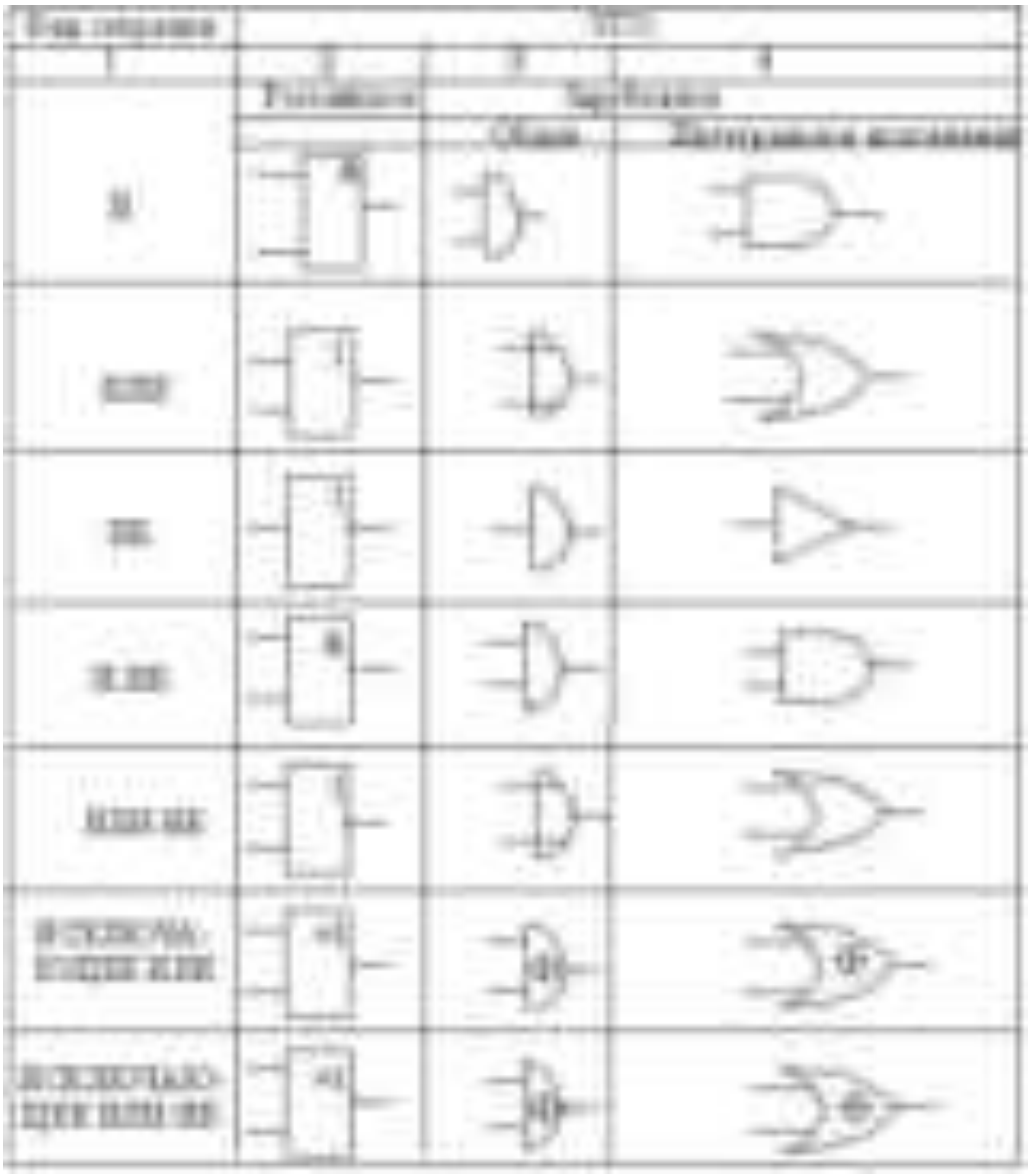
$$Э_п = P_п \cdot t_{зс}. \qquad (11.8)$$

Смысл этого параметра в том, что он характеризует работу, затрачиваемую на выполнение одного переключения.

Условные графические обозначения логических элементов в нашей стране и за рубежом разные, поэтому их соответствие приведено в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Условные графические обозначения
логических элементов



12. КОМБИНАЦИОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Ранее уже отмечалось, что к комбинационным устройствам относятся функциональные узлы, в которых отсутствуют элементы памяти. Состояние комбинационного узла однозначно определяется комбинацией входных сигналов в данный момент и не зависит от предыдущего состояния. К таким узлам относятся шифраторы, дешифраторы, сумматоры, мультиплексоры, демультиплексоры, компараторы, преобразователи кодов и другие.

12.1. Шифраторы и дешифраторы

Шифратор – это функциональный узел, преобразующий поступающие на его входы сигналы (команды) в n-разрядный двоичный код. «Командами» могут быть, например, десятичные цифры. Построим шифратор, преобразующий десятичные цифры в нормальный двоичный код (НДК). Функциональное описание такого шифратора представим в виде таблицы истинности, в которой кодируемые цифры обозначим переменной x_n , где n = 0 … 9, а в качестве кода, присваемового кодируемым цифрам, выберем четырехразрядный двоичный код.

Таблица 12.1

Таблица истинности шифратора

Число	Код			
	a_3	a_2	a_1	a_0
x_0	0	0	0	0
x_1	0	0	0	1
x_2	0	0	1	0
x_3	0	0	1	1
x_4	0	1	0	0
x_5	0	1	0	1
x_6	0	1	1	0
x_7	0	1	1	1
x_8	1	0	0	0
x_9	1	0	0	1

В табл. 12.1 числа $a_0 \ldots a_3$ представлены как функции аргументов x_n, принимающих различные значения десятичных цифр. Для синтеза схемы, реализующей указанные функции, записываем их представления в аналитической форме по табличным данным: $a_0 = x_1 + x_3 + x_5 + x_7 + x_9$; $a_1 = x_2 + x_3 + x_6 + x_7$; $a_2 = x_4 + x_5 + x_6 + x_7$; $a_3 = x_8 + x_9$. В полученных выражениях знак + обозначает логическую операцию ИЛИ, поэтому очевидная (не минимизированная) структура устройства должна содержать четыре дизъюнктора, каждый из которых имеет разное число входов (рис. 12.1).

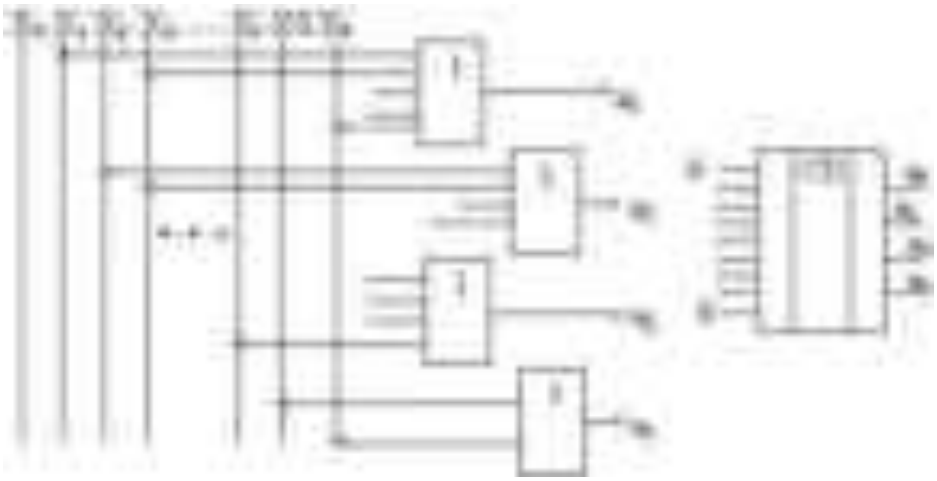


Рис. 12.1. Структурная схема и интегральное изображение шифратора

Дешифратор – это функциональный узел, преобразующий *n*-разрядный двоичный код в комбинацию выходных сигналов (команд). Этот *n*-разрядный код дает 2^n наборов входных переменных, которые могут превратиться в 2^n выходных сигналов. В этом случае дешифратор называют полным. Если число выходных сигналов меньше 2^n, то дешифратор неполный.

Рассмотрим методику построения простейшего дешифратора, имеющего два входа и четыре выхода (дешифратор 2 – 4) (табл. 12.2). Составляем таблицу функционирования дешифратора, исходя из его функционального назначения: 2-разрядный код, подаваемый на вход, может быть превращен на выходе в четыре выходных сигнала. Пусть таким выходным сигналом будет позиционный код, в котором значение определяется положением «1» в цепочке «0».

Рассматривая логические переменные «*x*» как функции входных логических переменных «*a*», запишем логические выражения для выходных сигналов: $x_0 = \overline{a_0} \cdot \overline{a_1}$; $x_1 = \overline{a_0} \cdot a_1$; $x_2 = a_0 \cdot \overline{a_1}$; $x_3 = a_0 \cdot a_1$.

Таблица 12.2

Таблица истинности дешифратора

Входной код		Выходной сигнал			
a_1	a_0	x_0	x_1	x_2	x_3
0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Анализ полученных выражений показывает, что структурная схема, реализующая функцию разрабатываемого дешифратора, должна содержать два инвертора и четыре двухвходовых конъюнктора. Син-

тезированная таким способом структурная схема и её интегральное изображение показаны на рис. 12.2.

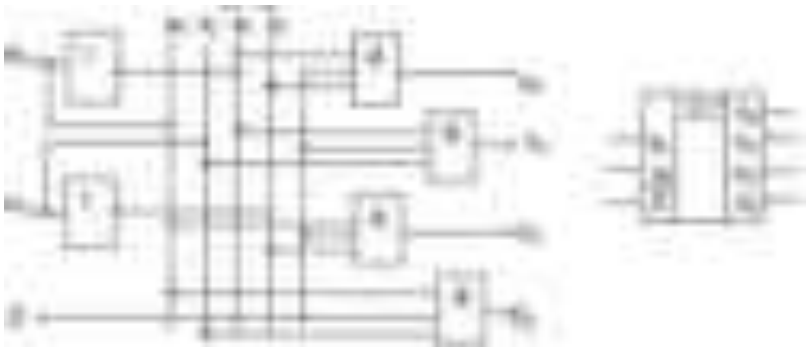


Рис. 12.2. Структурная схема дешифратора 2 – 4 и его интегральное изображение

Реальные дешифраторы обычно снабжены дополнительным входом, разрешающим или запрещающим выполнение основной функции. Например, в схеме (рис. 12.2) можно снабдить каждый конъюнктор дополнительным входом, объединить эти входы и обеспечить внешний доступ к ним (обычно этот дополнительный вход обозначают буквой E). Если на вход E подать логический 0, функции дешифратора будут запрещены, а на выходах установится инверсный (нулевой) уровень выходного сигнала. Логическая 1, установленная на дополнительном входе E, не препятствует работе дешифратора. Аналогичным способом можно синтезировать дешифраторы (1 – 2), (3 – 8) и т.д.

Более сложные дешифраторы можно построить на основе каскадного соединения простых. В качестве примера рассмотрим структурную схему дешифратора (4 – 16), построенного на основе дешифратора (2 – 4) (рис. 12.3).

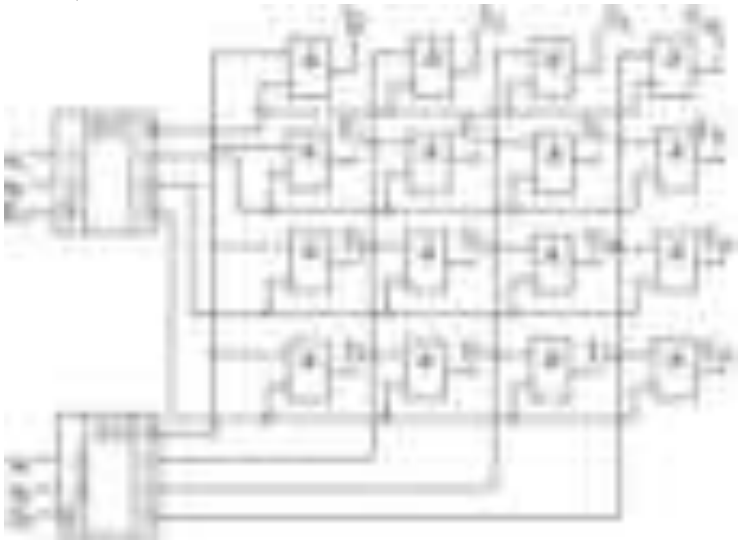


Рис. 12.3. Дешифратор (4 – 16) на основе дешифраторов (2 – 4)

В этом дешифраторе вторая ступень выполнена на матрице двух-входовых конъюнкторов, активируемых сигналами, поступа-ющими с выходов дешифраторов (2 – 4). Запрещение работы дешифратора может осуществляться либо по вертикальным, либо по горизонталь-ным шинам, при этом на одном из входов разрешения E_1, E_2 должен присутствовать сигнал логического 0. Дешифратор (5 – 32) может быть составлен из одного дешифратора (2 – 4) и четырех дешифрато-ров (3 – 8), управляемых по входу разрешения выходными сигналами дешифратора (2 – 4) [20].

12.2. Мультиплексоры и демультиплексоры

Мультиплексор – это функциональный узел, который осуществ-ляет управляемую коммутацию логических сигналов с входных линий на одну выходную линию. Коммутация определен-ной входной линии осуществляется в соответствии с двоичным адресным кодом, установленным на адресных входах мультиплексора.

Если адресный код имеет n разрядов, то можно осуществить 2^n коммутаций входных линий на одну выходную, следовательно, мультиплексор с n-разрядным адресным входом может иметь любое число входных линий, не превышающее 2^n.

В качестве примера рассмотрим методику построения мультип-лексора, осуществляющего коммутацию четырех входных линий x_0, x_1, x_2, x_3 на выходную линию Y. Число разрядов адресных входов оп-ределяется по выражению $n = \log_2 N$, где N – число входных линий, (n округляется в сторону увеличения). В нашем случае $n = 2$. Для опре-деления структуры составляем таблицу функционирования мультип-лексора, обозначив адресные входы символами a_0, a_1 (табл. 12.3).

По данным таблицы можно записать характеристическое уравне-ние данного мультиплексора:

$$Y = \overline{a_0}\,\overline{a_1}x_0 + \overline{a_0}a_1x_1 + a_0\overline{a_1}x_2 + a_0a_1x_3 .$$

Таблица 12.3

Таблица истинности мультиплексора

a_0	a_1	Y
0	0	x_0
0	1	x_1
1	0	x_2
1	1	x_3

Анализ уравнения показывает, что структура мультиплексора должна содержать два инвертора, четыре конъюнктора и один четырехвходовый дизъюнктор. Синтезированная по таким признакам схема показана на рис. 12.4.

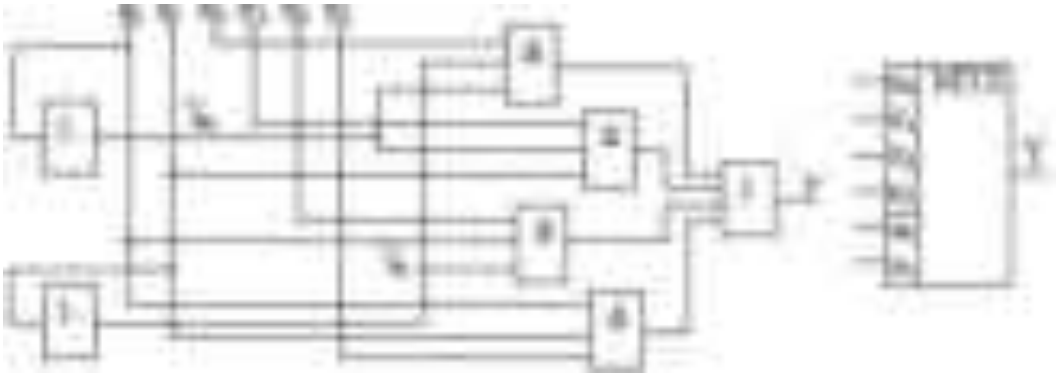


Рис. 12.4. Структурная схема мультиплексора 4 – 1
и его интегральное изображение

Наращивание размерности мультиплексора возможно с помощью пирамидальной структуры из нескольких мультиплексоров меньшей размерности. В этом случае первый каскад должен содержать столько мультиплексоров, сколько необходимо для обеспечения нужного (суммарного) количества входных линий. Мультиплексоры первого каскада адресуются одним и тем же кодом, составленным из соответствующего числа младших разрядов общего адресного кода. Если число адресных разрядов мультиплексоров первого каскада n_1, а общее число адресных разрядов – n (соответствует суммарному числу адресуемых входных линий 2^n), то мультиплексор второго каскада должен иметь $(n - n_1)$ адресных разрядов.

Например, для построения мультиплексора 32 – 1 на мультиплексорах меньшей размерности, в первом каскаде можно использовать четыре мультиплексора 8 – 1, а во втором каскаде – один мультиплексор 4 – 1. При этом в пятиразрядном адресном коде ($2^5 = 32$) два старших разряда принадлежат мультиплексору второго каскада, а три младших – объединённым адресным входам мультиплексоров первого каскада. Для мультиплексора второго каскада входными линиями являются выходные линии мультиплексоров первого каскада.

Реализация логических функций на основе мультиплексоров. С помощью мультиплексора, имеющего n адресных входов, можно последовательно адресовать на выход 2^n разрядов информационного слова, поданного на информационные входы. Для воспроизведения на выходе мультиплексора значения логической функции, имеющей

n аргументов, используется условие, согласно которому каждому набору аргументов соответствует передача на выход одного из сигналов, поданных на информационные входы. Следовательно, если на адресные входы мультиплексора подать кодовый набор аргументов функции, а на информационные входы – соответствующие значения функции, то получим устройство, воспроизводящее на выходе значения функции, соответствующие набору аргументов этой функции, установленному на адресных входах мультиплексора. На рис. 12.5 приведен пример использования мультиплексора 8 – 1 в качестве логического устройства («универсального логического элемента» согласно [20]) для реализации функции трех аргументов $F(A_4, A_2, A_1)$.

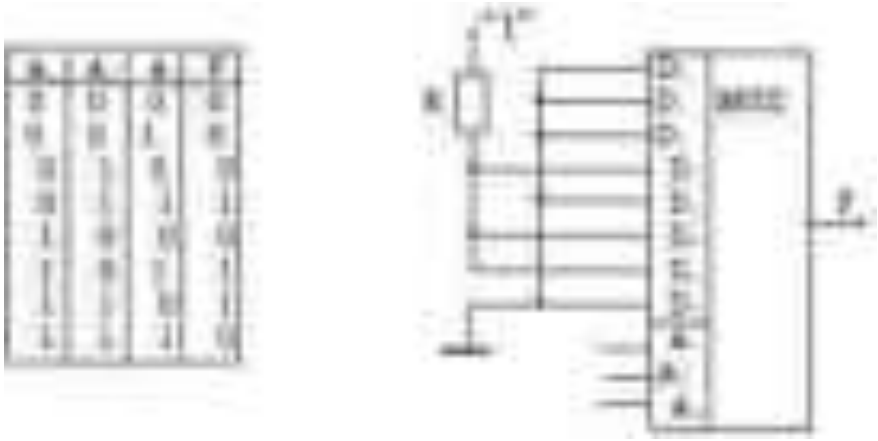


Рис. 12.5. Схема включения мультиплексора 8 – 1 для реализации функции трех аргументов, заданной таблично

Демультиплексор. Демультиплексор выполняет операцию, обратную операции мультиплексора, т.е. передаёт данные из одной входной линии в одну из нескольких выходных линий. Управление коммутацией осуществляется с помощью адресного кода, устанавливаемого на адресных входах, при этом адресуются, в отличие от мультиплексора, не входные, а выходные выводы. В общем случае число выходных линий N определяется разрядностью n-адресного кода согласно соотношению $N = 2^n$. Синтез демультиплексора рассмотрим на примере демультиплексора 1 – 4, для которого $N = 4$. Составляем таблицу истинности (таблицу функционирования), в которой адресный код обозначен символами $a_к$, выходные линии символами Y_i, а сигнал на входе обозначен символом F (табл. 12.4).

Таблица 12.4

Таблица истинности демультиплексора

0	1	0	1	2	3

В соответствии с таблицей истинности характеристические уравнения такого устройства будут: $Y_0 = \overline{a_0}\,\overline{a_1}F$; $Y_1 = \overline{a_0}a_1F$; $Y_2 = a_0\overline{a_1}F$; $Y_3 = a_0a_1F$. Соответствующая этим уравнениям структурная схема должна содержать два инвертора и четыре трёхвходовых конъюнктора (рис. 12.6).

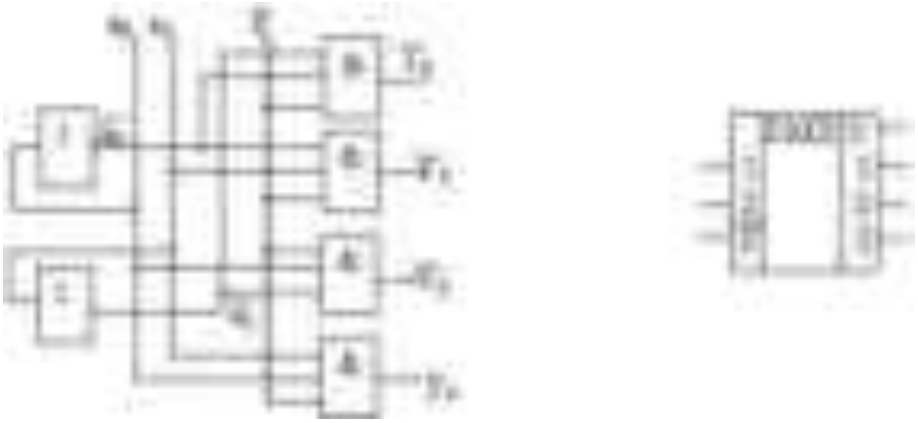


Рис. 12.6. Структурная схема демультиплексора 1 – 4 и его УГО

12.3. Сумматоры

Сумматором называется комбинационный функциональный узел, предназначенный для арифметического сложения двоичных чисел. Основным узлом сумматора является одноразрядный сумматор, на основе которого строятся многоразрядные сумматоры. Одноразрядный сумматор выполняет арифметическое сложение одноразрядных двоичных чисел a_i, b_i и бита переноса c_i из младшего разряда, образуя на выходах значения суммы S_i и бита переноса в старший разряд c_{i+1}. Сумматор, не имеющий бита переноса из младшего разряда, называют полусумматором. Он имеет два входа и два выхода в отличие от «полного» одноразрядного сумматора, имеющего три входа и два выхода. Таблицы истинности для одноразрядных сумматоров показаны в табл. 12.5.

Таблица 12.5

Таблицы истинности сумматора

a_i	b_i	c_i	S_i	c_{i+1}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

a_0	b_0	S_0	c_0
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

В соответствии с таблицами истинности можно составить характеристические уравнения для одноразрядного полного сумматора и полусумматора:

$$S_i = \overline{a_i} b_i c_i + a_i \overline{b_i} c_i + a_i b_i \overline{c_i} + a_i b_i c_i \; ; \; S_0 = a_0 b_0 + a_0 \overline{b_0} \; ;$$

$$c_{i+1} = \overline{a_i} b_i + \overline{a_i} c_i + b_i \overline{c_i} \; ; \; c_0 = a_0 \overline{b_0} \; .$$

По полученным характеристическим уравнениям нетрудно синтезировать структурные схемы, используя нужные логические элементы. Выражение для бита переноса c_{i+1} записано после минимизации полного выражения, полученного из таблицы истинности.

Обычно сумматоры выполняются многоразрядными. Число входов и выходов такого сумматора определяется разрядностью слагаемых. Структуру многоразрядного сумматора определяет способ передачи сигнала переноса от младшего разряда к старшему. Различают два основных вида сумматоров: с последовательным и параллельным переносом. На основе этих вариантов разработано несколько видов сумматоров: для сложения параллельных и последовательных операндов, сумматоры групповой структуры, накапливающие сумматоры и др.

В сумматорах с последовательным переносом выход переноса i-разряда последовательно соединен с входом (i+1) – разряда. Структурная схема такого сумматора показана на рис. 12.7.

Рис. 12.7. Структурная схема многоразрядного сумматора с последовательным переносом

Важным параметром сумматора является его быстродействие. Для получения максимального быстродействия разработаны сумма-

торы для параллельных операндов с параллельным переносом. В таких сумматорах сигналы переноса для каждого разряда формируются специальными схемами, на входы которых поступают те переменные, которые необходимы для выработки бита переноса. К ним относятся внешний входной перенос (если он есть) и значения всех разрядов слагаемых, младших относительно данного.

Структурная схема сумматора для сложения двух *n*-разрядных чисел представлена на рис. 12.8, где *CR* – схемы формирования переносов.

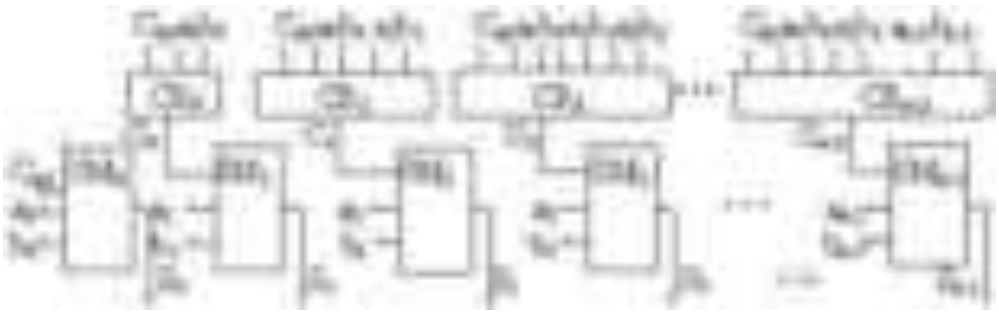


Рис. 12.8. Структурная схема сумматора для сложения двух параллельных операндов с параллельным переносом

Быстродействие в таких сумматорах достигается за счет того, что биты переносов формируются практически одновременно с формированием результата.

Накапливающий сумматор представляет собой сочетание комбинационного сумматора и тактируемого регистра, причем очередное слагаемое добавляется к содержимому сумматора и результат замещает старое значение суммы [20].

12.4. Цифровой компаратор

Компаратор (устройство сравнения) служит для определения соотношения между двумя кодовыми словами. Такими соотношениями можно считать: «меньше», «равно», «больше». Принято считать, что выходные функции, вырабатываемые компараторами, принимают единичные значения, если соблюдаются указанные выше соотношения, и равны нулю, если не соблюдаются. Например, функция равенства $F_{A=B} = 1$, если $A = B$ и равна нулю, если $A \neq B$. С учетом приня-

того соглашения таблица истинности компаратора двух одноразрядных чисел будет выглядеть так, как показано на рис. 12.9.

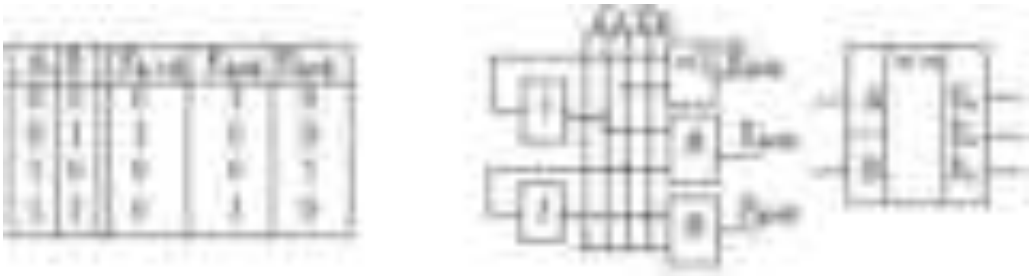


Рис. 12.9. Таблица истинности, структурная схема
и условное обозначение компаратора двух одноразрядных слов

Устройства сравнения строятся на основе поразрядных операций над одноименными разрядами обоих слов. Признак равенства разрядов $r_i = \overline{A_i \oplus B_i}$. Компараторы для слов большей разрядности получают наращиванием размерности путем использования нескольких схем компараторов. Например, для сравнения восьмиразрядных чисел можно использовать две четырехразрядные схемы. Для этой цели в четырехразрядном компараторе предусмотрены три дополнительных входа: $A > B$, $A = B$, $A < B$,
к которым подводятся соответствующие выходы схемы, выполняющей сравнение младших разрядов.

12.5. Преобразователи кодов

Преобразователи кодов используются для перевода представления информации из одного кода в другой. Необходимость такого перевода возникает потому, что для представления информации используют различные двоичные и двоично-десятичные коды. Таблицы истинности некоторых кодов для представления десятичных чисел представлены в табл. 12.6.

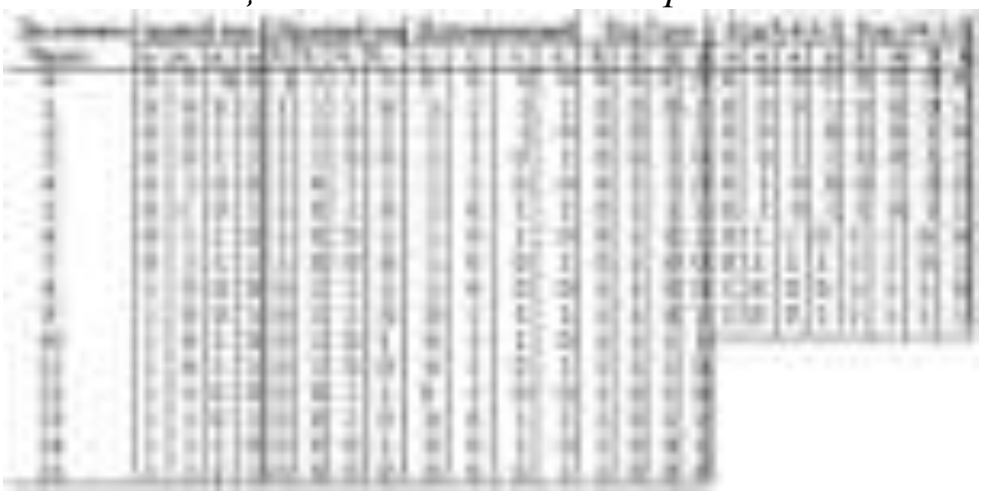
Синтез преобразователей кодов осуществляется в соответствии с таблицами их функционирования. В качестве примера рассмотрим синтез схемы, преобразующей двоично-десятичный код (8421) в код Айкена (2421). С этой целью каждую переменную кода Айкена будем рассматривать как функцию соответствующих коэффициентов двоично-десятичного кода. В этом случае можно в соответствии

с таблицами составить характеристические уравнения для каждой переменной кода 2421. Например, для переменной k_3 имеем:

$$k_3 = \overline{e_3}e_2\overline{e_1}e_0 + \overline{e_3}e_2e_1\overline{e_0} + \overline{e_3}e_2e_1e_0 + e_3\overline{e_2}\,\overline{e_1}\,\overline{e_0} + e_3\overline{e_2}e_1e_0.$$

Таблица 12.6

Таблицы истинности некоторых кодов



Составив характеристические уравнения для всех переменных кода 2421, можно упростить их по правилам логических преобразований, затем построить структурную схему преобра-зователя.

Однако более эффективным является метод структурного проектирования с использованием карт Карно. Согласно этому методу составляем карты Карно для переменных k_3, k_2, k_1, k_0, причем клетки, не заполненные значениями аргументов $e_0 - e_3$, заполняем значениями 1 либо 0, делаем соответствующие объединения и записываем минимизированные выражения для переменных k (рис. 12.10).

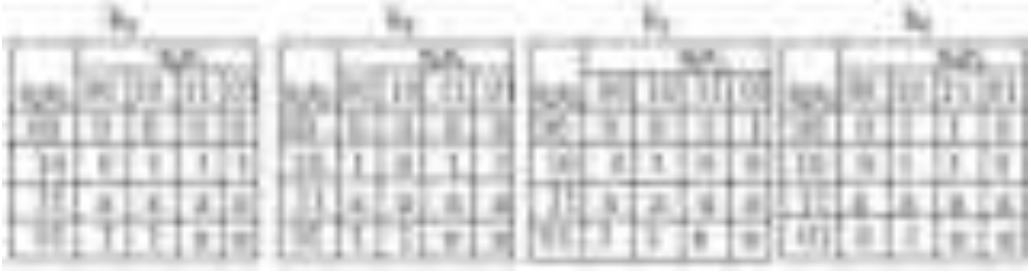


Рис. 12.10. Карты Карно для преобразователя кодов

В результате минимизации получим: $k_3 = e_3 + e_2e_1 + e_2e_0$; $k_2 = e_3 + e_2e_1 + e_2\overline{e_0}$; $k_1 = e_3 + e_2\overline{e_1} + e_2\overline{e_1}e_0$; $k_0 = e_0$.

Полученные выражения полностью определяют структуру и состав элементов преобразователя. Однако технологически более

рациональны структуры, выполненные на однотипных логических элементах, например, на элементах И-НЕ. Структурная схема такого преобразователя представлена на рис. 12.11.

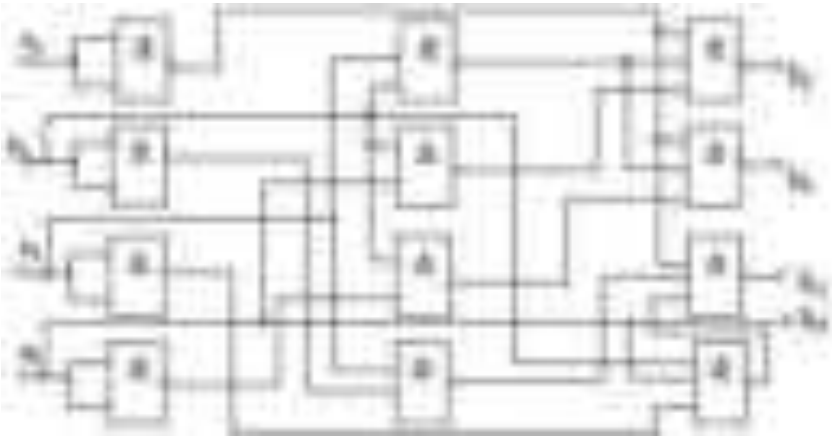


Рис. 12.11. Структурная схема преобразователя кода 8421 в код 2421

12.6. Арифметико-логическое устройство

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) – это функциональный узел, предназначенный для реализации арифметических и логических операций по обработке цифровой информации. Типичное АЛУ (обычно четырёхразрядное) имеет входы операндов A и B, входы выбора операций S, вход переноса C_i и вход M (*Mode*), сигнал на котором задает тип выполняемых операций: логические ($M = 1$) или арифметико-логические ($M = 0$). Перечень выполняемых АЛУ операций приведен на рис. 12.12 [20].

Набор логических операций АЛУ позволяет воспроизводить все функции двух переменных. В арифметико-логических операциях сочетаются логические и арифметические операции одновременно. Выражение типа $A \vee \overline{B} + AB$ следует понимать следующим образом: вначале поразрядно выполняется операция инвертирования ($\overline{B}$), затем логическое сложение ($A \vee \overline{B}$), умножение (AB) и последующее арифметическое сложение.

Для выполнения операций над словами большой размерности АЛУ соединяются друг с другом путем последовательных или параллельных переносов. Организацию параллельных переносов осуществляют с помощью специальных схем-блоков ускоренного переноса, для чего в схеме АЛУ (рис. 12.12) предусмотрены два дополни-

тельных выхода (*G*, *H*), позволяющих организовать параллельный перенос.

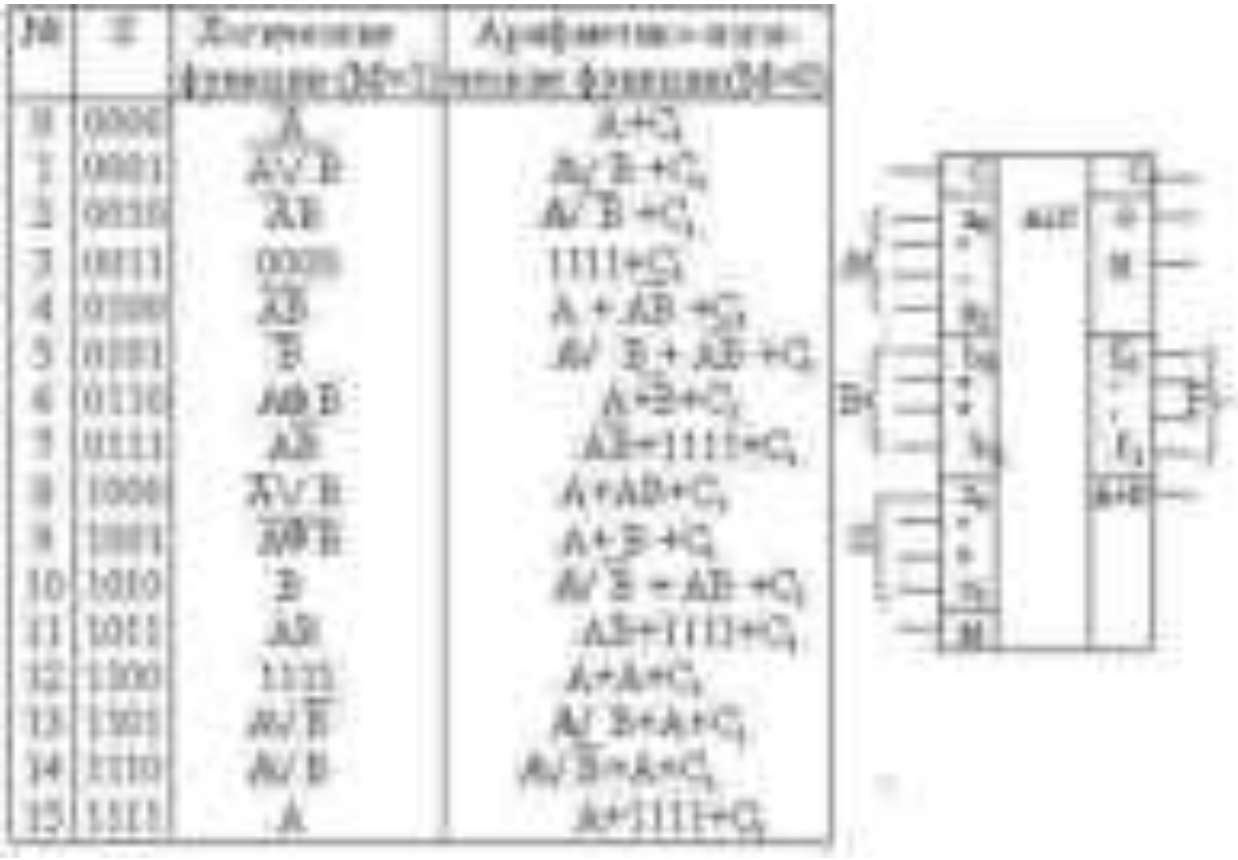


Рис. 12.12. Таблица функций и условное изображение 4-разрядного АЛУ

13. ТРИГГЕРЫ И ЦИФРОВЫЕ АВТОМАТЫ

Триггер – устройство, имеющее два устойчивых состояния, у которого переход из одного состояния в другое происходит при воздействии управляющего сигнала вследствие регенеративного процесса.

Слово триггер означает спусковое устройство − «курок». Отличительной способностью симметричного триггера является свойство запоминания двоичной информации, т.е. *триггер обладает памятью*, под которой подразумевают способность оставаться в одном из двух состояний и после прекращения действия переключающего (управляющего) сигнала. Приняв одно из состояний за «1», а другое за «0», можно считать, что триггер может хранить (помнить) один разряд числа, записанного в двоичном коде, (1 бит).

Регенеративным обычно называют процесс, сопровождающийся самовозбуждением, (самостимулированием). Такой процесс наблюдается в электрической цепи, охваченной положительной обратной связью с петлевым усилением $K\gamma > 1$, он характеризуется резким изменением токов и напряжений в цепи.

13.1. Триггерная схема на двух усилительных каскадах

Рассмотрим принцип действия триггера, для чего возьмем два простейших усилителя и соединим их так, чтобы они были охвачены ПОС (рис. 13.1).

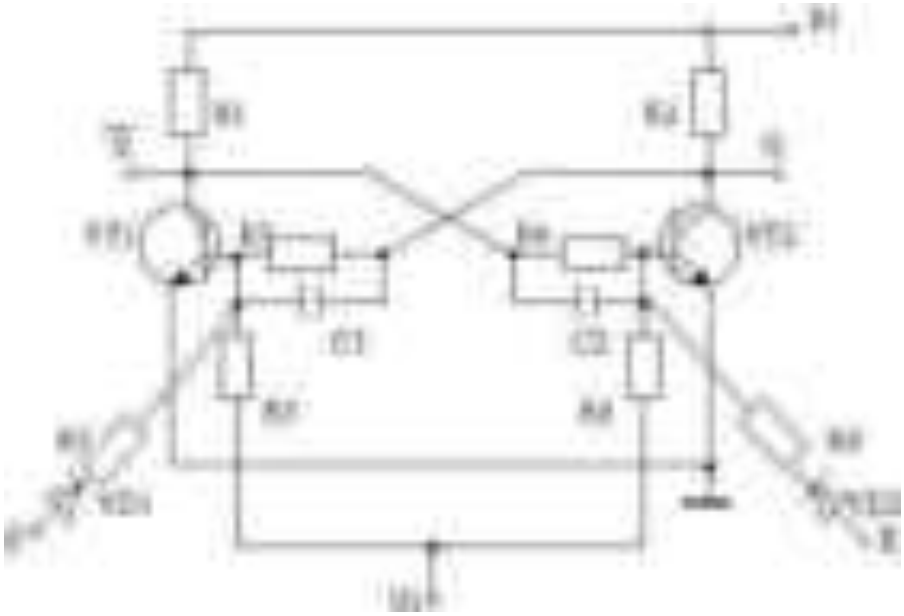


Рис. 13.1. Триггерная схема на двух транзисторах

В схеме (рис. 13.1) возможны теоретически четыре состояния:

1) оба транзистора открыты;
2) оба транзистора закрыты;
3) открыт VT1, VT2 – закрыт;
4) VT2 открыт, VT1 – закрыт.

Особенность схемы в том, что первые два состояния являются неустойчивыми.

Предположим, что оба транзистора открыты и находятся в активном режиме. Ввиду симметрии схемы должны быть равны токи коллекторов и токи базы. Неизбежны малейшие флуктуации тока. Например, увеличится чуть-чуть ток коллектора VT1 – это повлечет за собой обязательное уменьшение напряжения на этом коллекторе,

а оно вызовет уменьшение базового тока транзистора VT2, что вызывает увеличение коллекторного напряжения транзистора VT2. В свою очередь это увеличение приведет к увеличению базового тока транзистора VT1, которое вызовет увеличение степени открытия VT1, т.е. дальнейшее уменьшение коллекторного напряжения и увеличение коллекторного тока транзистора VT1. Процесс носит лавинообразный характер и будет продолжаться до тех пор, пока не прекратится действие положительной обратной связи. Это произойдет, когда транзистор VT1 войдет в режим насыщения, а транзистор VT2 – в режим отсечки. Триггерная схема (триггер) окажется в устойчивом состоянии.

Совершенно аналогично будут проходить процессы, если начнет изменяться ток транзистора VT2. Параметры схемы могут быть подобраны так, что открытый транзистор насыщен, либо находится на границе активной области и не входит в режим насыщения. В первом случае триггер называется насыщенным, во втором – ненасыщенным.

В одном из устойчивых состояний триггер может находиться как угодно долго до момента, пока не поступит сигнал от внешнего источника управляющего напряжения. Управляющее напряжение можно вводить различными способами, например, через входные диоды VD1, VD2.

Пусть транзистор VT2 – закрыт, а VT1 – открыт. Подадим открывающий импульс в цепь базы транзистора VT2. Как только появится ток коллектора VT2, транзистор VT1 выйдет из насыщения, возникнет регенеративный процесс, приводящий к опрокидыванию триггера, т.е. транзистор VT2 откроется, VT1 закроется. Конденсаторы, показанные в схеме, не изменяя сути процесса, предназначены для ускорения этого процесса.

Чтобы перевести триггер в другое устойчивое состояние, нужно подать управляющий импульс теперь на базу другого транзистора (VT1), который находится в состоянии отсечки. Процесс пройдет аналогично. Если бы вместо этого мы подали открывающий импульс вновь на транзистор уже открытый, это не изменило бы состояния триггера.

Если подать открывающие импульсы на оба транзистора, они оба могут открыться, но после снятия импульса возникнет неопределенность, так как любой из транзисторов окажется в запертом состоянии. Следовательно, такая комбинация управляющих импульсов должна быть запрещена.

У рассматриваемого триггера два информационных входа и два выхода. Они имеют специфические названия: один из выходов называют прямым и обозначают буквой Q (quit – покидать, оставлять), другой – инверсным и обозначают $\overline{Q}$, т.е. сигнал противоположен первому. Состояние триггера чаще всего отождествляют с сигналом на прямом выходе. Считается, что триггер «установлен», если $Q = 1$, ($\overline{Q} = 0$), т.е. находится в единичном состоянии.

Триггер «сброшен», «погашен», т.е. находится в нулевом состоянии, если $Q = 0$, ($\overline{Q} = 1$). Когда управляющие входы (R и S) не активны (в данном случае R= 0, S = 0), триггер находится в режиме хранения. Различают три состояния триггера: установлен, сброшен, хранение. Вход, по которому триггер устанавливается в единичное состояние, обозначают входом S (set – установка). Вход, по которому триггер устанавливается в нулевое состояние, обозначают R (reset − возврат). В нашем случае, если мы обозначили Q и $\overline{Q}$ вход S будет на схеме слева, а вход R − справа.

13.2. RS-триггеры на логических элементах

Триггерную схему, рассмотренную выше, называют *RS-триггером*. Проще всего триггер можно построить на логических элементах, соединяя их по кольцевой схеме так, что вход одного логического элемента является выходом второго, как показано на рис. 13.2.

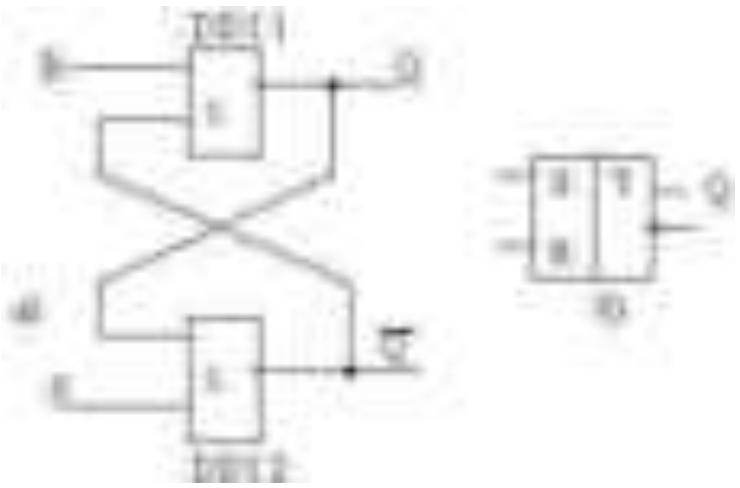


Рис. 13.2. RS-триггер на элементах ИЛИ-НЕ:
а – структурная схема, *б* – условное графическое обозначение (УГО)

Предположим, что $Q = 1$, $R = 0$, $S = 0$, тогда на входах DD1.2 есть сигналы $Q = 1$, $S = 0$, на выходе будет $\overline{Q} = 0$; на входах DD1.1 будут $R = 0$, $\overline{Q} = 0$, на выходе $Q = 1$, т.е. такое состояние будет устойчивым и поддерживать само себя.

Подадим на вход сигнал $R = 1$, тогда на выходе микросхемы DD1.1 получим $\overline{Q} = 0$, на входе DD1.2 будем иметь Q=0, S=0 − на выходе $\overline{Q}$=1, этот сигнал поступит на вход DD1, будем на входе иметь R=1, $\overline{Q}$=1, на выходе Q=0, т.е. подтверждаем новое состояние. Если теперь сделать R=0, положение не изменится: на выходе DD1.1 Q=0, на выходе DD1.2 $\overline{Q}$=1, т.е. триггер принял состояние «сброшен». Рассуждая аналогично, придем к выводу, что при подаче на вход сигнала S=1 триггер установится в состояние «1». Последовательность изменения состояний на выходах триггера после подачи сигналов управления на его входы можно показать на диаграммах сигналов.

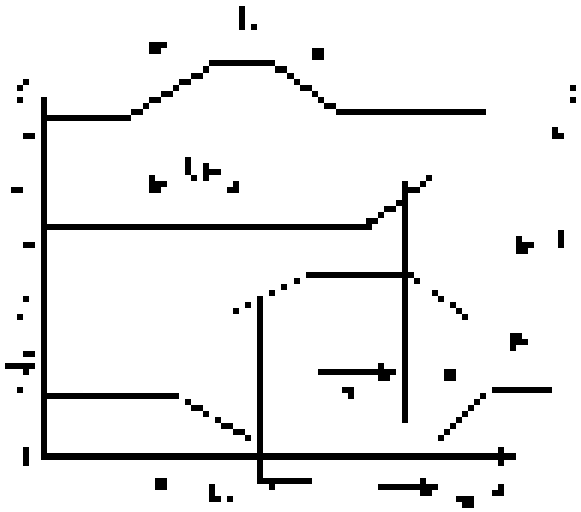


Рис. 13.3. Диаграммы сигналов RS-триггера

На рис. 13.3 обозначено:

$t_{з10}$ – время задержки переключения логического элемента DD1.2 из «1» в «0» под действием сигнала S, либо переключения логического элемента DD1.1 под действием сигнала R;

$t_{з01}$ – время задержки переключения логического элемента DD1.1 из «0» в «1» под действием сигнала R;

$t_{зс}$ – среднее время перехода сигнала на выходе триггера из одного состояния в другое.

Условно считается, что действие переключающего сигнала по изменению состояния других сигналов начинается с момента достиже-

ния этим сигналом половины своего уровня. Анализируя при этих условиях диаграммы сигналов, изображенные на рис. 13.3, можно сделать следующие выводы:

1. Для надежного переключения триггера входными сигналами минимальная длительность импульса $T_и$ должна выбираться из условия:

$$T_и = 2\ t_{зс}.$$

2. Учитывая разброс средних значений времени задержки и появления сигналов на входах, для предотвращения сбоев, т.е. нарушения порядка переключения, следует обеспечивать паузу между фронтами и срезами управляющих сигналов. С этой целью для триггера должно быть определено «разрешающее» время – минимальный интервал времени между моментами посылок входных импульсов:

$$T_р = 3\ t_{зс}.$$

3. Максимальная частота переключения может быть определена как величина обратная разрешающему времени:

$f_{мах} = 1/\ T_р = 1/\ 3t_{зс}$, (если $t_{зс}$ измерять в мкс, то $f_{мах}$ – в МГц).

Состояние триггера обычно отражают в таблицах состояния. Для RS-триггера на логических элементах ИЛИ-НЕ эта таблица будет выглядеть так, как показано в табл. 13.1, где *t,* (*t+1*) – дискретные моменты времени до и после воздействия входных сигналов; Q^n, Q^{n+1} – состояния до переключения и после него; *X* – неопределенное состояние. В табл. 13.1 видно, что при наличии или подаче «0» на входы R и S на выходе будет сохраняться предыдущее значение Q^n.

Таблица 13.1

Таблица состояний RS-триггера

t		t+1
R	S	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	0	1
1	1	0
1	1	X

Часто можно встретить в литературе упрощенные временные диаграммы, в которых не показывают наклоны фронтов и спадов сигналов. Такие диаграммы можно использовать для определения общей картины, но для подробного анализа они мало пригодны (рис. 13.4).

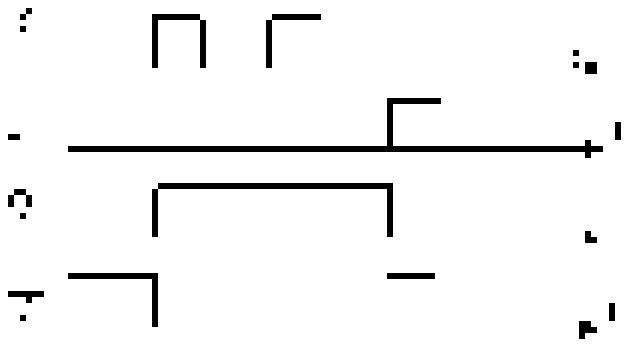


Рис. 13.4. Упрощенные временные
диаграммы сигналов RS-триггера

RS-триггер может быть построен не только на логических элементах ИЛИ-НЕ, но и на элементах И-НЕ (рис. 13.5), причём управление таким триггером осуществляется логическим сигналом низкого уровня.

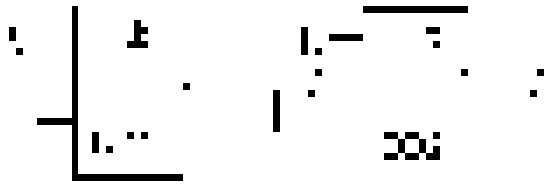


Рис. 13.5. Структурная схема RS-триггера
на логических элементах И-НЕ

Состояния триггера при различных сочетаниях входных сигналов показаны в табл. 13.2. Анализ структурной схемы и таблицы показывает, что «активным», т.е. изменяющим состояние триггера логическим уровнем в рассматриваемом триггере является уровень «0».

Таблица 13.2

Таблица состояний RS-триггера
на логических элементах И-НЕ

t		t+1
R	S	Q^{n+1}
1	1	Q^n
1	0	1
0	1	0
0	0	X

Упрощенные диаграммы сигналов будут выглядеть следующим образом (рис. 13.6):

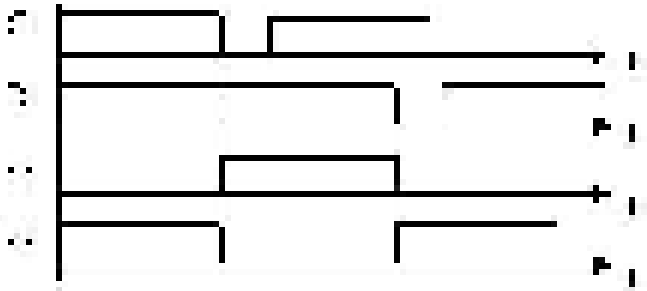


Рис. 13.6. Диаграммы сигналов RS-триггера на элементах И-НЕ

Триггеры являются схемной реализацией элементарных *цифровых автоматов*, т.е. устройств, которые можно описать с помощью конечных множеств входных сигналов x (t) (входного алфавита), выходных сигналов Υ(t) (выходного алфавита), функций переходов F_n, конечного множества внутренних состояний q(t) и функций выходов $F_{вых}$ [19]. При этом используется понятие дискретного времени t, $(t + 1)$, $(t – 1)$ и т.д., т.е. моменты текущий, последующий и предыдущий (подробнее см. п. 13.7). Если текущее состояние Q (t) , то $Q(t+1) = F_n$ $[Q$ $(t$ $),$ $x(t)]$, $\Upsilon($ t $) = F_{вых}$ $[Q(t),$ $x(t)]$, где: $x(t)$ – входной сигнал; $\Upsilon($ t $)$ – выходной сигнал.

Например, анализируя таблицы состояний рассмотренных ранее триггеров, можно записать их функции переходов:

– RS-триггер на элементах ИЛИ-НЕ: $Q(t+1) = S(t) + Q(t)\ R(t);$ $RS= 0$.

– RS-триггер на элементах И-НЕ: $Q(t+1) = S(\overline{t}) + Q(t)\ R(t);$

$R+S = 1$.

Функциональное назначение RS-триггера – реализация задержки на такт или запоминание значения двоичной переменной.

Рассмотренные RS-триггеры являются *асинхронными*, т.е. такими, в которых переключения ЛЭ (логических элементов) происходят только как следствие изменения сигналов на входе. Физически после каждого переключения входного сигнала имеет место переходный процесс, состоящий в переключении связанных между собой ЛЭ, и этот процесс заканчивается переходом триггера в новое состояние, сохраняющееся до нового переключения. Поэтому можно условно принять временной интервал между двумя соседними переключениями на входе, равный условной единице (t = 1). Тогда к началу каждо-

го переключения условное (дискретное) время принимает целочисленные значения, для которых состояние триггера можно предсказать, так как к моменту нового переключения переходный процесс предыдущего переключения уже завершен. Этим объясняется форма записи функций переходов триггера.

Асинхронные RS-триггеры используются и как самостоятельные изделия, но чаще всего в составе более сложных триггерных схем.

Помимо асинхронных RS-триггеров очень часто используются *тактируемые (синхронизированные)* RS-триггеры. Тактируемые триггеры имеют на входе ЛЭ, входы которых соединены так, чтобы образовать вход С-*тактовый вход* (рис. 13.7).

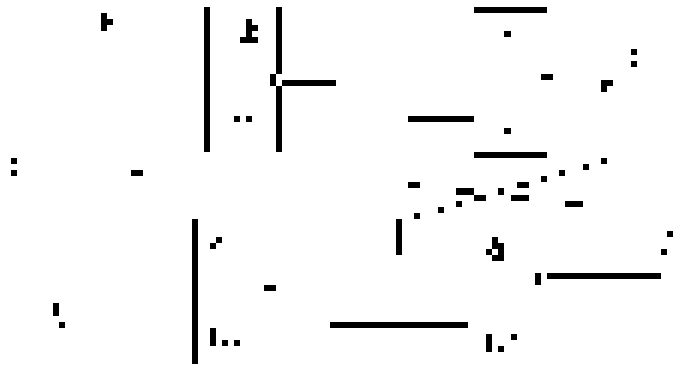


Рис. 13.7. Структурная схема тактируемого уровнем сигнала RS-триггера

Пусть S =1, C=1, R = 0, тогда должно быть. Q = 1, ($\overline{Q}$=0), так как асинхронный триггер D3, D4 устанавливается в 1 сигналом 0.

Тактируемые RS-триггеры при наличии тактового импульса действуют как асинхронные, поэтому смена сигналов на информационных входах должна происходить только в паузах между тактовыми импульсами, иначе возникнут нарушения в работе – сбои. Как отмечалось ранее, для RS-триггера есть сочетание входных сигналов, после снятия которых триггер может принять любое из двух состояний, причем это состояние заранее не определено.

13.3. Разновидности RS-триггеров

Подключая к входам RS-триггера схему управления из ЛЭ, включенных определенным образом, можно обеспечить такое положение, что при всех комбинациях входных сигналов сигналы на вы-

ходе будут иметь заведомо известные состояния. В литературе можно встретить S-триггеры, R-триггеры, Е-триггеры, как разновидности RS-триггеров. S-триггер принимает единичное состояние при запрещенной для RS-триггера комбинации; R-триггер принимает нулевое состояние; Е-триггер принимает состояние, в котором он был до подачи запрещенной комбинации. Триггер, меняющий свое состояние на противоположное после действия запрещенной для RS-триггера комбинации, относится к JK-триггерам, причем вход J соответствует входу S, а вход К – входу R. Каждый из этих триггеров может быть асинхронным либо тактируемым. Кроме того они могут быть с прямым, либо с инверсным управлением, тогда их можно обозначить как $\bar{S}$-триггер, $\bar{R}$ -триггер, $\bar{E}$ -триггер, $\overline{JK}$ -триггер. Сводная таблица асинхронных RS-триггеров (табл. 13.3) и структурные схемы Е и R-триггеров (рис. 13.8) представлены ниже (прямое управление триггерами).

Таблица 13.3

Сводная таблица RS-триггеров

Такт n		Такт (n+1)			
S	R	Тип триггера			
(J)	(K)	S-триггер	R-триггер	Е-триггер	JK-триггер
0	0	Q_n	Q_n	Q_n	Q_n
0	1	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	Q_n	Q_n

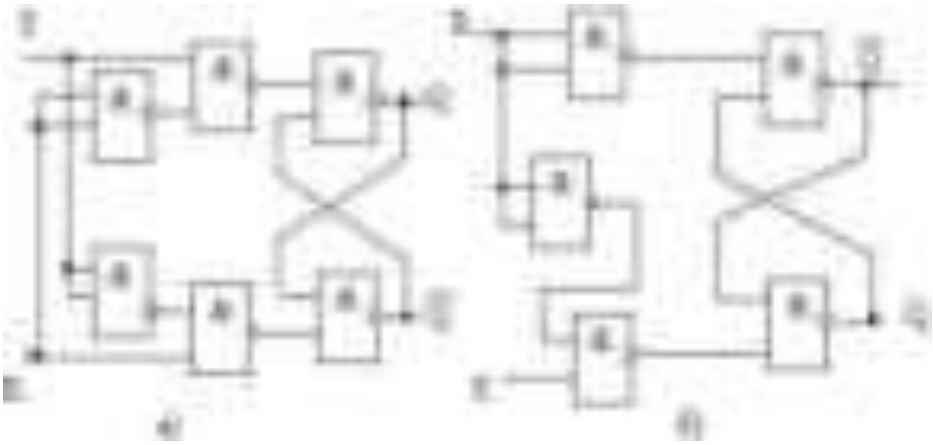


Рис. 13.8. Структурные схемы Е-триггера (а), R-триггера (б)

Двухступенчатый RS-триггер (MS-триггер). MS-триггер состоит из двух последовательно включенных синхронных RS-триггеров. Один из триггеров называют М-триггер (master − хозяин), другой S-триггер (slave − раб) (рис. 13.9).

Благодаря общему синхросигналу С вся схема функционирует как единое целое и называется двухступенчатым или MS-триггером (flip-flop). В этом триггере при С = 1 разрешается действие М-схемы: она действует как синхронизируемый RS-триггер, однако $\overline{C}$ обеспечивает режим хранения на выходах Q_s, $\overline{Q}_S$.

Рис. 13.9. Структурная схема MS-триггера

При С = 0 обеспечивается режим хранения на выходах Q_{m}, $\overline{Q}_m$, а вторая ступень действует как синхронизируемый RS-триггер, так как С = 1 и на выходах Q_{s}, $\overline{Q}_S$ будут устанавливаться значения, соответствующие предыдущему состоянию Q_{m}, $\overline{Q}_m$. Работу MS-триггера можно показать с помощью упрощенных временных диаграмм сигналов (рис. 13.10).

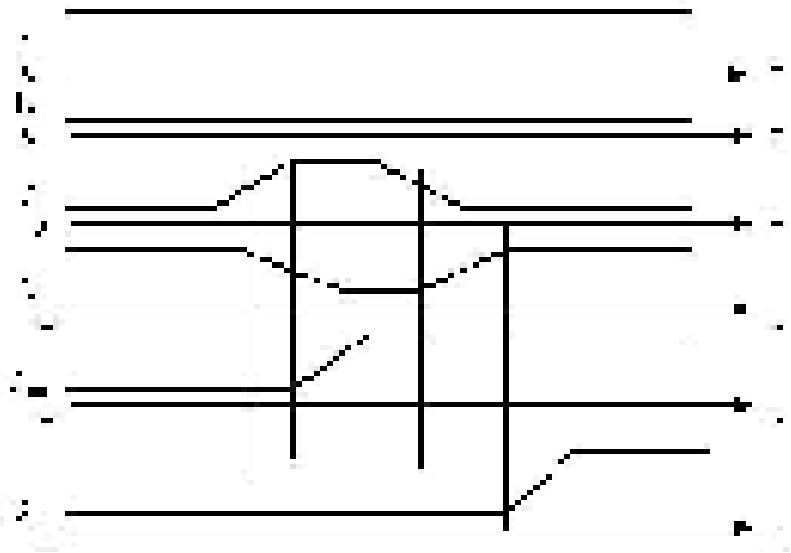


Рис. 13.10. Временные диаграммы сигналов двухступенчатого RS-триггера

На входах R и S уровни сигналов должны быть установлены заранее, а управление делается сигналом С. Анализ диаграмм (рис. 13.10) показывает, что информация, поступившая на входы R и S принимается в М-триггер, когда сигнал С изменится от 0 к 1 (по фронту). Но пока С = 1, эта информация не приходит в S-триггер, так как инверсией $\overline{C} = 0$ закрыты входные конъюнкторы S-схемы. Эти коньюнкторы откроются лишь тогда, когда сигнал $\overline{C} = 0$ изменится от 0 к 1, т.е. по спаду синхронного сигнала С. Только после этого информация с выхода Q_m попадет на выход Q_s, т.е. триггер меняет свое состояние по срезу С-сигнала.

Срезу С-сигнала должен предшествовать интервал подготовки, в течение которого входные сигналы на входах R и S не должны меняться. Иначе, если срез С-сигнала наложится на процесс переключения М-схемы, правильную работу гарантировать нельзя. Так как входные коньюнкторы закрываются срезом синхроимпульса, то они не пропустят никаких изменений входного сигнала после этого, т.е. управляющие сигналы можно обновлять тоже по срезу (сразу после него) синхроимпульса. Рассмотренный принцип построения двухступенчатого триггера лежит в основе принципа динамического управления триггером, при котором существенно повышается помехоустойчивость триггерной системы.

Действие рассмотренных триггеров аналитически описывается так называемыми уравнениями состояний, в которых показано, под действием каких сочетаний входных логических сигналов триггер изменяет состояние на выходе. Для несинхронизируемых триггеров эти уравнения показаны ниже:

RS-триггер: $Q(t+1) = \underline{S}(t) + Q(t)\,\overline{R}(t)$, RS=0;

RS-триггер: $Q(t+1) = S(t) \pm Q(t)\,\underline{R}(t)$, R + S =1;

IK-триггер: $Q(t+1) = I(t)\,Q(t) + K(t)\,Q(t)$.

Рассмотрев основные принципы построения триггеров можем сделать классификацию триггеров. Триггеры классифицируют по способу записи информации и функциональному признаку. По способу записи различают *тактируемые* (синхронизируемые) и *асинхронные* (несинхронизируемые) триггеры. У асинхронного триггера изменение его состояния происходит непосредственно с приходом управляющего сигнала. В синхронизируемых триггерах кроме информационных входов имеются так называемые *входы синхронизации (тактовые входы).* Изменение состояния тактируемого триггера при наличии на входах информационных сигналов может произойти

только после подачи на тактовые входы соответствующих разрешающих сигналов. Причем разрешающий сигнал может быть подан либо в виде потенциала (статическое управление), либо в виде перепада (динамическое управление). Классификация триггеров по функциональному признаку представлена на рис. 13.11:

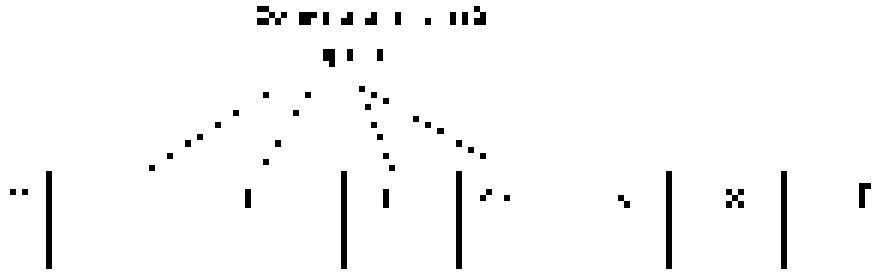


Рис. 13.11. Классификация триггеров

Основой классификации по функциональному признаку является способ организации логических связей между входами и выходами в определенные (дискретные) моменты времени (t, t+1, t – 1). Название триггера отражает особенности его управления и характеризует вид логического уравнения (уравнение состояния), описывающего его функционирование при подаче соответствующих сигналов.

Ввиду разнообразия различных видов триггеров общеприняты обозначения входов и выходов триггеров, которые применяются в основных видах УГО (условных графических обозначений). Ранее было отмечено, что состояние триггера отождествляют с сигналом на его прямом выходе: триггер находится в единичном состоянии (установлен) при $Q = 1$ ($\overline{Q} = 0$) и в нулевом состоянии («сброшен»), если $Q = 0$ ($Q = 1$). Входы имеют следующие обозначения:

S − вход для раздельной установки триггера в состояние 1;

R − вход для раздельной установки триггера в состояние 0;

J − вход для установки триггера в состояние 1;

K − вход для сброса этого триггера;

T − счетный вход;

D − информационный вход для установки или сброса триггера;

C − тактовый вход;

E − дополнительный управляющий вход для разрешения приема информации (ранее был V-вход согласно ГОСТ2743-72, отсюда остались названия DV, TV-триггеры).

Срабатывание по фронту либо по спаду импульса отмечается знаками:

− срабатывание по фронту (перепаду от 0 к 1, ⟋);

− срабатывание по спаду (перепаду от 1 к 0, ⟍).

Если триггер управляется инверсным сигналом (логическим нулем), то это показывается кружком, располагаемым на конце входного вывода.

Если требуется указать инверсный выход, то кружок ставят в начале выходного вывода: вход − ⟜ , ⟝ − выход.

Выходы всегда указываются с правой стороны прямоугольника, изображающего триггер (рис. 13.12).

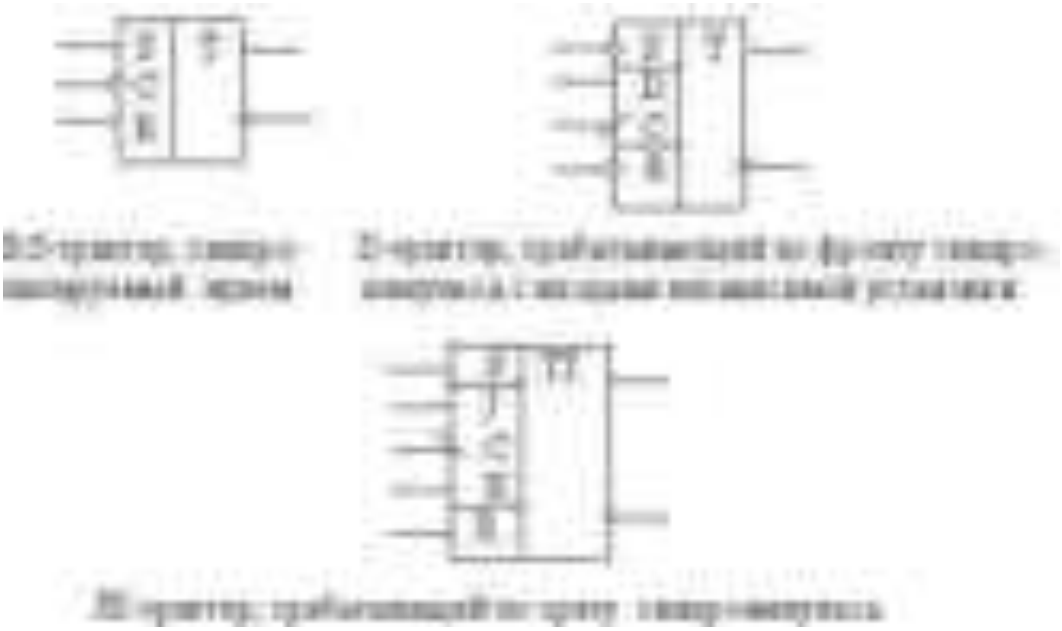


Рис. 13.12. Примеры УГО триггеров

13.4. JK-триггеры

JK-триггер носит название универсального триггера, так как используется во многих устройствах (регистры, счетчики, делители частоты и т.п.) чаще других за счет того, что легко преобразуется в триггеры других видов.

JK-триггер с потенциальным (статическим) управлением может быть построен на базе RS-триггера (рис. 13.13) путем введения дополнительных элементов и цепей обратной связи.

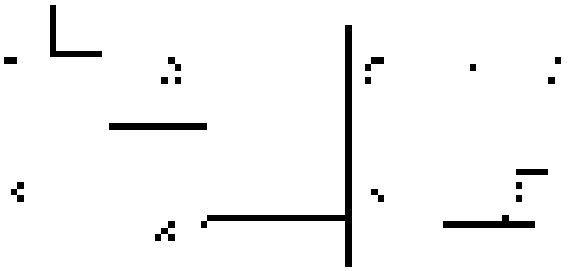


Рис. 13.13. Структурная схема JK-триггера
со статическим управлением

Функция переходов (уравнение состояния) имеет вид:

$$Q(t+1) = J(t)\,Q(t) + K(t)\,Q(t).$$

JK-триггеры обычно выполняются синхронными и двухступенчатыми, что расширяет их возможности и повышает помехоустойчивость. Логическая структура двухступенчатого JK-триггера представлена на рис. 13.14. Эта структура отличается от рассмотренной ранее двухступенчатой структуры RS-триггера наличием обратных связей с выхода на вход.

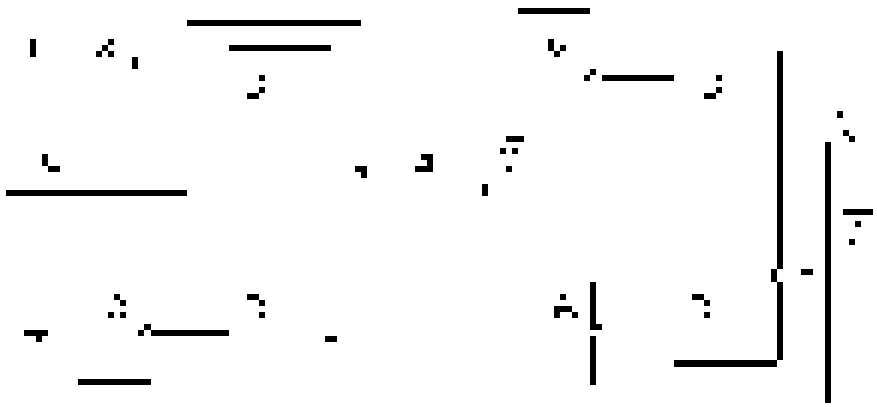


Рис. 13.14. Структурная схема двухступенчатого JK-триггера,
срабатывающего по спаду синхроимпульса

Можно видеть, что схема отличается от MS-триггера наличием цепей обратной связи и трехвходовыми элементами И в первой ступени (в M-схеме). При любом состоянии триггера сигналы обратной связи открывают для C-сигнала (при J = K = 1) именно тот конъюнктор, пройдя через который C-сигнал переведет триггер в противоположное состояние. Данные о функционировании JK-триггера приведены в табл. 13.4.

Таблица 13.4

Таблица функционирования JK-триггера

C	J	K	Q (t+1)	Режим
X	0	0	Q(t)	Хранение
↓	0	1	0	Сброс
↓	1	0	1	Установка
↓	1	1	Q(t)	Счетный

Главное условие правильной работы остается прежним: во время изменения синхросигнала не должны меняться сигналы на информационных входах J, K.

13.5. D-триггер и T-триггер

D-триггер. D-триггер имеет один информационный вход; сигнал на выходе D-триггера повторяет сигнал на входе D, существовавший в предыдущем такте, т.е. D-триггер «запоминает» этот сигнал до следующего такта. Функция переходов имеет вид:

$$Q\ (t+1) = D(t).$$

Можно сказать, что D-триггер задерживает на один такт информацию, существовавшую на входе D. D-триггеры выполняются тактируемыми. Логическая структура D-триггера со статическим управлением, построенного на базе RS-триггера с тактированием потенциалом (уровнем) синхронизирующего сигнала, представлена на рис. 13.15.

Рис. 13.15. Структурная схема и таблица функционирования D-триггера с потенциальным управлением

Принцип действия рассматриваемого D-триггера поясняется диаграммами сигналов, приведенными на рис. 13.16.

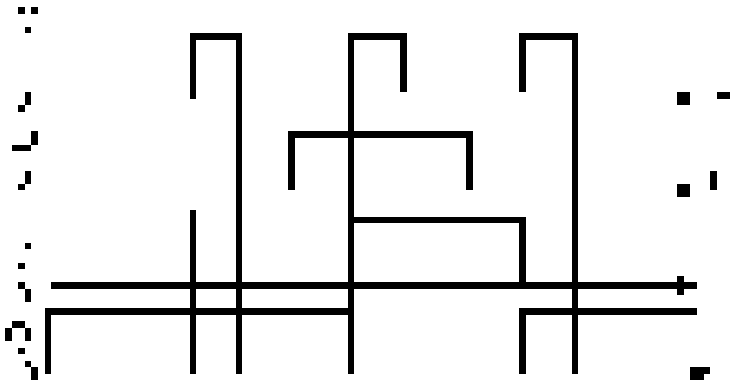


Рис. 13.16. Диаграммы сигналов D-триггера

Из диаграмм видно, что D-триггер осуществляет «задержку» появления, (исчезновения) импульса на выходе на промежутки времени между фронтом импульса и фронтом (спадом) сигнала на D-входе.

D-триггер, как и любой другой, может быть построен не только на элементах И-НЕ, но и на других: ИЛИ-НЕ, И-ИЛИ-НЕ. При этом удается совместить функции триггерной ячейки и комбинационной логической схемы. Примером может служить DV-триггер на элементах И-ИЛИ-НЕ (рис. 13.17).

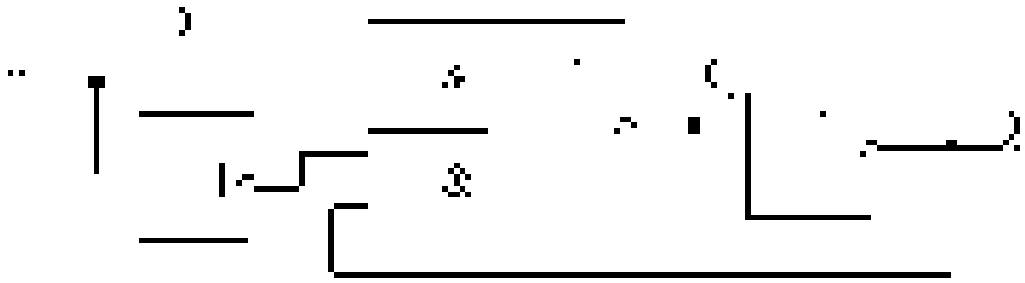


Рис. 13.17. Структурная схема DV-триггера

Характеристическое уравнение для DV-триггера имеет вид:

$$Q(t+1) = V(t)\,D(t) + \overline{V(t)}\,Q(t).$$

DV-триггер позволяет получить: при $V = 1$ $\quad Q(t+1) = D(t);$

при $V = 0$ $\quad Q(t+1) = Q(t).$

Лучшими функциональными характеристиками обладает D-триггер с динамическим управлением, так называемый шестиэлементный триггер (триггер Вебба) (рис. 13.18) [22].

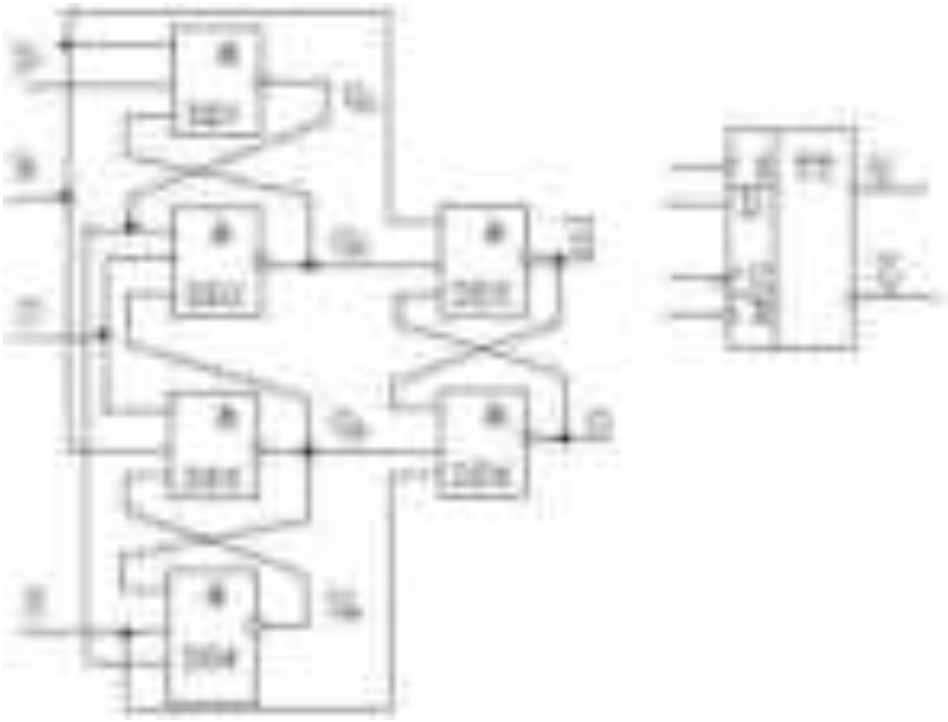


Рис. 13.18. Структурная схема и УГО
шестиэлементного D-триггера

В структуре (рис. 13.18) имеются шесть элементов И-НЕ, образующих попарно три элементарных триггера. Дополнительные входы асинхронного управления R, S действуют независимо от D-входа и служат для асинхронной установки или сброса триггера.

Если C=0, на выходе $Q_2 = Q_3 = 1$ и триггер DD5, DD6 находится в режиме хранения Q =Q(t). Состояние элементов DD1 и DD4 определяется сигналами D(t): если D = 0, то $Q_1 = 1$, $Q_4 = Q_3 \cdot Q_1 = 0$; если D = 1, то $Q_1 = Q_2 \cdot D = 0$, $Q_4 = 1$.

Если C = 0, а сигнал на входе D изменится, то это отразится лишь на состоянии Q_1, Q_4, но на выходах схемы это не отразится.

С приходом сигнала C =1 (при изменении от 0 до 1) возникает такая комбинация сигналов Q_2, Q_3, которая приводит выходную триггерную ячейку в состояние, которое было на входе D(t). УГО триггера отражает тот факт, что «активным» уровнем для входов R, S является низкий логический уровень входного сигнала.

Режимы работы триггера отражены в таблице состояний (табл. 13.5).

D-триггеры очень часто используются в различных схемах: регистрах, счетчиках. Это объясняется тем, что D-триггеры позволяют построить схемы с малой вероятностью ложных срабатываний.

Таблица 13.5

Таблица состояний шестиэлементного D-триггера

Операция	Вход				Выход	Режим
	S	R	C	D(t)	Q(t+1)	
Загрузка 0 Загрузка 1	1 1	1 1	↑	0 1	0 1	Синхронный
Хранение Хранение Хранение	1 1 1	1 1 1	 0 1	X X X	Q(t) Q(t) Q(t)	Хранение
Установка 1 Установка 0	0 1	1 0	X X	X X	1 0	Асинхронный

Т-триггер. Т-триггер − это логическая схема с двумя устойчивыми состояниями и одним информационным входом, изменяющая свое состояние на противоположное всякий раз, когда на вход Т поступает управляющий сигнал.

Т-триггер – единственный вид триггера, состояние которого в текущий период определяется собственным состоянием в предыдущем периоде. Самостоятельных Т-триггеров не выпускают. Основной способ построения Т-триггеров – введение соответствующих обратных связей в тактируемых – RS, JK, D-триггерах.

Т-триггер называют также *счетным триггером* (триггером со счетным входом). Его применяют в основном для счета входных импульсов и деления частоты этих импульсов. Применение Т-триггеров в счетчиках обусловлено тем, что каждому входному импульсу соответствует одно срабатывание, т.е. число срабатываний триггера соответствует числу импульсов.

Деление частоты Т-триггером следует из принципа его действия. Каждому периоду изменения входного сигнала соответствует половина периода на выходе (двум периодам соответствует один), т.е. частота выходного сигнала оказывается в два раза ниже частоты входного. Импульсы на выходе Т-триггера имеют равные длительность паузы и ширину импульса независимо от скважности входного

периодического сигнала. Последовательность таких импульсов называют *меандром.* Диаграммы сигналов и таблица состояний Т-триггера показаны на рис. 13.19.

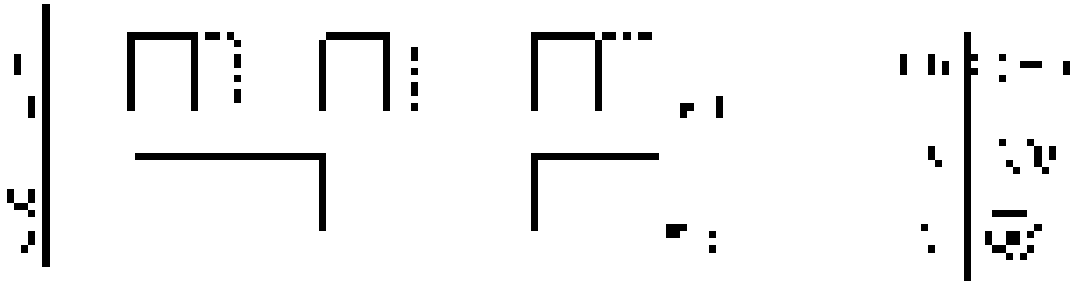


Рис. 13.19. Диаграммы сигналов и таблица состояний Т-триггера

Уравнение состояний (функция переходов) Т-триггера имеет вид:

$$Q(t+1) = \overline{T(t)} \cdot Q(t) + T(t) \cdot \overline{Q(t)} = T(t) \otimes Q(t),$$

где знак $\otimes$ обозначает функцию ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

Имея функцию переходов, можно определить способы получения Т-триггеров из других. Например, если в уравнении состояний JK-триггера положить J=K, то получим уравнение, идентичное уравнению Т-триггера. На практике это означает, что если соединить между собой входы J и K и подавать на них импульсы, JK-триггер будет выполнять функцию Т-триггера.

13.6. Несимметричные триггеры

Такие триггеры часто называют триггерами Шмитта [1]. По своим свойствам они существенно отличаются от симметричных триггеров, так как у них нет «памяти» о предыдущем состоянии.

Несимметричный триггер – это регенеративное устройство, имеющее гистерезисную передаточную характеристику, у которого выходной сигнал может принимать два значения.

Переход от одного уровня выходного напряжения к другому происходит скачкообразно при определенном значении входного сигнала – напряжении срабатывания $U_{сраб}$. Возвращение в исходное состояние происходит при другом уровне входного сигнала – напряжении отпускания $U_{отп}$ (рис. 13.20).

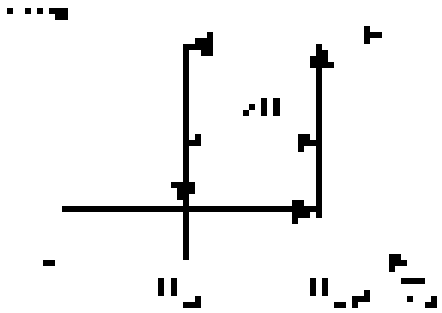


Рис. 13.20. Амплитудная характеристика триггера Шмитта

Характеристика имеет вид гистерезисной петли с шириной ΔU.

Триггер Шмитта используется для формирования резких перепадов напряжения из медленно меняющихся входных сигналов. Принцип действия триггера Шмитта поясняется схемой, составленной из дискретных элементов (рис. 13.21).

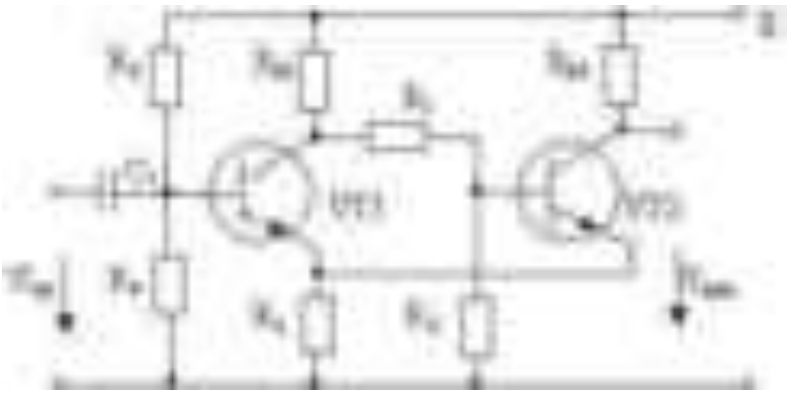


Рис. 13.21. Схема триггера Шмитта на биполярных транзисторах

Работа схемы происходит следующим образом.

Пусть транзистор VT2 открыт при Uвх = 0 и насыщен. Ток, протекающий в цепи E – $R_{к2}$ – $R_э$ создает падение напряжения на резисторе $R_э$, препятствующее открыванию транзистора VT1. При этом в исходном состоянии VT1 будет находиться в состоянии отсечки, если управляющее напряжение $U_{бэ1}$ меньше порогового напряжения открытия $U_{пор}$ для данного транзистора. При подаче входного напряжения VT1 открывается в тот момент, когда $U_{бэ1} = U_{пор}$, потенциал его коллектора понижается, следовательно понижается потенциал и ток базы VT2. Транзистор VT2 из режима насыщения начнет переходить в активный режим, т.е. ток через него понижается, что приводит к уменьшению падения напряжения на резисторе Rэ. Послед-

нее увеличивает ток через VT1 и еще более снижает потенциал его коллектора, что ведет к переходу его из активной области в режим насыщения. Процесс идет лавинообразно. В результате транзистор VT2 переходит в область отсечки, а транзистор VT1 – в область насыщения. Напряжение, при котором происходит переключение, называется напряжением срабатывания. Дальнейшее увеличение входного напряжения только увеличивает глубину насыщения транзистора VT1. Если уменьшить входное напряжение, то возврат схемы в исходное положение будет при меньшем входном напряжении. Схема представляет собой двухкаскадный усилитель, охваченный слабой положительной обратной связью. Параметры элементов схемы выбирают так, чтобы ток насыщения транзистора VT2 был больше тока насыщения транзистора VT1. Это условие выполняется, если

$$E/(R_{к2} + R_э) > E/(R_{к1} + R_э);\ R_{к1} > R_{к2}.$$

Различие в уровнях срабатывания и отпускания является необходимым условием работы схемы в триггерном режиме. Логические элементы со свойствами триггера Шмитта имеют внутреннюю ПОС, глубина которой подобрана так, чтобы получить передаточную характеристику со значительным гистерезисом. Триггеры Шмитта в интегральном исполнении широко используются во входных цепях электронных средств.

Триггер Шмитта на основе операционного усилителя (ОУ). Достоинство триггера Шмитта на основе ОУ – возможность получения заданных стабильных уровней напряжений срабатывания и отпускания и возможность регулирования ширины петли гистерезиса. Уровень входного сигнала срабатывания определяется опорным напряжением, которое можно регулировать в широких пределах. Одна из схем показана на рис. 13.22.

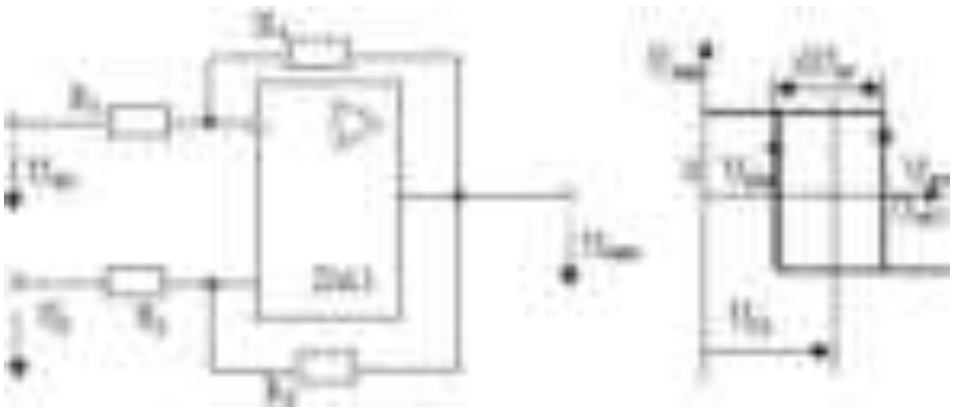


Рис. 13.22. Схема триггера Шмитта на основе ОУ и его амплитудная (выходная) характеристика

Триггер представляет собой ОУ, охваченный ПОС (положительной обратной связью) с помощью резисторов R_2 и R_3. Коэффициент ПОС:

$$\gamma = R_2 / (R_2 + R_3).$$

Известно, что усилитель, охваченный ПОС, переходит в генераторный режим или становится регенеративным устройством, если $K\gamma \geq 1$, где K – собственный коэффициент усиления ОУ.

Если $R_2 / (R_2 + R_3) > 1/K$, то устройство будет обладать регенеративными свойствами и выходная характеристика будет иметь вид релейной, т.е. имеет скачкообразный характер. Смещение центра петли гистерезиса:

$$U_{01} = U_0 \cdot R_3 / (R_2 + R_3).$$

Ширина петли гистерезиса $\Delta U_{пг} = (U^+_м + |U^-_м|) \cdot (\gamma - 1/K)$, где $U^+_м$ – максимальное положительное выходное напряжение ОУ; $|U^-_м|$ – модуль максимального отрицательного выходного напряжения ОУ.

13.7. Цифровые автоматы

В электронных системах и устройствах управления различными объектами широкое применение находят функциональные узлы, называемые цифровыми автоматами (ЦА) [2].

В общем случае цифровым автоматом называют цифровое устройство с памятью, предназначенное для преобразования входной цифровой информации в выходные сигналы управления различными объектами.

Поведение цифрового автомата определяется:

– множеством входных сигналов $X = (x_1, x_2, \ldots, x_l)$;

– множеством выходных сигналов $Y = (y_1, y_2, \ldots, y_n)$;

– множеством внутренних состояний $Z = (z_1, z_2, \ldots z_s)$;

– начальным состоянием $z_i^{(t=0)} \in Z$;

– функцией переходов $z^{(t+1)} = f(z^{(t)}; x^{(t)})$;

– функцией выходов: $y^{(t)} = \phi\,(z^{(t)}; x^{(t)})$ – для ЦА Мили;

$y^{(t)} = \phi\,(z^{(t)})$ – для ЦА Мура.

Разница между автоматами Мили и Мура состоит в разной форме зависимости функций выходов: в автоматах Мили функция выходов зависит от входных сигналов и внутреннего состояния, а в автоматах Мура функция выходов однозначно определяется его внутренним состоянием.

Функционирование ЦА может быть представлено в виде:

– словесного (текстового описания);

– таблиц переходов и выходов;

– графа функционирования.

Структурно ЦА может быть представлен в виде трех функциональных устройств (рис. 13.23).

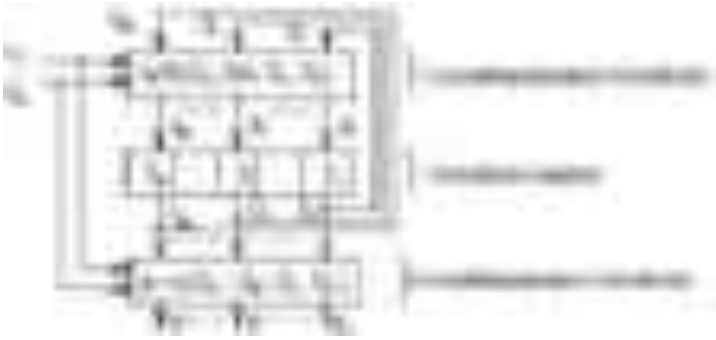


Рис. 13.23. Структурная схема ЦА Мили

Как следует из структурной схемы, первое комбинационное устройство формирует сигналы управления памятью, а второе комбинационное устройство вырабатывает выходные сигналы *Y*. ЦА содержит *m* триггеров, поэтому может иметь 2^m состояний, соответствующих *m*-разрядному двоичному слову. Разрядность *n* выходного слова *Y* может отличаться от значения *m*.

Синтез цифрового автомата. Выполнение этапов синтеза ЦА показано на примере гипотетического ЦА Мили, функционирование которого задано графом и таблицей переходов (выходов): (z)/(y) (рис. 13.24).

Входные сигналы	Состояния *ЦА*			
	z_0	z_1	z_2	Z_3
$x_1(x = 0)$	$z_3/0$	$z_0/0$	$z_2/0$	$z_0/0$
$x_2(x = 1)$	$z_1/0$	$z_2/1$	$z_3/0$	$z_1/1$

Рис. 13.24. Граф и таблица переходов ЦА

Этапы синтеза ЦА:

1. Определяем структуру памяти ЦА – число и тип триггеров. Число триггеров *m* зависит от числа состояний ЦА *S* и в данном примере равно $m=[\log_2 S]=[\log_2 4]=2$. В качестве триггеров выбираем JK-триггеры.

2. Производим кодирование S состояний ЦА состояниями JK-триггеров (табл. 13.7).

Таблица 13.7

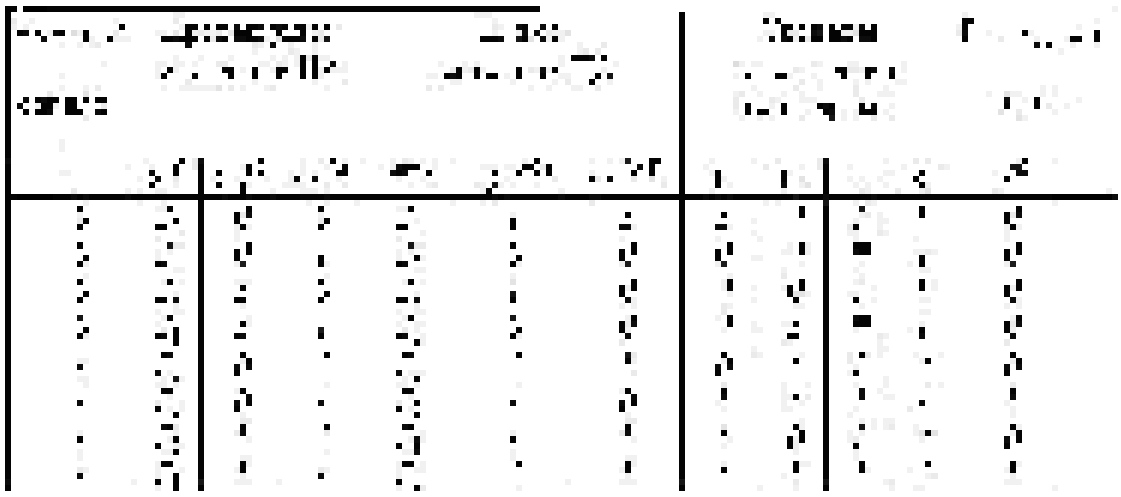
Кодирование состояний ЦА

Состояние ЦА – Z	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3
Состояние триггера T_0 (Q_0)	0	1	0	*1*
Состояние триггера T_1 (Q_1)	*0*	*0*	*1*	*1*

3. Составляем таблицу функционирования ЦА, учитывающую функцию переходов $z^{(t+1)} = f(z^{(t)}; x^{(t)})$, функцию выходов $y^{(t)} = \phi\ (z^{(t)}; x^{(t)})$ и тип триггеров-JK (табл. 13.8).

Таблица 13.8

Таблица функционирования ЦА



4. Пользуясь данными таблицы функционирования с помощью карт Карно (рис. 13.25) определяем минимизированные ЛФ (логические функции) для построения схем комбинационных устройств, формирующих сигналы управления триггерами J_1, K_1, J_0, K_0 и выходной сигнал *Y*:

$$J_1 = \overline{x} \cdot \overline{Q_0} + x \cdot Q_0; \quad K_1 = Q_0;$$
$$J_0 = \overline{Q_1} + x; \qquad K_0 = \overline{Q_1} + \overline{x};$$
$$Y = Q_0 \cdot x.$$

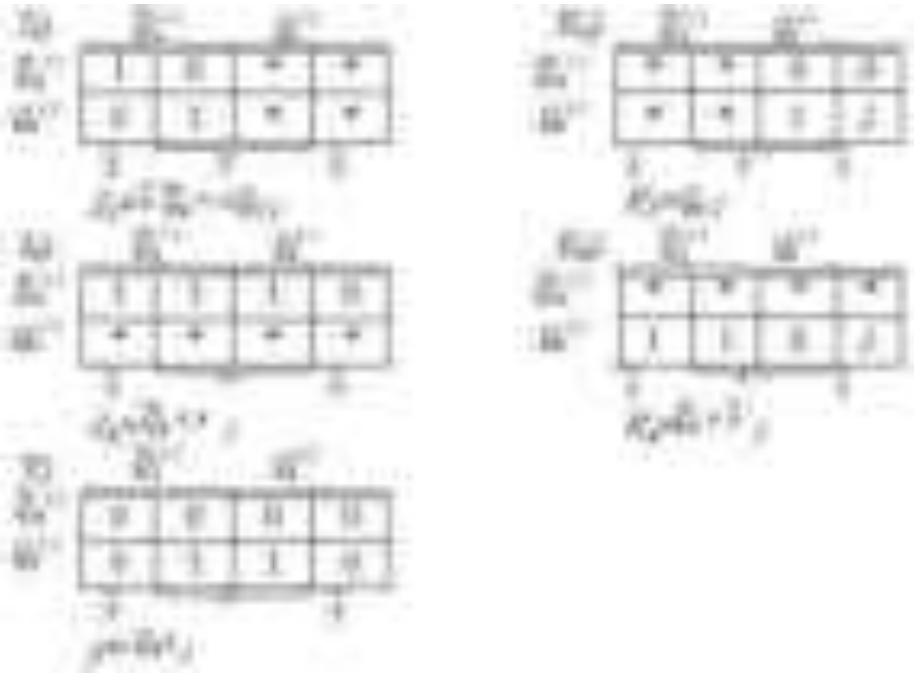


Рис. 13.25. Карты Карно и минимизированные
логические функции для управляющих входов и выхода ЦА

5. На основании полученных ЛФ строим логическую схему ЦА (рис. 13.26).

Следует заметить, что схема синтезируемого ЦА может быть построена на триггерах любого типа, поэтому критерии выбора типа триггеров могут быть самыми разными, зависящими от конкретных условий. Можно, например, исходить из условия минимального количества логических элементов в комбинационной части ЦА и т.п.

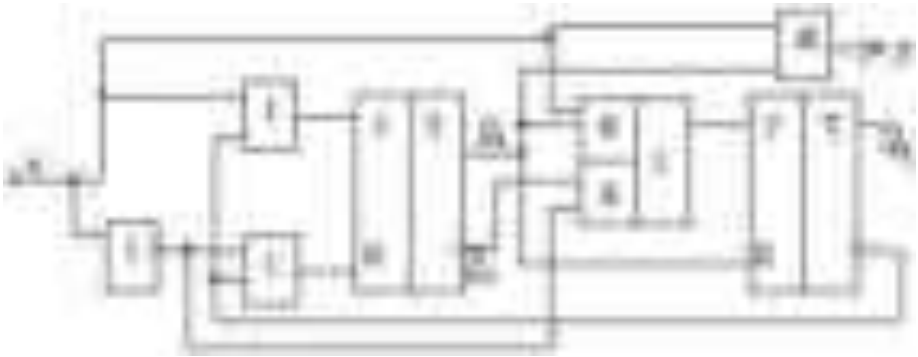


Рис. 13.26. Логическая схема синтезируемого ЦА

Пользуясь данными таблицы функционирования, получим, например, ЛФ для комбинационной части при реализации ЦА на D-триггерах, для чего составим карты Карно для сигналов управле- ния D-триггерами D_0 и D_1 (рис. 13.27).

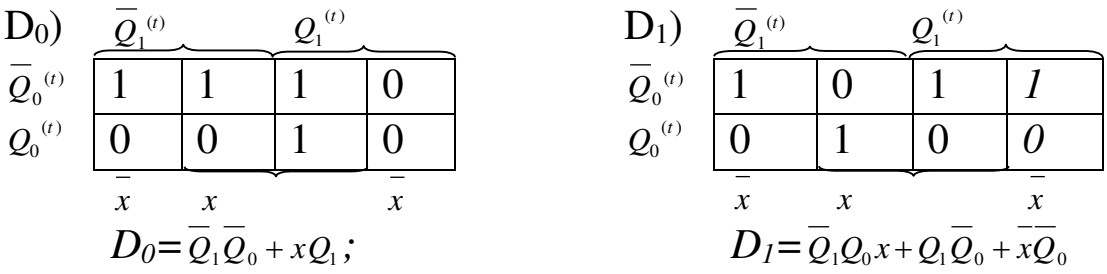


Рис. 13.27. Карты Карно и логические функции для D-входов ЦА

Подсчёт по полученным ЛФ сложности реализации логических схем управления триггерами даёт для реализации:

а) на JK-триггерах требуется шесть элементов на 13 входов;

б) на D-триггерах потребуется другое количество элементов.

На основании сравнения выбранных критериев сложности реализации синтезируемых схем можно, например, сделать вывод о предпочтительности выбора того или иного вида триггера или набора логических элементов.

14. РЕГИСТРЫ И СЧЁТЧИКИ

14.1. Общие сведения о регистрах

Регистр − это функциональный узел, предназначенный для записи, обработки и хранения цифровых слов. Над словами выполняются следующие операции: приём, выдача, хранение, сдвиг, поразрядные логические операции.

Главным классификационным признаком для регистров является способ приёма и выдачи данных. По этому признаку различают регистры *параллельные* (статические), *последовательные* (регистры сдвига) и *параллельно-последовательные* (универсальные). В параллельных регистрах приём и выдача слов производятся по всем разрядам одновременно. В последовательных регистрах слова принимаются и выдаются разряд за разрядом. Эти регистры называют *сдвигающими,* так как в них под действием тактирующих импульсов слова перемещаются в разрядной сетке с шагом в один разряд.

Параллельно-последовательные регистры имеют одновременно как последовательные так и параллельные входы и (или) выходы. Существуют варианты с возможностью любого сочетания способов приёма и выдачи слов.

Структурно любой регистр представляет собой несколько триггеров (по числу разрядов обрабатываемых слов), объединённых общими цепями тактирования (синхронизации), сброса и установки, разрешения приёма (записи) или выдачи (чтения) слов. Важнейшие характеристики регистров − *разрядность* и *быстродействие*. Разрядность определяется количеством триггеров для хранения слов, быстродействие характеризуется максимальной тактовой частотой, с которой может производиться запись, чтение или сдвиг информации. Для построения регистров используются D-триггеры, JK и RS-триггеры. Однако в современной схемотехнике, согласно [20], характерно построение регистров именно на D-триггерах, преимущественно с динамическим управлением. Достоинство регистров на D-триггерах состоит в существенном уменьшении числа соединений в узле, кроме того D-триггер повышает устойчивость регистра к помехам.

Пример структурной схемы статического (параллельного) регистра показан на рис. 14.1.

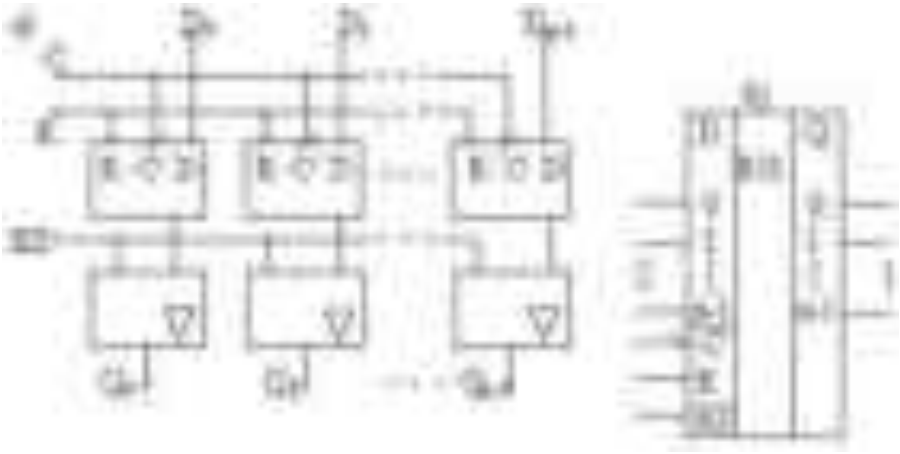


Рис. 14.1. Структурная схема (*а*) и условное изображение статического *n*-разрядного регистра (*б*)

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

C − вход сигнала тактирования;

R − вход сигнала сброса («очистки») − установка логического нуля во всех разрядах выходного слова;

D_0…..D_{n-1} – *n*-разрядное слово, подаваемое на входы данных D;

EZ – вход разрешения третьего состояния на выходе;

Q_0…..Q_{n-1} − *n*-разрядное слово, образованное на выходах Q.

Режимы работы регистра (рис. 14.1) определяются совокупностью трех управляющих сигналов: «тактирование» – C, «сброс (очистка)» – R, «третье состояние на выходе» – EZ в соответствии с таблицей функционирования (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Таблица функционирования регистра

Режим работы	Управляющие сигналы			Выходные сигналы
	C	R	EZ	
Очистка	1	0	1	$Q_0 \cdots Q_{n-1}$
Запись	↓	1	1	$Q_0 \cdots Q_{n-1}$
Хранение	1	1	1	$Q_0 \cdots Q_{n-1}$
Чтение	↓	1	0	$D_0 \cdots D_{n-1}$

По принципу хранения информации регистры делят на *статические* и *динамические.* С этой точки зрения статические регистры – это регистры, которые строят на триггерах, способных хранить информацию сколь угодно долго (конечно, при наличии напряжения питания).

Динамические регистры строят на таких элементах памяти, как конденсатор, причем в качестве конденсатора обычно используется входная ёмкость МОП-транзистора. Подобный элемент памяти может хранить информацию лишь в течение небольшого промежутка времени (несколько мс), поэтому в динамических регистрах записанная информация требует постоянной *регенерации*.

Из статических регистров можно составить блоки, называемые регистровыми файлами. Регистровые файлы позволяют хранить несколько многоразрядных слов с возможностью независимой и одновременной записи одного слова и чтения другого. Схема управления регистровым файлом позволяет легко наращивать размерность регистровой памяти, составляя блоки памяти из нескольких микросхем. Пример схемы регистрового файла показан на рис. 14.2 [20].

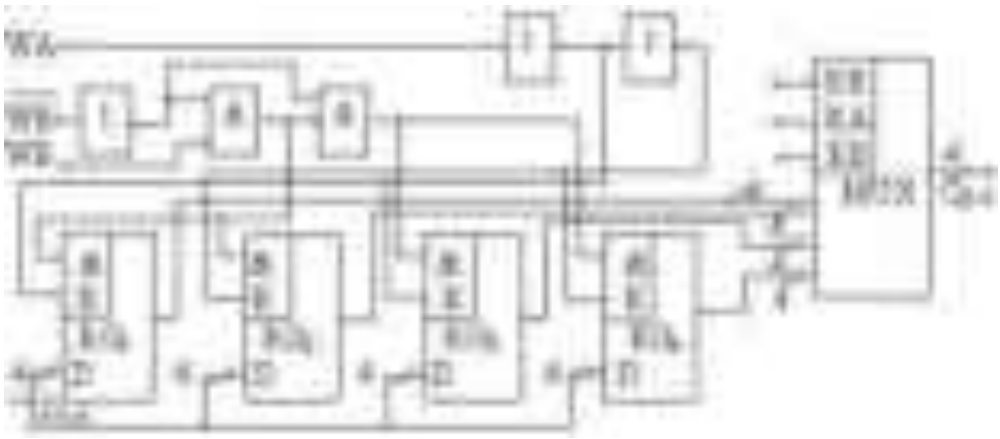


Рис. 14.2. Структурная схема четырёхразрядного регистрового файла

14.2. Сдвиговые регистры

Сдвиговый регистр – это устройство, состоящее из нескольких триггеров, соединенных между собой определенным образом и предназначенное для обработки и кратковременного хранения цифровой информации.

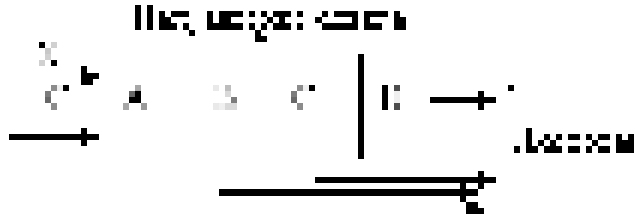


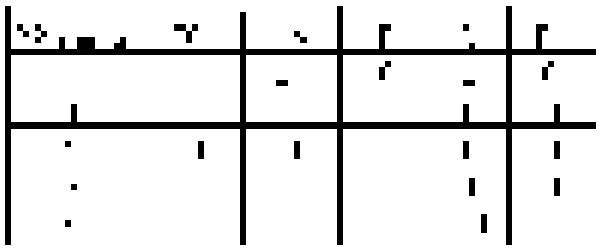
Рис. 14.3. Иллюстрация действия сдвигового регистра

Принцип действия сдвигового регистра можно представить следующим образом [5]. Пусть имеется, например, четыре триггерных ячейки, соединенных между собой последовательно (рис. 14.3). На вход первой ячейки будем подавать двоичную информацию X, считая, что триггеры тактируются тактовыми импульсами C. Символы A, B, C, D представляют триггеры регистра. Соединения внутри выполнены так, что после каждого тактового импульса каждый триггер фиксирует информацию предыдущего триггера.

Составим таблицу состояний на выходах триггеров при поступлении на вход X (рис. 14.3) двоичной информации. Примем для определенности, что до подачи тактовых импульсов исходное состояние триггеров было A=0, B=0, C=0, D=0 (табл. 14.2).

Таблица 14.2

Таблица состояний регистра



Регистры сдвига могут быть построены на триггерах разного вида, но наиболее распространены регистры на JK и D-триггерах. Структурные схемы таких регистров показаны на рис. 14.4, 14.5.

Рис. 14.4. Структурная схема сдвигового регистра на JK-триггерах

Рис. 14.5. Структурная схема сдвигового регистра на D-триггерах

В показанных схемах используется последовательный ввод и вывод информации. На практике часто используют комбинации видов ввода и вывода: последовательный ввод и параллельный вывод, параллельный ввод и последовательный вывод. Кроме этого сдвиговый регистр можно построить таким образом, что информацию, загруженную в него, возможно сдвигать в двух направлениях: либо вправо (в сторону младших разрядов сдвигаемого числа), либо влево (в сторону старших разрядов сдвигаемого числа). Такие сдвиговые регистры называют *реверсивными*. Все эти возможности обеспечиваются дополнительными логическими элементами, которые соединяются между собой и с триггерами таким образом, чтобы обеспечить необ-

ходимую структуру регистра как единого целого. Пример структурной схемы реверсивного сдвигового регистра показан на рис. 14.6.

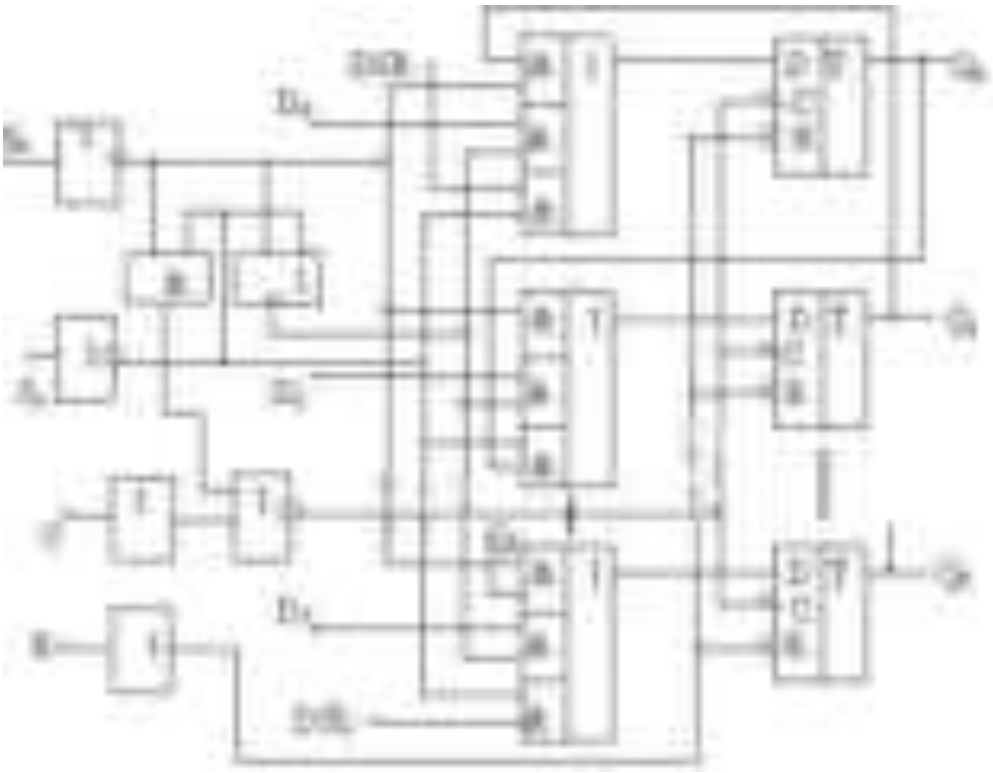


Рис. 14.6. Структурная схема универсального сдвигового регистра (регистр реверсивный, с параллельным выводом)

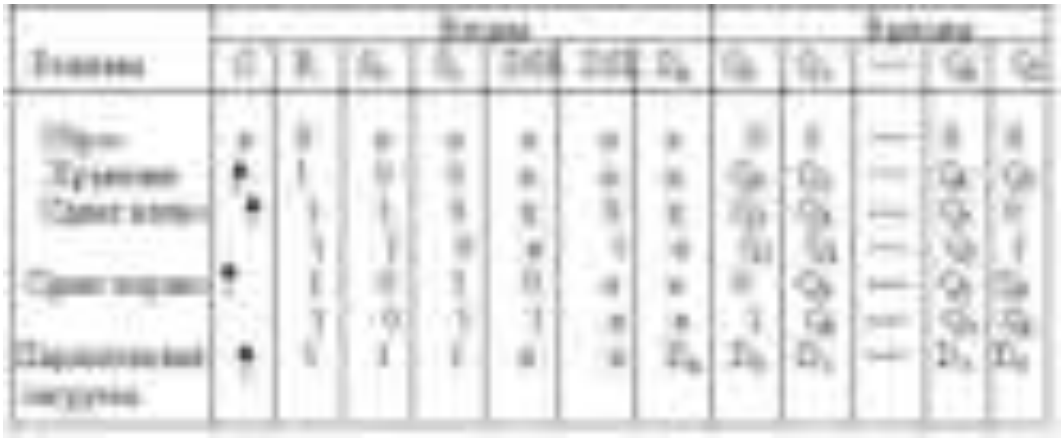
Условное графическое обозначение универсального регистра КР 1533 ИР13 показано на рис. 14.7.

Рис. 14.7. Условное графическое обозначение регистра КР1533ИР13

Функциональные возможности регистра отражены в его таблице функционирования (табл. 14.3).

Таблица 14.3

Таблица функционирования реверсивного регистра



14.3. Синхронные сдвиговые регистры с обратными связями

Обратные связи в сдвиговых регистрах осуществляют, соединяя выходы регистра с управляющими входами триггеров, образующих структуру регистра, с использованием дополнительных комбинационных схем.

В простейшем случае обратную связь образуют соединением выхода комбинационной схемы с первым каскадом сдвигового регистра, как показано на рис. 14.8, где обозначено: A, B, C….N − цепочка триггеров; ТИ − тактовые импульсы; F − логическая функция обратной связи.

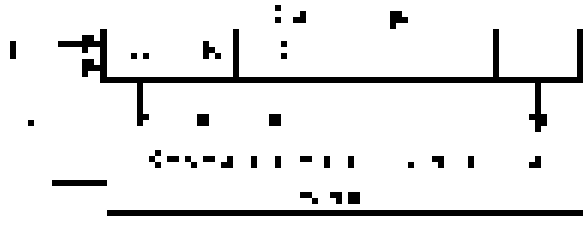


Рис. 14.8. Структурная схема организации обратной связи для сдвигового регистра

Принцип действия и возможности трехразрядного регистра сдвига с обратной связью и числом каскадов N=3 выясняются при построении его диаграммы состояний. Следует учесть, что трехразряд-

ное двоичное число может принимать восемь значений. Принцип построения диаграммы состоит в том, что необходимо назначить исходное состояние регистра, а следующее состояние будет зависеть от того, какое значение имеет функция обратной связи F. Если, например, исходное состояние ABC=000, а F=0, то состояние регистра не изменится; если F=1, то следующее состояние регистра будет ABC= 100 и т.д. (рис. 14.9).

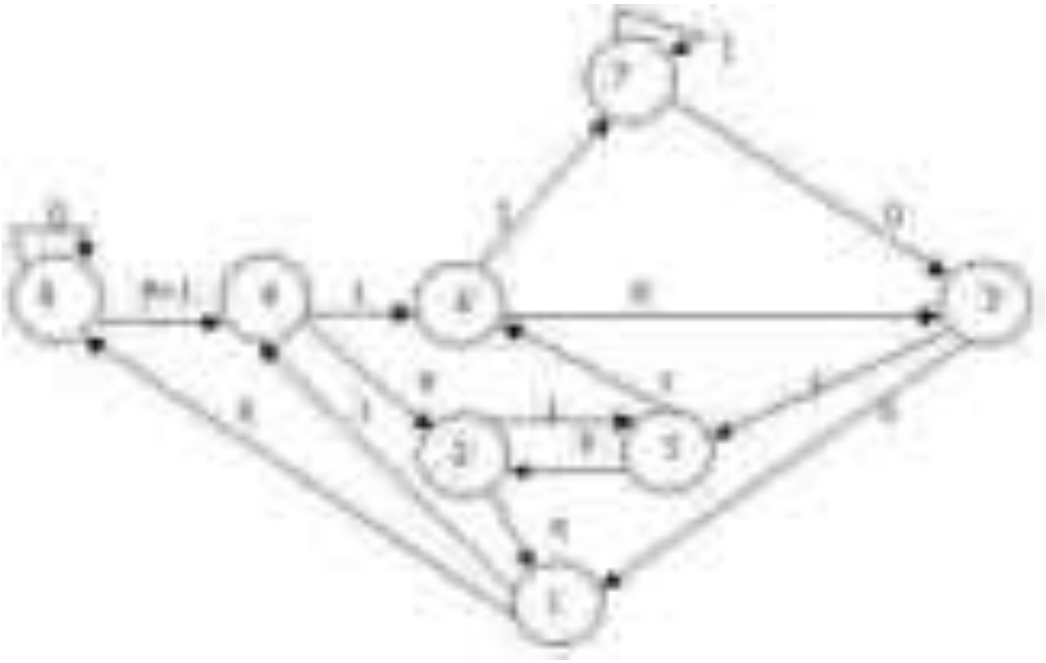


Рис. 14.9. Диаграмма состояний трехразрядного регистра сдвига с обратной связью

На диаграмме состояния регистра обозначены цифрами в кружках, причем значения цифр соответствуют десятичным значениям двоичных чисел, образующихся в регистре после очередного сдвига. Диаграмма показывает, что регистр позволяет выполнить несколько циклов сдвига, однако максимальная длина цикла равна 2^3=8. Для синтеза логической функции *F*, обеспечивающей выбранный цикл сдвига, нужно составить таблицу состояний регистра. С этой целью в таблицу записываем исходное сочетание логических переменных для трех выходов триггеров ABC. Справа записываем значение функции обратной связи, изменяющей исходное состояние, в следующей строке записываем новое состояние, в котором окажется регистр после сдвига и т.д.

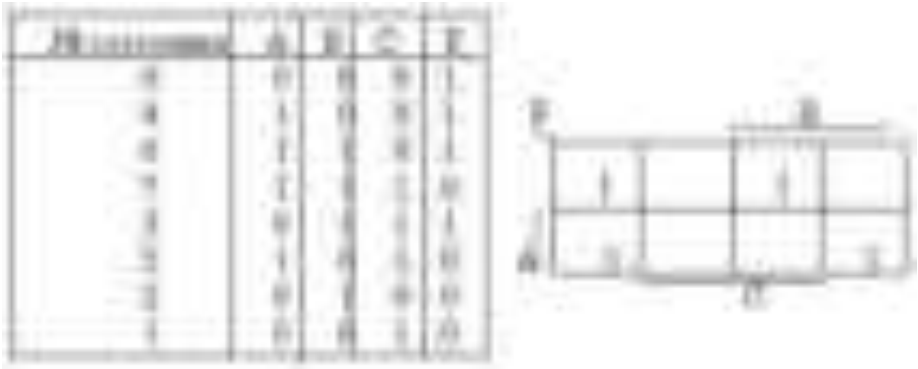


Рис. 14.10. Таблица состояний и карта
Карно для сдвигового трехразрядного регистра

Используя карту Карно, получим логическое выражение для функции F:

$$F = \bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}.$$

По найденному выражению, используя логические элементы, синтезируется часть схемы сдвигового регистра, образующая функцию обратной связи F в соответствии с таблицей состояний, при этом следует учитывать конкретный вид триггеров регистра. Следует отметить, что функция обратной связи значительно усложняется с увеличением числа разрядов регистра, так как зависит от состояния всех триггеров, образующих регистр.

14.4. Функциональные узлы на базе регистров сдвига

На основе сдвигового регистра, синтезируя нужные схемы управления, можно реализовать разнообразные цифровые функциональные узлы. Примеры реализации приведены ниже [5].

Сдвиговый регистр-кольцевой счетчик. На практике обычно используется цикл с одной единицей, циркулирующей в кольце, образованном сдвиговым регистром с логическими цепями, формирующими функцию обратной связи. Максимальная длина цикла в этом случае $L=n$, где n – число каскадов регистра.

В качестве примера рассмотрим методику синтеза трехканального распределителя тактов, выполненного на сдвиговом регистре, замкнутом в кольцо (такой распределитель можно назвать счетчиком в коде «*1* из *n*»).

В диаграмме состояний трехразрядного регистра (рис. 14.11) следует выбрать для реализации цикла только те состояния, в коде которых имеется лишь одна единица. Остальные состояния должны быть

исключены, так как в нашем случае они являются ложными (на диаграмме их изобразим не в кружках, а в прямоугольниках). Диаграмме состояний соответствует таблица истинности, в которой нужно отразить конкретные значения логических переменных на выходах триггеров синтезируемого устройства при поступлении тактирующих импульсов на входы синхронизации регистра. Синтез схемы управления триггерами делается по таблице после выбора вида используемых триггеров.

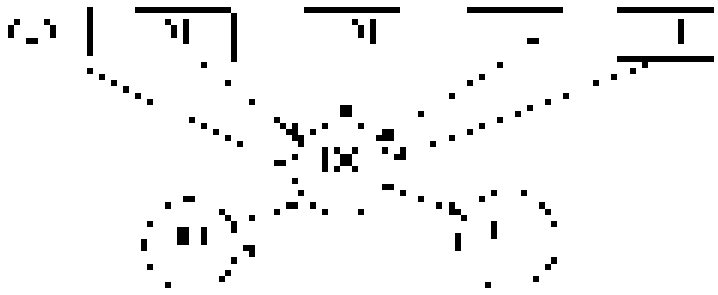


Рис. 14.11. Диаграмма состояний трехканального распределителя на кольцевом регистре

Таблица истинности для рассматриваемого случая показана в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Таблица истинности регистра-кольцевого счётчика

Диаграмма состояний и таблица истинности показывают, что при случайном попадании сдвигового регистра в одно из состояний, показанных в прямоугольниках (рис. 14.11), система управления вернет регистр в состояние 100, с которого начнется очередной цикл сдвига.

Реализация схемы наиболее простой получается при использовании триггеров типа D. Функция возбуждения (переключения) для них: $D_n = Q_{nt}$.

Анализ таблицы с помощью карт Карно дает:

$D_1 = Q_2Q_1 + Q_2Q_1 + Q_3$; $D_2 = Q_1Q_2Q_3$; $D_3 = Q_1Q_2Q_3$.

Полученные логические соотношения позволяют синтезировать структурную схему распределителя импульсов на кольцевом регистре (рис. 14.12).

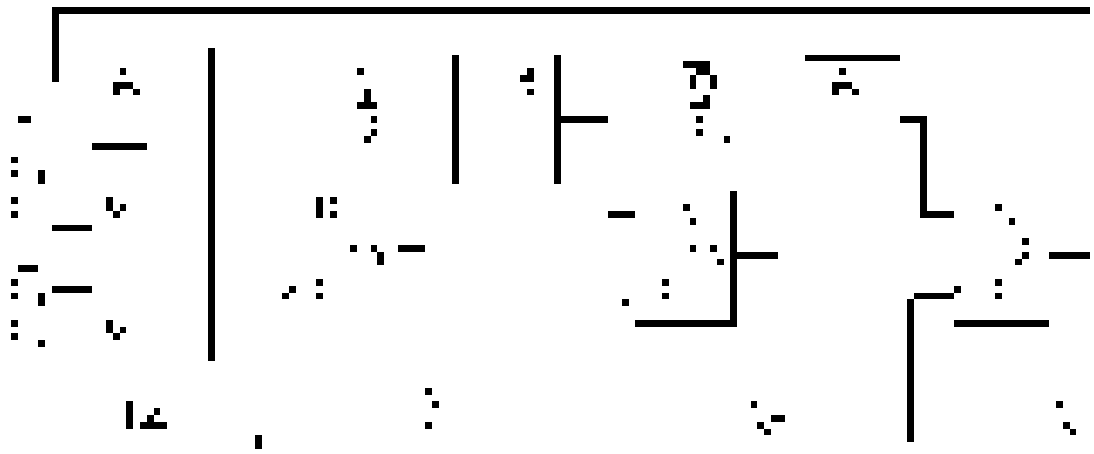


Рис. 14.12. Структурная схема трехканального распределителя импульсов (инверсные выходы и входы сброса триггеров не показаны)

Методика синтеза кольцевых регистров сдвига – распределителей импульсов для большего количества каналов не отличается от рассмотренной выше.

Сдвиговый регистр-счетчик Джонсона. Кольцевой регистр с перекрестной обратной связью, замкнутой на первый триггер от инверсного выхода последнего триггера, известен как счетчик Джонсона [5]. Достоинство счетчика Джонсона в простоте структуры, обеспечивающей к тому же и простоту схем преобразования его выходного кода в код «1 из N» для получения выходов распределителя импульсов. Структурная схема счетчика и временные диаграммы его работы показаны на рис. 14.13.

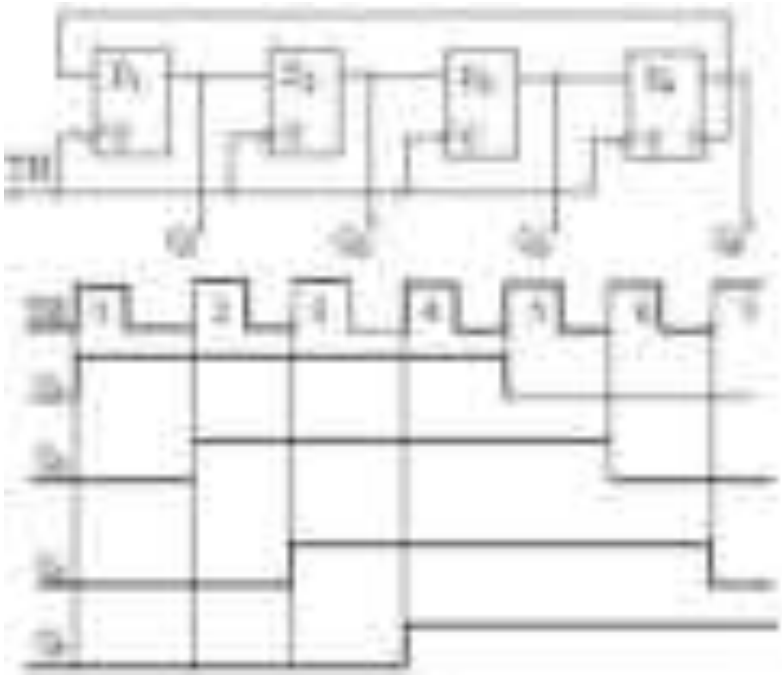


Рис. 14.13. Структурная схема четырехразрядного счетчика Джонсона и временные диаграммы его работы

Одно из отличительных свойств счетчика Джонсона – он имеет $2n$ состояний, т.е. в два раза больше, чем обычный кольцевой сдвиговый регистр.

Преобразование выходного кода счетчика в код «1 из N» производится добавлением одного двухвходового элемента И либо И-НЕ на каждый выход. На основе счетчика Джонсона изготовляются интегральные схемы распределителей в сериях элементов КМОП, например ИС К561ИЕ8 [22].

Генераторы псевдослучайных последовательностей (ГПСП). ГПСП используются в устройствах тестового диагностирования цифровых устройств, при моделировании систем с учетом случайного разброса параметров их элементов и т.п. Наиболее простые реализации ГПСП представлены так называемыми генераторами М-последовательностей, которые способны формировать последовательности с периодом $2^n - 1$, где n − число разрядов сдвигового регистра [5]. Для генерации М-последовательностей необходимо организовать обратную связь с выходов первого и n-го триггеров регистра через элемент сложения по модулю 2 на вход первого триггера. Упрощенная структурная схема генератора М-последовательности с периодом $2^4 - 1 = 15$ показана на рис. 14.14.

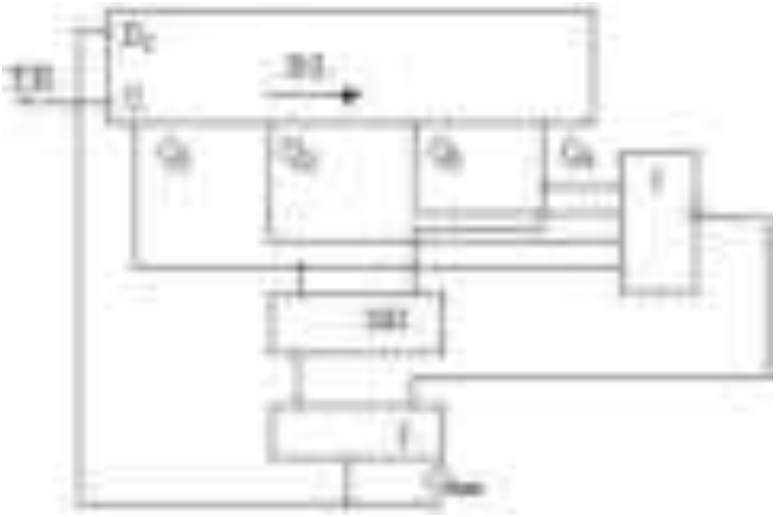
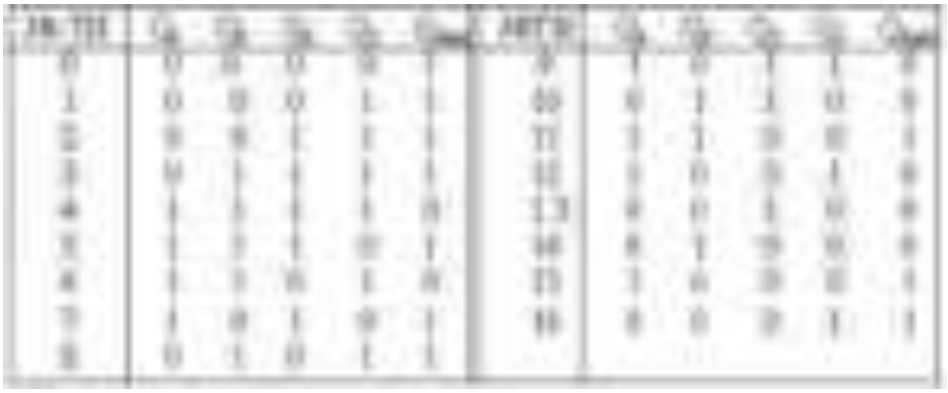


Рис. 14.14. Генератор 15-разрядной последовательности двоичных символов

Процесс генерации поясняется табл. 14.5. Образование выходной последовательности происходит после запуска генератора согласно логическому выражению $Q_{вых} = D_1 = Q_1 \otimes Q_4$. Исходное состояние обеспечивается логическими элементами 2И и 4И-НЕ после активизации схемы, т.е. после подачи питания и начального сброса триггеров регистра.

Таблица 14.5

Таблица истинности для генератора



Анализ табл. 14.5 показывает, что после вхождения в рабочий цикл, начиная с тактового импульса (ТИ № 1), повтор состояния на выходах триггеров будет наблюдаться на 16-м ТИ, следовательно генерируется последовательность 111101011001000. Эта последовательность повторяется со сдвигом на выходе каждого триггера.

Сдвиговый регистр как устройство деления полиномов. Если в схеме ГПСП ввести дополнительный вход на элемент сложения по модулю 2, то получится устройство для аппаратного выполнения операции деления полиномов по правилам арифметики по модулю 2. Такое устройство применяется для построения средств тестового диагностирования, построения и анализа циклических кодов. В частности, сдвиговый регистр, выполняющий деление полиномов, широко используется в сигнатурных анализаторах.

В этих устройствах входная двоичная последовательность подается на дополнительный вход элемента сложения по модулю 2 и трактуется как полином, который с помощью сдвигового регистра делится на другой полином, структура которого определяется схемой обратных связей, подающих сигналы выходов триггеров на входы элемента сложения по модулю 2. Этот полином часто называют порождающим. В результате деления в регистре образуется остаток от деления входной двоичной последовательности на двоичную последовательность, соответствующую структуре порождающего полинома. Этот остаток в сигнатурном анализаторе называют *сигнатурой* и применяют для диагностирования цифровых устройств.

В качестве примера рассмотрим процесс образования сигнатуры в 8-разрядном сдвиговом регистре для заданной 12-разрядной тестовой последовательности. Структурная схема устройства представлена на рис. 14.15.

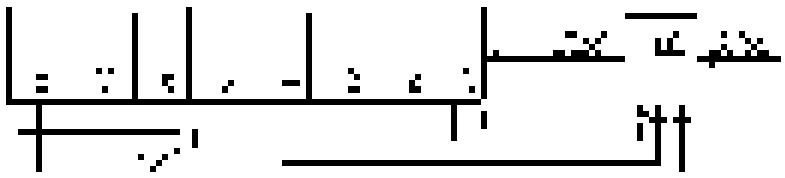


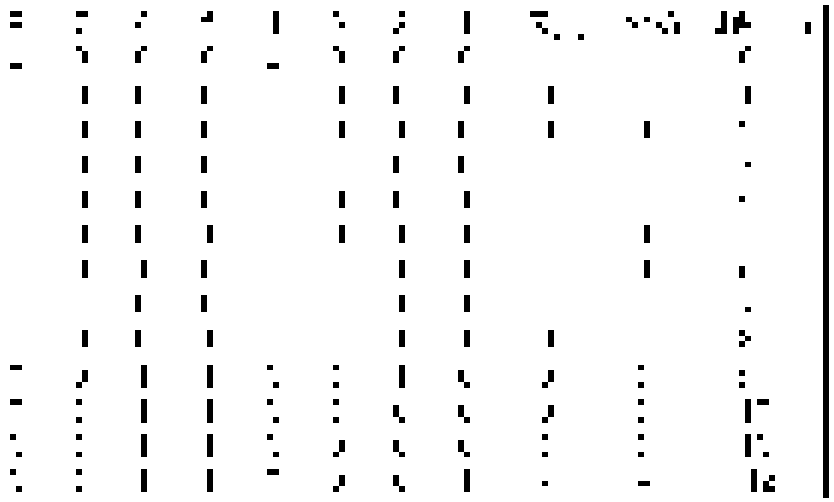
Рис. 14.15. Структурная схема делителя полиномов

В структурной схеме триггеры показаны условно, а три отвода от выходов триггеров № 1, 4, 8 образуют обратные связи и включены к входам схемы сложения по модулю 2. 12-разрядная двоичная последовательность A(x) подается на дополнительный вход схемы м2. В такой N-структуре на вход первого триггера подается комбинация $K(x) = A(x) \oplus Q_8 \oplus Q_4 \oplus Q_1$, а образующий полином в этом случае

будет g(x)= 10001001. Образование остатка от деления полиномов показано в табл. 14.6.

Таблица 14.6

Образование остатка от деления

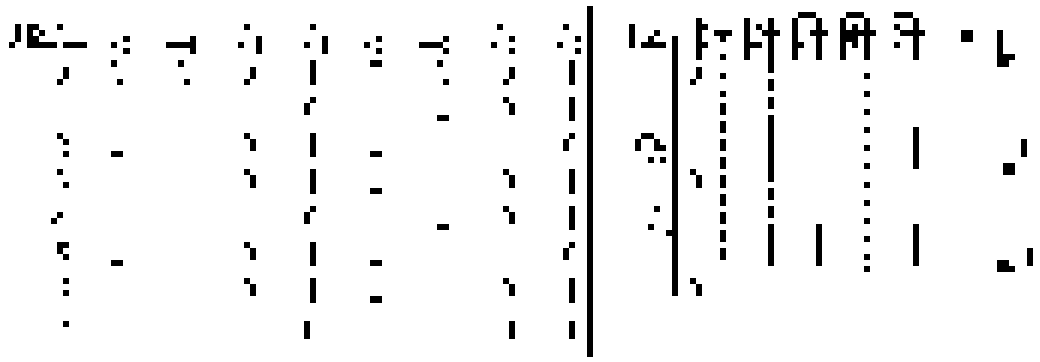


Предполагается, что регистр сдвига реализован на D-триггерах, двоичная последовательность A(x) = 110110011111. Остаток от деления − Q(x)=11110001 (последняя строка в табл. 14.6).

Делители частоты с нечетным коэффициентом деления. Известно, что цепочка из последовательно соединенных Т-триггеров обеспечивает деление частоты входных импульсов в 2^n раз, где n − число триггеров. Для построения делителей частоты с нечетным коэффициентом деления можно использовать сдвиговый регистр на JK-триггерах с внешними обратными связями [5]. Реализация структурной схемы осуществляется после синтеза таблицы состояний, отражающей переключение триггеров в процессе тактирования. Таблица строится после принятия исходного состояния выходов триггеров и управляющих сигналов на входах триггеров, соответствующих принятым состояниям (удобно принять Q_1=0……Q_n=0). Построим, например, делитель частоты входных импульсов на 3. При синтезе таблицы следует помнить, что для JK-триггеров комбинация J=1, K=1 при тактировании соответствует счетному режиму работы, комбинация J=0, K=1 – установке 0. Синтезированная таблица и соответствующие ей временные диаграммы сигналов показаны в табл. 14.7.

Таблица 14.7

Таблица состояний делителя частоты и диограммы сигналов



Анализ таблицы дает соотношения: $J_1=\overline{Q_2}$, $K_1=1$, $J_2=Q_1$, $K_2=\overline{Q_1}$. Синтезированная схема представлена на рис. 14.16.

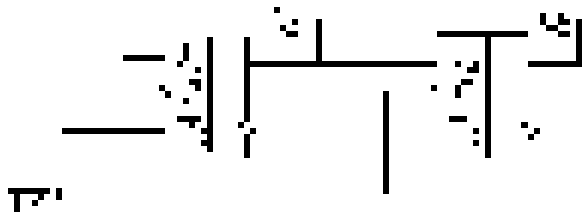


Рис. 14.16. Структурная схема делителя частоты тактовых импульсов на 3 (ТИ − вход тактового импульса)

Аналогичным способом можно синтезировать схему делителя частоты на сдвиговом регистре с любым нечетным коэффициентом деления.

Преобразователь кодов на сдвиговом регистре. Преобразователи параллельного кода в последовательный или последовательного в параллельный имеют разнотипные входы и выходы и строятся на регистрах сдвига. В качестве примера рассмотрим схему преобразователя параллельного кода в последовательный на основе 8-разрядного регистра с параллельным входом и последовательным выходом [5] (рис. 14.17).

Преобразователь работает следующим образом. В исходном состоянии DSR=1, D_0=0, C=1, St=1, на входе присутствует преобразуемое информационное слово (D_1…D_7). Загрузка в регистр информации осуществляется при подаче на вход St кратковременного (короткого) импульса низкого уровня.

Рис. 14.17. Преобразователь параллельного кода в последовательный

Образующийся на входе L короткий единичный импульс разрешает загрузку входного информационного слова в разряды (1….7), а в нулевой разряд – «0». По мере поступления тактовых импульсов на вход С загруженное слово с каждым спадом импульса сдвигается вправо (от разряда 0 к разряду 7). На выходе слово будет появляться поразрядно в последовательном виде, начиная с седьмого разряда. После первого разряда идет логический нуль, а за ним появится цепочка логических единиц, так как логическая единица постоянно присутствует на входе DSR. В момент появления логических единиц на всех входах 8-входового элемента И-НЕ на его выходе формируется сигнал низкого уровня, разрешающий со стартовым сигналом St загрузку очередного информационного слова.

14.5. Электронные счетчики

Счетчиками называют функциональные узлы, в которых выходной код отражает число импульсов, поступающих на его входы. Счетчики, как и регистры, строятся на основе триггеров, соединяемых последовательно с помощью комбинационных схем, формирующих сигналы управления триггерами. Отличительной особенностью счетчика является возможность выполнения двух операций над кодовыми словами: *инкремент* − увеличение кодового слова на единицу и (или) *декремент* – уменьшение слова на единицу. Вместе с этим счетчики могут выполнять операции над кодовыми словами, характерные для регистров: установку в исходное состояние, запись входного слова, хранение и выдачу хранимой информации.

Основным параметром счетчика является *модуль счета М* – это максимальное число кодовых комбинаций на выходе счетчика, после которого счетчик возвращается в исходное состояние. Быстродействие счетчика характеризуется временем установления выходного кода – интервалом времени между моментом подачи входного сигнала и моментом установления нового кода на выходе.

Краткая классификация счетчиков. По направлению счета счетчики делятся на *суммирующие* (прямого счета), *вычитающие* (обратного счета) и *реверсивные* (с изменением направления счета). У суммирующего счетчика его выходной код по мере поступления счетных импульсов изменяется в сторону увеличения его числового эквивалента.

По значению модуля счета счетчики подразделяют на *двоичные,* модуль счета которых равен целой степени числа 2 ($M=2^n$), и *двоично-кодированные*, у которых модуль счета не равен целой степени числа 2. Помимо двоичных различают ещё счетчики Джонсона, счетчики с кодом «1 из N» и другие.

По способу организации межразрядных связей счетчики делятся на счетчики с последовательным, параллельным и комбинированным переносом. У счетчиков с последовательным переносом переключение триггеров происходит последовательно один за другим. У счетчиков с параллельным переносом переключение триггеров разрядных схем осуществляется по сигналу синхронизации одновременно.

Счетчик, как функциональный узел, относится к классу автоматов, поэтому по принадлежности к тому или другому виду автоматов различают *синхронные* и *асинхронные* счетчики.

Двоичные счетчики. Вид структурной схемы двоичного счетчика определяется из анализа его таблицы истинности, представляющей собой последовательность двоичных чисел от нуля до М-1. Анализ показывает, что младший разряд счетчика переключается от каждого входного импульса, следующий по старшинству разряд переключается с частотой, в два раза меньшей и т.д. Известно, что простейшим делителем частоты в два раза является счетный триггер (Т-триггер). Таким образом, двоичный счетчик должен содержать цепочку соединенных между собой последовательно счетных триггеров.

Число триггеров определяется по условию $n = \log_2 M$. Например, двоичный счетчик с модулем счета М=8 будет содержать три счетных триггера, с модулем М=16 – четыре триггера и т.д. Структурная

схема двоичного счетчика с модулем М=8 и временные диаграммы его работы показаны на рис. 14.18.

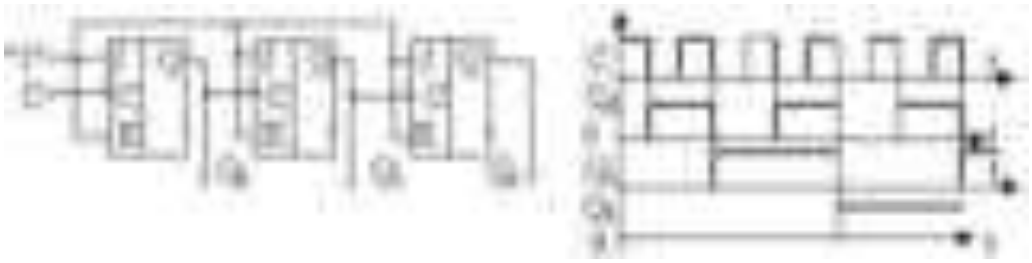


Рис. 14.18. Структурная схема суммирующего двоичного счетчика с модулем счета М=8 и временные диаграммы его работы

Отличие вычитающего счетчика (счетчика обратного счета) от суммирующего состоит в направлении переключения предыдущего разряда, вызывающего переключение последующего. У суммирующего счетчика это переключение происходит от «1» к «0», а у вычитающего – от «0» к «1».

Если схема строится на счетных триггерах с прямым динамическим управлением (срабатывание триггера по «фронту»), то характер подключения следующих триггеров к предыдущим для получения счетчика обратного счета будет таким же, как на рис. 14.18.

В структуре реверсивного счетчика для реализации его на триггерах с прямым динамическим управлением в межрегистровые связи необходимо вставить логические переключатели соединительных линий, как показано на рис. 14.19.

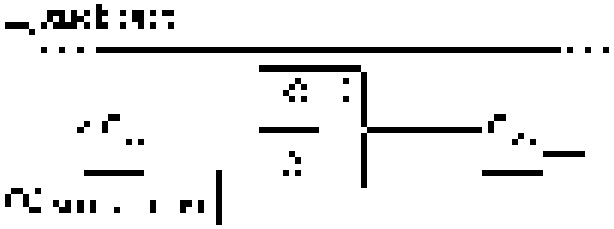


Рис. 14.19. Структурная схема межрегистровой связи в реверсивном двоичном счетчике (триггеры показаны условно)

Рассмотренные выше структуры относятся к асинхронным счетчикам, так как в них переключение триггеров происходит не одновременно, а последовательно один за другим. Время установления кода в асинхронном счетчике составит величину $t_y = n \cdot t_{mp}$, где t_{mp} – собственное время переключения триггера. Для получения максимального быстродействия используют синхронные счетчики с параллельным переносом. Время установления нового кода на выходе та-

ких счетчиков теоретически не зависит от их разрядности и приближенно равно $t_{тр}$. В структурных схемах таких счетчиков сигнал синхронизации подаётся одновременно на все разрядные триггеры, а межразрядные связи осуществляются с помощью конъюнкторов.

Счетчики такого типа имеют ещё одно название – *счетчики со сквозным переносом*. Пример схемы показан на рис. 14.20.

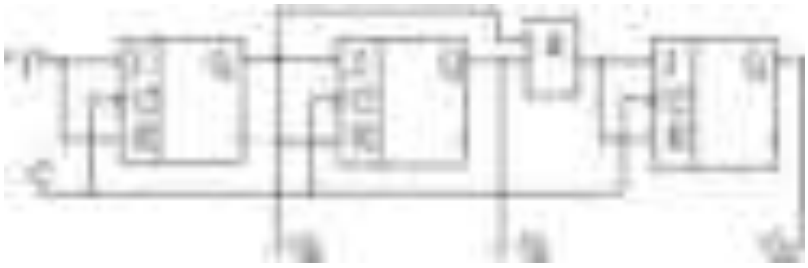


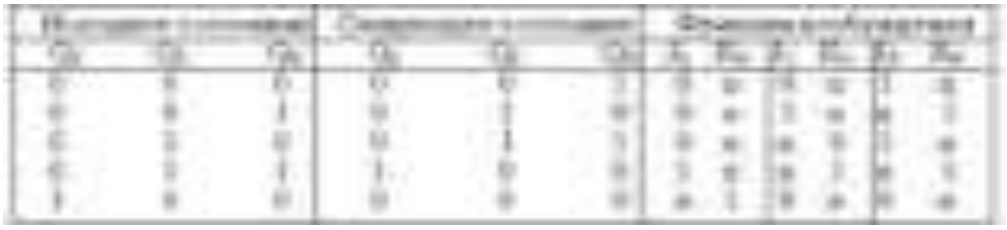
Рис. 14.20. Структурная схема синхронного (параллельного) счетчика прямого счета с модулем М=8

Двоично-кодированные счетчики с произвольным модулем. Двоично-кодированные счетчики строятся на основе двоичных, но их разрядность определяется из условия $n =]\log M[$, где $][$ − знак округления до ближайшего большего числа. В этом случае двоичный счетчик будет иметь некоторое число лишних состояний $L = 2^n - M$, которые необходимо исключить. В схемах с естественным порядком счета (с нулевым начальным состоянием счетчика) обычно исключают последние состояния. Существуют два основных способа построения счетчиков с произвольным модулем счета: *модификация межразрядных связей и управление сбросом*.

При синтезе счетчика на основе модификации межразрядных связей в таблице функционирования исключаются лишние состояния, а функции возбуждения для триггеров определяются обычным для синтеза автоматов способом. При управлении сбросом выявляется момент достижения содержимым счетчика значения (М – 1), что является сигналом сброса в следующем такте. После сброса начинается новый цикл счета. Этот вариант построения счетчиков удобен тем, что для изменения модуля счета требуется лишь изменение кода, с которым сравнивается содержимое счетчика для определения момента сброса. В качестве примера построим структурную схему счетчика с М=5 методом модификации межразрядных связей. Функционирование счётчика отражено в табл. 14.8.

Таблица 14.8

Таблица функционирования счётчика



Для синтеза схемы используем карты Карно, полагая функции возбуждения зависимыми от трёх переменных исходного состояния (рис. 14.21).

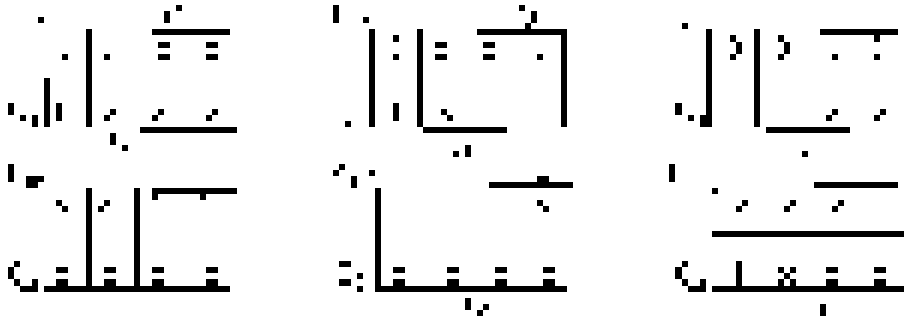


Рис. 14.21. Карты Карно для функций возбуждения триггеров счетчика

По картам получаем аналитические соотношения следующего вида:

$$J_0=\overline{Q_2};\ K_0=K_2=1;\ J_1=K_1=Q_0;\ J_2=Q_1Q_0.$$

Синтезированная согласно полученным результатам схема показана на рис. 14.22.

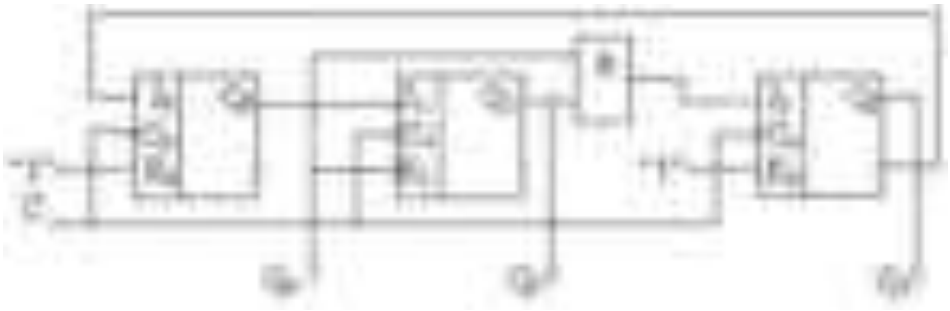


Рис. 14.22. Структура синхронного счетчика с модулем счета M=5

Синтез счетчика методом управляемого сброса. Если триггеры счетчика со сквозным переносом снабдить входами сброса и добавить дополнительный многовходовой конъюнктор, то, используя метод управляемого сброса, можно построить устройство с любым модулем

счета. Основная идея метода управляемого сброса состоит в принудительном формировании сигнала сброса в момент, когда достигается нужное значение модуля счета.

Иллюстрацией использования рассматриваемого метода может служить преобразование двоичного 4-разрядного счетчика со сквозным переносом (M=16) в двоично-десятичный счетчик (рис. 14.23) [5].

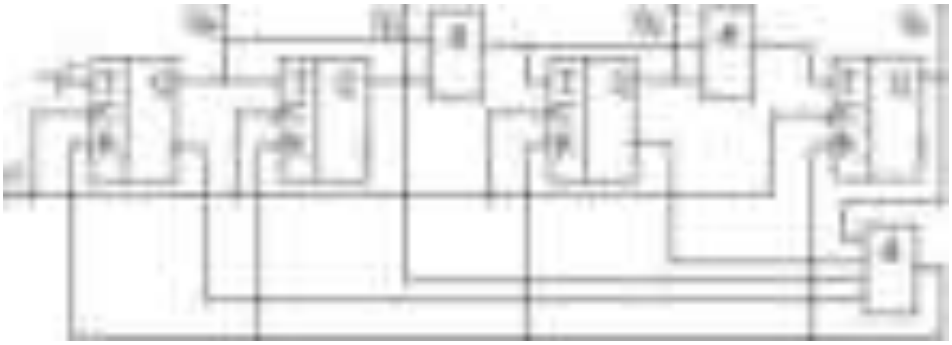


Рис. 14.23. Структурная схема 4-разрядного двоично-десятичного счетчика, синтезированного методом управляемого сброса

15. ЗАПОМИНАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Проектирование сложных цифровых устройств не обходится без применения запоминающих устройств (ЗУ), которые могут сохранять цифровую информацию.

Для кратковременного хранения используют регистры, состоящие из множества триггерных ячеек. Если необходимо длительное время хранить большие объемы информации, то необходимо использовать специально предназначенные для этого устройства, в частности микросхемы ЗУ. Это позволяет существенно упростить аппаратную часть электронных устройств.

Для целей хранения цифровой информации сейчас разработано большое число технических решений, причем эта часть электроники бурно развивается по пути увеличения объемов информации, уменьшения габаритов устройств, повышения надежности долговременного хранения (CD-диски, брелки и т.п.). В конспекте лекций будут рассмотрены только принципы построения и использования полупроводниковых ЗУ, т.е. устройств, выполненных в виде интегральных микро-схем [17].

15.1. Основные параметры и виды запоминающих устройств

К основным параметрам ЗУ относятся:

1. Емкость ЗУ. Единица измерения – 1 бит (разряд), 8-битное слово – байт. 2^{10}бит = 1024 бит = 1 Кбит; 2^{20}бит = 1048576 бит = = 1 Мбит.

2. Организация ЗУ – это число кодовых слов с указанием их разрядности (длины). M = NL, где N – число кодовых слов, L – число разрядов в коде. Например: M = 256 бит: это могут быть ЗУ с организацией 32x8, 256x1, 64x4. Структура этих ЗУ будет разная, разная цоколёвка корпуса микросхемы и разные схемы соединения с другими элементами.

3. Динамические параметры ЗУ характеризуются многими временными параметрами. Из них наиболее важными являются следующие:

а) время выборки – время от момента подачи на вход ЗУ команды на выдачу информации до момента установления данных на выходе;

б) время выборки адреса, t_A, н.с.;

в) время выбора микросхемы, t_{CS}, н.с.;

г) время цикла записи, t_{CYWR}, н.с. − время от подачи до установления сигналов на управляющих входах в режиме записи;

д) время цикла считывания (чтения) − время от подачи до установления сигналов на управляющих входах в режиме считывания t_{CYRD} , н.с.;

е) емкости: входная C_1, pF; выходная Co, pF; емкость нагрузки, C_L, pF.

Следует помнить, что прежде чем считать информацию из ЗУ, требуется найти ее местоположение, т.е. определить координаты ячеек, где эта информация находится. Аналогично при записи: прежде чем записать (запомнить) нужно указать адрес, куда эта информация должна попасть. Алгоритмы управления процессами записи и считывания можно показать на временных диаграммах изменения сигналов управления (рис. 15.1).

а *б*

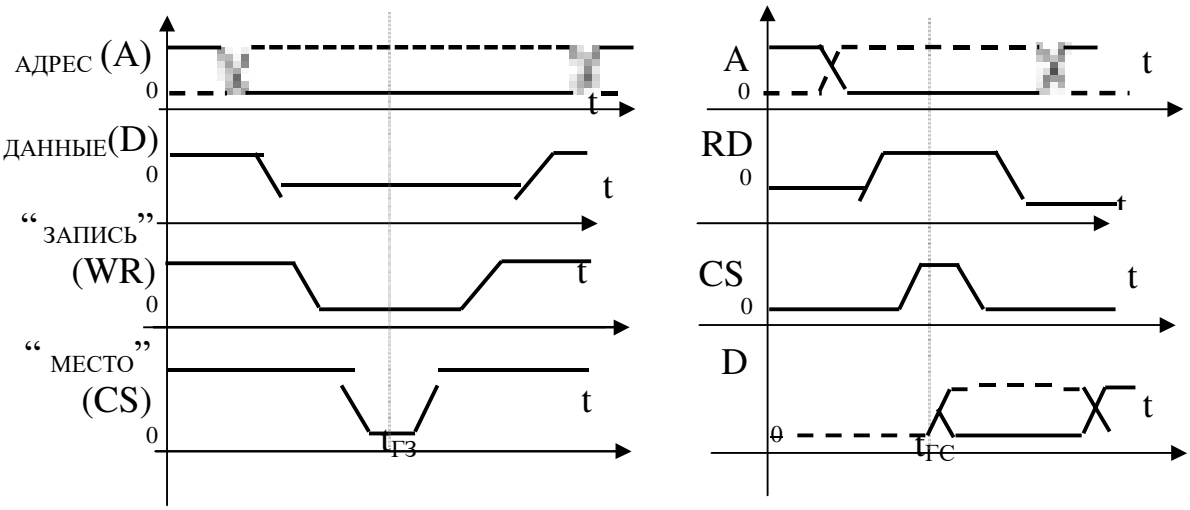


Рис. 15.1. Временные диаграммы изменения сигналов управления записью информации в ЗУ (*а*) и считыванием (*б*)

На диаграммах обозначено: A − адрес ячейки памяти; D − команда на выставление (при записи) или получение (при считывании) данных; WR − сигнал готовности к записи; RD − сигнал готовности к чтению (считыванию); CS − сигнал, определяющий микросхему, с которой нужно работать в данный момент времени; $t_{ГЗ}$ − момент готовности к записи; $t_{ГС}$ − момент готовности к считыванию. На диаграммах видно, что в ЗУ операции с данными осуществляются только в те моменты времени, когда на входах управления установлены все необходимые логические сигналы. Это необходимо для обеспечения надежной работы ЗУ. По выполняемым функциям различают: *оперативные* запоминающие устройства (ОЗУ) и *постоянные* запоминающие устройства − ПЗУ (соответствующая английская аббревиатура − RAM и ROM). Оперативные ЗУ используют для временного хранения информации, полученной в процессе работы. ОЗУ могут быть статическими и динамическими. В статических ОЗУ записанная информация хранится в виде состояния триггерных ячеек памяти и при ее считывании не разрушается. Она разрушается, когда выключается напряжение питания или ее принудительно удаляют (стирают). В динамических ОЗУ информация хранится в виде заряда конденсатора и постоянно циркулирует в массиве конденсаторов, выделенном для её хранения. Считывание из динамического ОЗУ разрушает информацию и для восстановления её нужно периодически перезаписывать (осуществлять регенерацию − «подкачку»). Широко распространенные простые запоминающие ячейки статических ОЗУ в виде триггерных схем выполняют на МОП − транзисторах либо на

биполярных транзисторах. Для обеспечения доступа к ячейкам памяти триггерные схемы снабжаются адресными и разрядными шинами (проводниками) и шинами питания. Совокупность сигналов, подаваемых извне на эти шины схемами управления, должна обеспечивать выполнение следующих режимов работы ОЗУ: «*хранение*», «*считывание*», «*запись*». Для динамических ячеек памяти к этим режимам добавляется «*регенерация*».

15.2. Статические оперативные запоминающие устройства

Упрощенные структурные схемы триггерных ячеек статических ОЗУ показаны на рис. 15.2.

В схеме (рис. 15.2, *а*) VT_1,VT_6,VT_3 и VT_5 (МОП-транзисторы с индуцированным каналом *n*-типа) работают в ключевом режиме. VT_2, VT_4 (МОП-транзисторы со встроенным каналом *n*-типа) выполняют роль резисторов в триггерной схеме, так как обладают начальной проводимостью. Работа ячейки поясняется таблицей истинности (табл. 15.1).

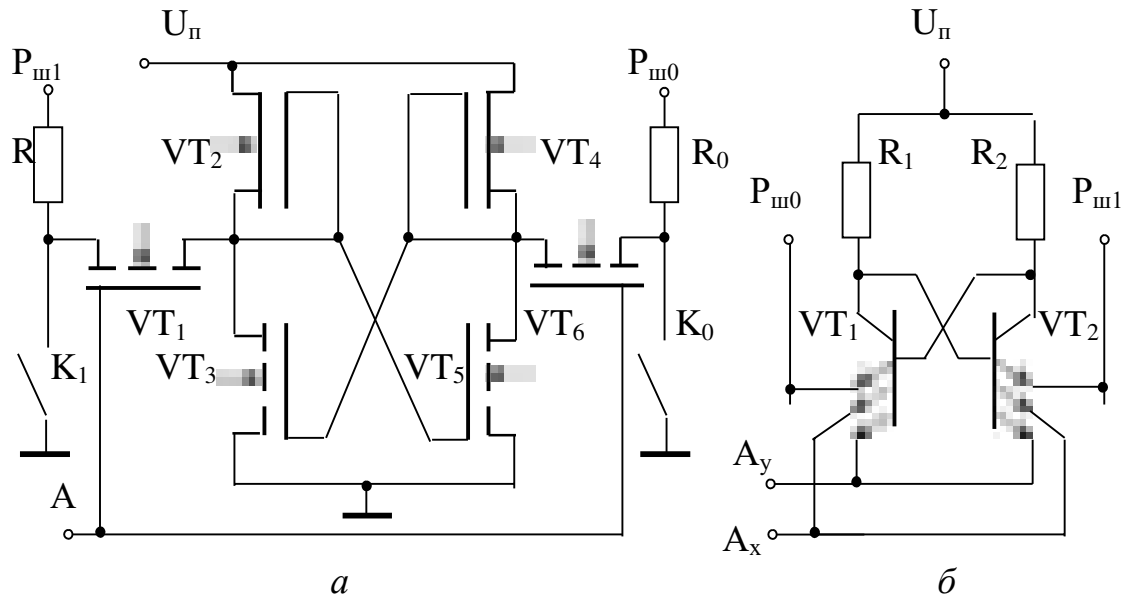


Рис. 15.2. Структурные схемы триггерных ячеек памяти на МОП-транзисторах (*а*) и на биполярных транзисторах (*б*)

Таблица 15.1

Таблица истинности ячейки

В режиме хранения: на адресной шине − «нуль» (А=0), VT_1 и VT_6 закрыты, ячейка отсоединена от $Р_{Ш1}$ и $Р_{Ш0}$. При этом на разрядных шинах потенциал равен 0, так как ключи $К_1$ и $К_0$ замкнуты. Пусть в режиме «Хранение единицы» VT_3 открыт, а VT_5 – закрыт, так как потенциал затвора VT_5 равен потенциалу стока VT_3 (это подтверждение принятого положения). В режиме считывания сначала импульсом заряжаются до уровня «1» разрядные шины $Р_{ш1}$, $Р_{ш0}$, затем подается потенциал «1» на адресную шину (А=1), транзистор VT_1 открывается и подключает $Р_{ш1}$ к точке управления триггером (к стоку транзистора VT_3) при этом открытый транзистор VT_3 подключается к разрядной шине $Р_{ш1}$. Заряд, присутствовавший на $Р_{ш1}$, создает импульс тока в цепи разрядная шина − общая шина через открытые транзисторы VT_1, VT_3. Протекание импульса тока является признаком считывания «1» для усилителя считывания, подключенного к разрядным шинам (на схеме не показан).

Режим записи: например, при записи «0» на $Р_{ш0}$ устанавливается «0», на $Р_{ш1}$ – «1», т.е. ключ К1 размыкается, ключ К0 – замыкается. Затем подается «1» на шину А, VT_1 и VT_6 открываются и подключают соответствующие электроды (сток VT_6 и затвор VT_3) к потенциалу «0». VT_3 закрывается, напряжение на его стоке увеличивается – открывается VT_5, при этом закрывается и VT_1 (на его электродах напряжения сравниваются). Ячейка приняла положение записанного «0». Смена потенциала «1» адресной шины на нулевой потенциал (установка «0») переводит ячейку в режим «Хранение нуля», так как транзисторы VT_1, VT_6 отключают ячейку от $Р_{ш0}$ и $Р_{ш1}$.

Запоминающий (статический) элемент ОЗУ на биполярных транзисторах (рис. 15.2, *б*) также представляет собой триггерную ячейку,

собранную на двух многоэмиттерных транзисторах с перекрестными базовыми связями. Различные сочетания управляющих сигналов, подаваемых на шины A_x, A_y, $P_{ш1}$, $P_{ш0}$, позволяют устанавливать режимы записи, хранения и считывания.

15.3. Динамические ОЗУ

В динамических ОЗУ используют ячейки памяти, в которых уровень «1» или «0» отождествляется с наличием или отсутствием заряда конденсатора, образованного структурой транзисторов при обратных смещениях. Так как заряд не может долго храниться, следует периодически производить регенерацию зарядов, что осуществляется специально организованным управлением. По этой причине для таких ОЗУ нужно иметь режимы: хранение, считывание, запись и регенерация. Основное достоинство динамических ОЗУ – более высокая информационная емкость (почти в четыре раза). Недостаток – усложнение управления из-за необходимости регенерации.

Простейший запоминающий элемент динамического ОЗУ может быть построен на одном МОП-транзисторе (рис. 15.3, *а*). Используется заряд-разряд конденсатора ёмкостью ≤ 0,1pF. Величина приращения напряжения оказывается очень малой: 0,2 – 0,25 В. Поэтому это напряжение должно быть хорошо усилено – это влечет усложнение усилителей считывания. При считывании происходит разрушение информации, поэтому ее надо восстанавливать.

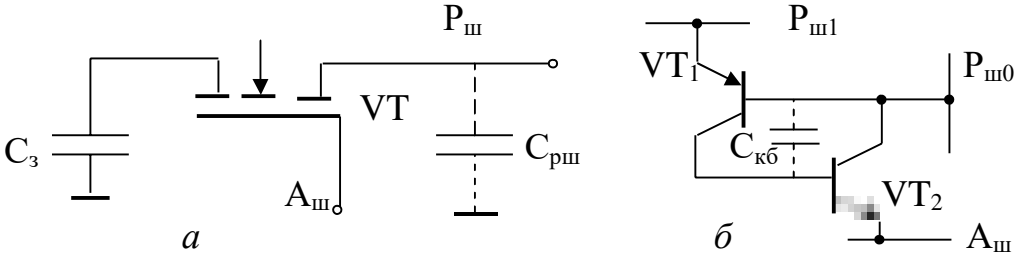


Рис. 15.3. Простейшие ячейки памяти динамических ОЗУ:
а – на МДП- транзисторе; *б* – на биполярном составном транзисторе

В схеме рис. 15.3, *а* запоминание «1» или «0» – это наличие или отсутствие заряда на конденсаторе $C_з$. В режиме записи сигнал, поданный на адресную шину $A_ш$, разрешает доступ к $C_з$ (транзистор открыт), заряд с разрядной шины $P_ш$ переходит на $C_з$ (больший заряд считается «1», меньший – «0»). В режиме считывания заряд с $C_з$ переходит на емкость $C_{рш}$ (которая является паразитной ёмкостью раз-

рядной шины), причем $C_{рш} >> C_з$ и равна нескольким pF. Такое построение позволяет получить ОЗУ, обладающее большой информационной емкостью (несколько Мбит), но невысокой надежностью.

Для построения динамических ОЗУ на биполярных транзисторах используется специальная технология, при которой на кристалле формируется запоминающий элемент в виде емкости коллектор – база сдвоенного транзистора (рис. 15.3, *б*). Величина ёмкости $C_{кб}$ − около 1pF. В период хранения «конденсатор» хранит поданный на него заряд, а в режиме считывания − отдаёт его на разрядную шину.

15.4. Энергонезависимые оперативные запоминающие устройства

Основной недостаток ОЗУ − разрушение информации при снятии напряжения питания. Очевидный (и самый неэффективный) способ преодоления этого недостатка − сочетание ОЗУ и встроенной литиевой батарейки в одном корпусе микросхемы. Оригинальнее выглядит использование «запоминающих конденсаторов», которые способны сохранять электрическую поляризацию после снятия приложенного электрического напряжения (сегнето − электрический эффект). При смене направления вектора напряженности поля в таких конденсаторах меняется направление электрической поляризации кристаллического вещества. Конденсатор при этом имеет два устойчивых состояния и два различных пороговых напряжения перехода из одного состояния в другое и наоборот. Такими свойствами обладают, например, пленки цирконата – титана – свинца (PZT-керамика, ε = 1200). Недостаток – ограниченное число циклов перезарядки, (приблизительно 10^{10}циклов). Ячейку памяти с таким конденсатором можно представить так, как показано на рис. 15.4.

Рис. 15.4. Структурная схема ячейки памяти
на основе «запоминающего» конденсатора:
$Ш_в$ − шина импульсного возбуждения, *$А_ш$* – адресная шина,

$P_ш$ – разрядная шина

Можно так построить схемы управления, что при снятии питания конденсатор будет поляризоваться таким образом, чтобы его состояние соответствовало состоянию запоминающей ячейки до отключения питания. Время поляризации примерно 10 – 20 н.с., что значительно меньше времени разрушения информации в триггере.

Более перспективными являются ЗУ, сочетающие в себе свойства быстродействия, компактности, технологичности, простоты управления при обеспечении энергонезависимости, т.е. неразрушения информации в условиях исчезновения напряжения питания. К таким ЗУ относятся, в частности, ОЗУ, называемые в международной терминологии FRAM, MRAM, PFRAM [20].

FRAM – это ЗУ ферроэлектрического типа, PFRAM – разновидность ЗУ ферроэлектрического типа, в которых используются полимерные ферроэлектрические материалы (тонкие плёнки), обладающие свойством образования диполей в своей структуре. Участки с ориентированными диполями служат запоминающими элементами и в зависимости от направления поляризации хранят биты информации. Следует заметить, что ЗУ типа PFRAM для построения ОЗУ считаются менее перспективными вследствие их относительно небольшого быстродействия [20].

MRAM − это магниторезистивные ЗУ. В них запоминающим элементом является участок магнитного материала, способный сохранять приданное ему состояние намагниченности независимо от наличия или отсутствия питания схемы.

15.5. Основные структуры оперативных запоминающих устройств

Микросхемы ОЗУ могут иметь одноразрядную и многоразрядную (словарную) организацию. В структуре одноразрядной организации данные записываются и считываются по одному биту последовательным кодом, что позволяет уменьшить до минимума число вводов и выводов данных.

Структура микросхемы статического ОЗУ с одноразрядной организацией имеет вид, показанный на рис. 15.5.

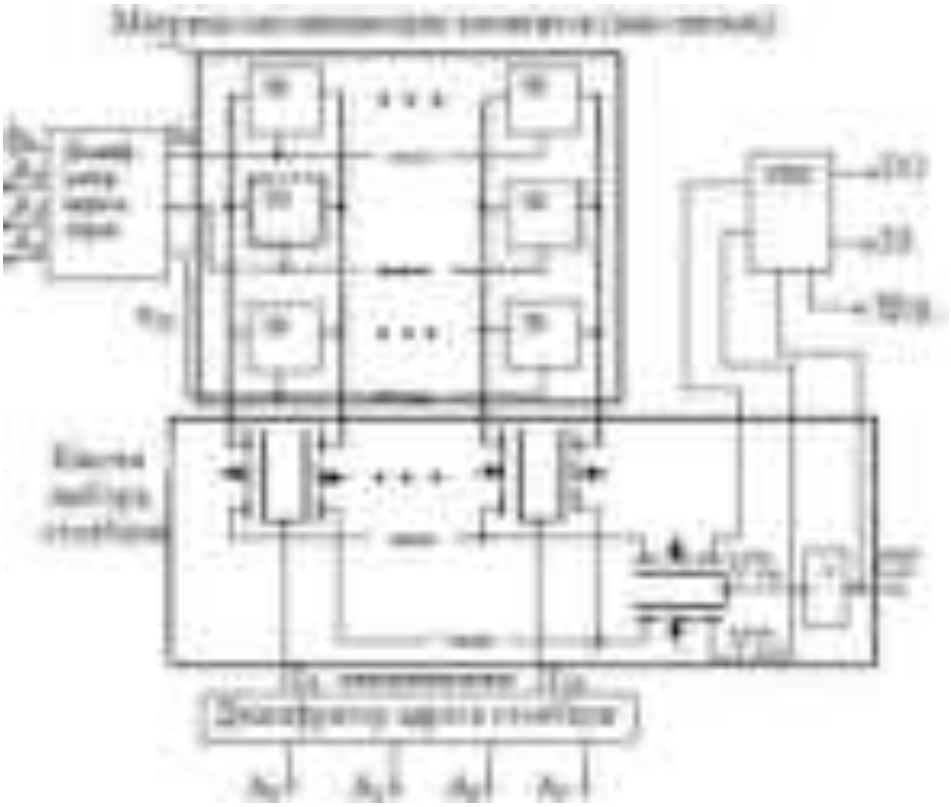


Рис. 15.5. Структурная схема одноразрядного статического ОЗУ

На рис. 15.5 обозначено: (A_0 − A_3) − адресные входы строк накопительной матрицы; (A_4 − A_7) − адресные входы столбцов матрицы; DO − выход данных при чтении (считывании); DI − вход данных при записи; W/R – вход сигнала «Запись»/ «Чтение»; CS – выбор микросхемы; УВВ – устройство ввода-вывода.

Запоминающий элемент (ЗЭ) представляет собой, например, триггерную схему, изображенную на рис. 15.2, *а*, причем в рассматриваемой схеме ключи выбора столбцов исполняют роль коммутаторов разрядных шин, изображенных на рисунке справа и слева возле каждого ЗЭ.

Транзисторы ЗЭ, затворами соединенные с адресной шиной элемента, подключены к шинам возбуждения строк, которые являются выходами дешифратора строк. При возбуждении строки сигналом выборки x_0-x_{15}, снимаемым с выхода дешифратора адреса строк, ключевые транзисторы открываются и подключают входы-выходы триггера к разрядным шинам. При отсутствии сигнала выборки строк (x = 0) ключевые транзисторы закрыты и триггер изолирован от разрядных шин. Для сохранения информации требуется источник питания, т.е. ОЗУ – энергозависимое.

Особенность МОП (КМДП)-триггеров заключается в том, что в режиме хранения они потребляют незначительную мощность от источника питания. В режиме обращения, когда переключаются элементы матрицы, дешифраторы и другие функциональные узлы микросхемы, уровень энергопотребления возрастает на два – три порядка.

Доступ к разрядным шинам столбца со стороны УВВ обеспечивается сигналом CS = 1, открывающим ключи VT0, VT1. Настройку УВВ на прием сигнала для записи со входа DI осуществляет сигнал $\overline{W}/R = 1$.

В большинстве микросхем памяти УВВ содержит выходной ключевой усилитель – формирователь, способный принимать три состояния на выходе: «0», «1» и третье состояние (высокоомное), имеющее обозначение «Z».

По способу управления различают асинхронные и синхронизируемые (тактируемые) ОЗУ. У асинхронных статических ОЗУ сигналы управления могут быть поданы в виде уровней напряжений, соответственно 0 и 1, у тактируемых – в форме импульса.

Структура микросхемы статического ОЗУ со словарной организацией представлена на рис. 15.6.

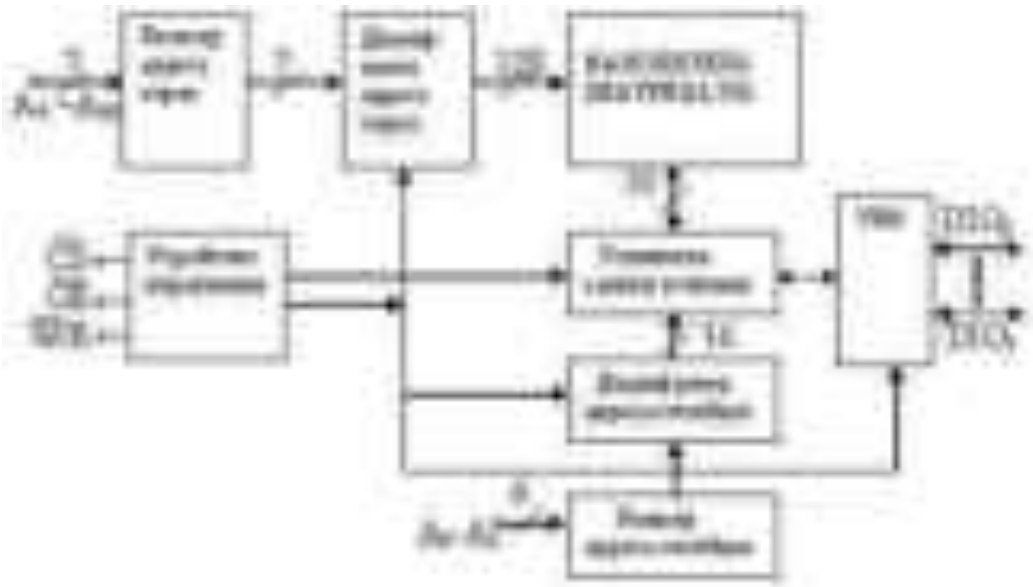


Рис. 15.6. *Структурная схема статического*

ОЗУ со словарной организацией

Сигнал разрешения выхода $\overline{OE}$ позволяет в режиме хранения запрещать вывод информации: при OE = 1 входы-выходы DIO_0 – DIO_7 принимают третье состояние, информация на выходе отсутствует. В представленной схеме запись и чтение информации производится восьмиразрядными кодовыми словами, что повышает быстродействие устройства. По количеству адресуемых слов и их разрядности можно определить, что ёмкость рассматриваемого ЗУ составляет 2048 байт (2 КБ) или 16 Кбит.

Выбор определенного типа ЗУ при проектировании основывается на оценке их классификационных и статических параметров, перечисленных ниже.

Классификационные параметры:

– информационная емкость – число бит;

– число разрядов адреса – число слов адреса;

– число разрядов слова в ЗУ;

– $К_р$ – коэффициент разветвления по выходу (нагрузочная способность);

– число циклов перепрограммирования;

– $Р_{потр.}$ – мощность потребления в рабочем режиме;

– $Р_{нагр.}$ – мощность потребления в режиме хранения;

– время хранения информации (быстродействие).

Статические параметры:

– U_{cc} – напряжение источника питания;

– I_{cc} – ток потребления;

– U_{ccs} – напряжение питания в режиме хранения;

– I_{ccs} – ток питания в режиме хранения;

– U_1 – уровень логической 1;

– U_0 – уровень логического нуля.

15.6. Постоянные запоминающие устройства

Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) предназначены для хранения информации, остающейся неизменной в течение длительного времени или всего времени эксплуатации устройства. Такая

информация обычно представляет собой либо кодовые преобразования, либо последовательности кодов управления согласно заданному алгоритму, либо константы, которые требуются для определенных вычислений.

В зависимости от технологии записи информации различают три подкласса ПЗУ: *масочные* ПЗУ, *программируемые* (прожигаемые) ПЗУ, *репрограммируемые* ПЗУ. ПЗУ обозначают на схемах аббревиатурой ROM.

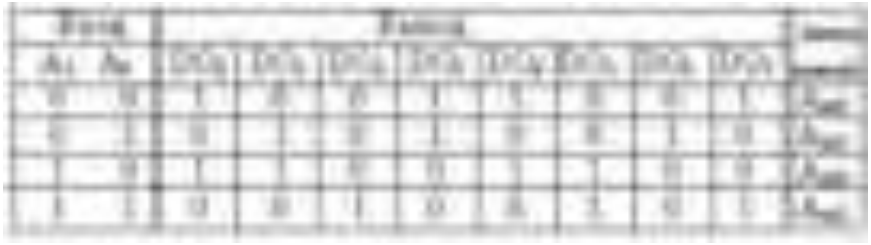
В масочные ПЗУ, или ROM(M), информация записывается в процессе изготовления микросхем с помощью шаблона (маски). Прожигаемые ПЗУ – это однократно программируемые ПЗУ (программирование может делать пользователь). Репрограммируемые ПЗУ − ПЗУ, способные к многократному перепрограммированию.

В масочных ПЗУ используется простой принцип программирования: заготовка микросхемы (кристалл) формируется со всеми соединениями между элементами, а затем ненужные соединения ликвидируются. Элементом связи могут быть диоды, транзисторы, металлические перемычки и т.п. Фрагмент структуры диодного ROM(M) показан на рис. 15.7.

Принцип представления информации в таких ЗУ состоит в том, что информация представляется в виде наличия или отсутствия соединения между шинами адреса и шинами данных. Используя указанный принцип, разработаем структуру диодного ПЗУ, реализующего произвольную таблицу истинности, представленную в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Таблица истинности ПЗУ



Анализ табл. 15.2 показывает, что ЗУ должно содержать 32 бита двоичной информации и иметь восьмиразрядный выход, при этом выходное слово должно появляться на выходе при обращении к ЗУ с помощью двухразрядного слова. На основании анализа строим структурную схему на базе координатной сетки, содержащей восемь

столбцов и четыре строки. Используем дешифратор 2 − 4 для создания адресных шин координатной сетки (рис. 15.7).

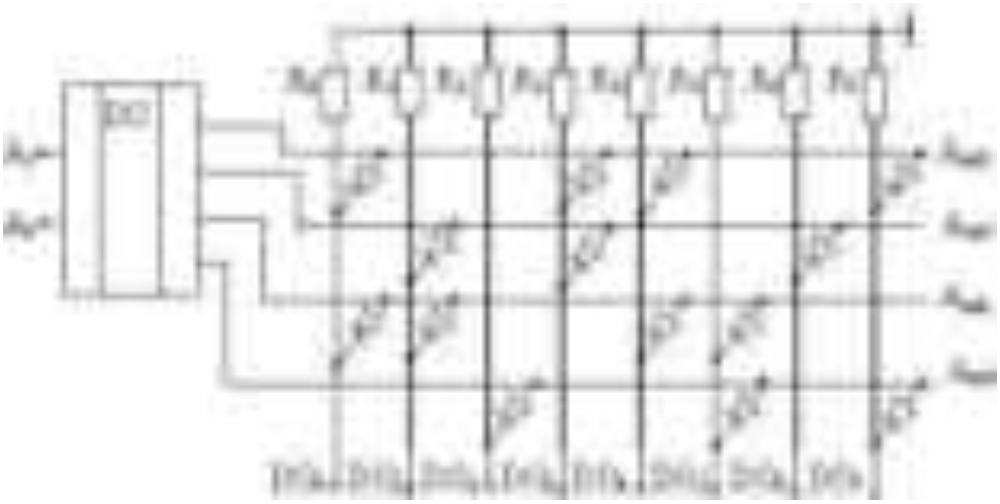


Рис. 15.7. Структурная схема масочного диодного ПЗУ

Масочные ПЗУ применяются для хранения информации, имеющей широкий круг потребителей. В частности, масочные ЗУ используют в качестве знакогенераторов кодов для букв различных алфавитов, как таблицы типовых функций и т.п.

Другим видом однократно программируемого ЗУ являются ЗУ типа PROM. Микросхемы PROM программируются удалением или созданием специальных перемычек. Принцип программирования похож на таковой для масочных ЗУ. В структурах с плавкими перемычками при программировании лишние перемычки удаляются путем расплавления импульсом тока. Плавкие перемычки (металлические или поликристаллические) включаются в цепи диодов или транзисторов.

В исходном состоянии запоминающий элемент хранит логическую единицу. После разрушения перемычки запоминающий элемент будет хранить логический нуль.

Схемы с создаваемыми перемычками в качестве исходных имеют непроводящие соединители в виде двух встречно включенных диодов либо тонкого диэлектрического слоя. При программировании импульсом повышенного напряжения в первом случае пробивается один из диодов, а во втором − диэлектрический слой, после чего в месте пробоя возникает проводящая перемычка. Принцип программирования в ЗУ типа PROM можно пояснить рис. 15.8.

Рис. 15.8. Состояние соединений до и после программирования в структурах с удаляемыми и создаваемыми перемычками

ПЗУ типа ROM(M) и PROM после программирования становятся для потребителя постоянными в буквальном смысле, так как изменить их содержание нельзя. Более широкие возможности предоставляют ПЗУ, содержимое которых может изменять сам пользователь с помощью специального оборудования (программаторов). Различают несколько типов таких ПЗУ: EPROM, EEPROM, FLASH, в которых содержимое может быть изменено путем стирания старой информации и записи новой.

В ЗУ типа EPROM стирание выполняется ультрафиолетовым облучением кристалла в специальных устройствах, поэтому на русском языке такие ПЗУ носят название РПЗУ-УФ. В ЗУ типа EEPROM стирание производится электрическим сигналом, поэтому русское название таких микросхем – РПЗУ-ЭС (репрограммируемое ПЗУ с электрическим стиранием), либо ЭСППЗУ (электрически стираемое программируемое ПЗУ). Запись в EPROM и EEPROM производится электрическим сигналом. Следует заметить, что микросхемы EEPROM позволяют осуществить их программирование, не изымая микросхему из устройства, в котором они используются.

Флэш-память (ЗУ типа FLASH) по основным принципам работы подобна рассмотренным выше ЗУ. Запоминающие элементы памяти FLASH подобны применяемым в EPROM и EEPROM, но ЗУ типа FLASH имеют структурные и технологические особенности, существенно улучшающие общие свойства репрограммируемых ЗУ [20].

В РПЗУ носителем информации (запоминающим элементом) является МОП-транзистор, поэтому используются два вида запоминающих элементов на:

− МОП-транзисторах с плавающим затвором (в РПЗУ-УФ);

− МНОП (МНДП)-транзисторах (в РПЗУ-ЭС).

За счет этого обеспечивается возможность неоднократной записи и считывания информации. РПЗУ способны к многократному (от 25 до 10000 раз) перепрограммированию без потери работоспособности.

Это достигается применением «управляемых перемычек», функции которых выполняют МНОП-транзисторы и транзисторы *n*-МОП с плавающим затвором с использованием механизма лавинной инжекции заряда (ЛИЗМОП).

Виды структур элементов памяти РПЗУ – структуры транзисторов типа МНОП (МНДП) и ЛИЗМОП представлены на рис. 15.9.

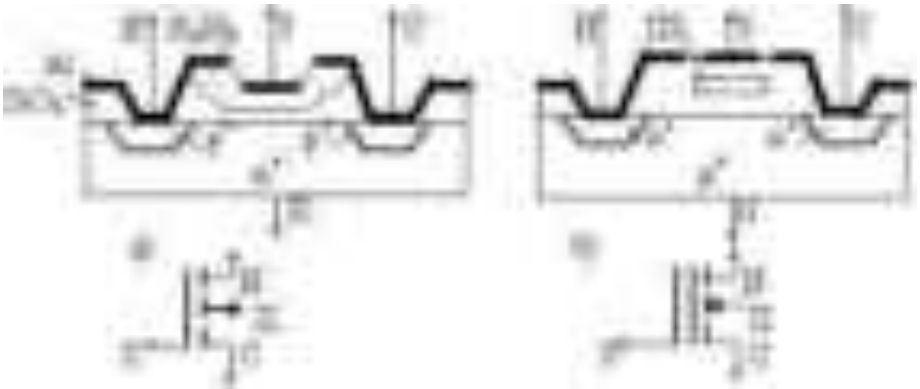


Рис. 15.9. Структура и условные обозначения полевых транзисторов:
а – типа МНОП, *б* – с двумя затворами (плавающим и управляющим)

В рассматриваемых структурах процесс программирования – это занесение заряда под затвор. Для этого, например, в транзисторах типа *p*-МОП между затвором и подложкой дается импульс напряжения отрицательной полярности с амплитудой 30 – 40 В. При этом под действием сильного электрического поля электроны преодолевают тонкий слой SiO_2 и скапливаются у границы слоя Si_3N_4. Накопленный заряд снижает пороговое напряжение открытия транзистора, снижая сопротивление канала между истоком и стоком. Наличие заряда под затвором соответствует состоянию логической «1». Логическому «0» соответствует состояние транзистора без заряда в диэлектрике под затвором. Для того, чтобы этого достигнуть подают на затвор импульс положительной полярности с амплитудой (30 – 40) В. Электроны при этом вытесняются в подложку. Передаточная характеристика смещается в область высоких пороговых напряжений. Таким образом, вытеснение заряда из подзатворного диэлектрика – это *режим стирания*.

Режимы программирования и стирания можно осуществить с помощью напряжения одной полярности (отрицательной для *p*-МНОП, положительной для *n*-МНОП). В этом случае используется явление лавинной инжекции электронов под затвор, которая происходит, если (для *p*-МНОП) к истоку и стоку приложить импульс отрицатель-

ного напряжения (30 – 40) В, а затвор и подложку соединить с корпусом. В результате электрического пробоя переходов исток-подложка и сток-подложка происходит лавинное размножение электронов и инжекция некоторых из них, обладающих достаточной энергией, на границу между слоями диэлектрика. В результате происходит «запись единицы», т.е. снижение порогового напряжения открытия транзистора. Для стирания достаточно подать импульс отрицательного напряжения на затвор. При этом электроны вытесняются в подложку, что вызывает увеличение модуля порогового напряжения открытия транзистора (возникает состояние логического «0»).

В *режиме считывания* на затвор подают напряжение, значение которого лежит между двумя пороговыми уровнями. Если в запоминающий элемент была записана логическая «1», транзистор откроется, если логический «0» − нет.

Вариант элемента памяти (ЭП) по структуре ЛИЗМОП с двойным затвором (рис. 15.9, *б*) представляет собой *n*-МОП-транзистор, у которого в подзатворной области диэлектрика SiO_2 сформирована область из металла или поликристаллического кремния − «плавающий» затвор (ПЗ).

В режиме *программирование* на управляющий затвор, исток и сток подают напряжение (21 – 25) В положительной полярности. В обратно смещенных *p–n*-переходах возникает процесс лавинного размножения носителей заряда и часть электронов инжектируется в ПЗ. В результате накопления на ПЗ отрицательного заряда передаточная характеристика транзистора смещается в область высокого порогового напряжения (пороговое напряжение открытия транзистора увеличивается), что соответствует записи логического «0».

В режиме *стирание* происходит вытеснение заряда из области ПЗ: в РПЗУ-ЭС – электрическим сигналом, в РПЗУ-УФ – с помощью облучения ультрафиолетовыми лучами. В первом случае импульсом положительного напряжения, подаваемым на управляющий затвор, снимают заряд электронов с ПЗ, восстанавливая низкий уровень порогового напряжения, что соответствует состоянию логической «1». В структурах РПЗУ-УФ при облучении электроны рассасываются с ПЗ в подложку вследствие усиления теплового движения за счет энергии, полученной от источника УФ излучения. Режим с*читывание* осуществляется также, как в ЭП на МНОП-структурах.

Режим *хранение* обеспечивается отсутствием напряжений на электродах ЭП с тем, чтобы исключить рассасывание заряда, имею-

щегося в диэлектрической среде. Время сохранения заряда для некоторых схем составляет от нескольких тысяч часов до нескольких лет. Например, микросхема РПЗУ-УФ типа К573РФ6 имеет гарантийный срок хранения информации без питания пять лет.

15.7. Структурная схема РПЗУ-ЭС (EPROM)

В РПЗУ-ЭС обеспечиваются четыре режима работы: *хранение*, *считывание, стирание, запись (программирование*). Для выполнения этих режимов РПЗУ содержит все элементы, необходимые для работы микросхемы в качестве ПЗУ: матрицу элементов памяти (ЭП), дешифраторы кода адреса строк и столбцов, устройство ввода-вывода (УВВ), устройство управления. Кроме этих узлов в схеме имеются функциональные узлы, обеспечивающие работу схемы в режимах стирания и программирования (записи): селектор (блок ключей выбора столбцов), коммутаторы режимов и формирователи импульсов напряжения требуемой амплитуды и длительности из напряжения программирования U_{PR} (рис. 15.10). Сигналы управления имеют следующее назначение:

– PR – разрешение режима записи (программирования);
– RD – разрешение чтения (считывания);
– ER – разрешение стирания;
– CS – выбор микросхемы.

Селектор выбирает из 128-разрядного кода на своем входе восемь разрядов, выдаваемых на выход через УВВ. Селектором управляют четыре младшие разряда адресного кода, которые после дешифрации обеспечивают выборку одного восьмиразрядного слова из 16 слов, содержащихся в выбранной строке.

Многие микросхемы группы ЭС допускают адресное стирание (избирательное построчное стирание по адресу).

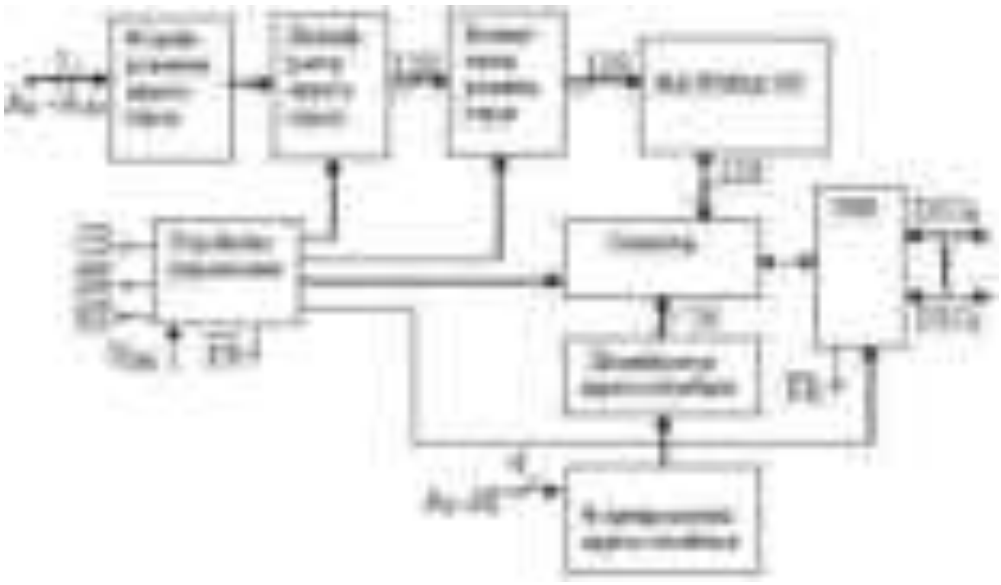


Рис. 15.10. Структурная схема репрограммируемого ПЗУ
с электрической записью и стиранием (EEPROM) (микросхема КР1601РР3)

При эксплуатации микросхем РПЗУ необходимо обеспечить требуемый порядок включения и выключения напряжений питания и программирования. Например, для микросхемы КР1601РР3 в режиме программирования при включении вначале подают + 5 В, затем – 12 В и последним – напряжение программирования. При выключении последовательность меняется на противоположную.

15.8. Постоянные запоминающие устройства РПЗУ-УФ

РПЗУ-УФ имеют устройство и режимы работы похожие на рассмотренные выше, однако процесс стирания существенно отличается.

Для стирания микросхему нужно извлечь из контактного устройства, замкнуть все выводы полоской фольги и поместить под источник излучения, обеспечив охлаждение корпуса. Источники ультрафиолетового излучения − ртутные лампы и лампы с парами ртути в кварцевых баллонах: РДТ-220, ДРТ-375, ДБ-8, ДБ-60 и др. Время стирания 30 – 60 минут. Расстояние от корпуса до баллона лампы должно быть 2,5 см. Необходимо обеспечить чистоту стекла корпуса микросхемы, иначе стирание может быть неполным. Режимы работы обеспечивают сигналами управления подобными рассмотренным, однако у некоторых микросхем есть режим контроля записи, который

реализуется вслед за программированием. Группа м/схем РПЗУ-УФ в отечественной комплектации была представлена серией К573РФ [17]. Наиболее сложную структуру имеет микросхема К573РФ3 с организацией (4к ·16). Она имеет встроенные интерфейсные средства для обеспечения режима обмена со стандартной магистралью. Кроме того, у нее есть встроенное программируемое адресное устройство, которое позволяет без дополнительных средств объединять до восьми микросхем в блок ПЗУ.

15.9. Условные обозначения микросхем и сигналов управления запоминающими устройствами (примеры УГО ЗУ)

1. Микросхемы оперативных запоминающих устройств (ОЗУ) представлены на рис. 15.11.

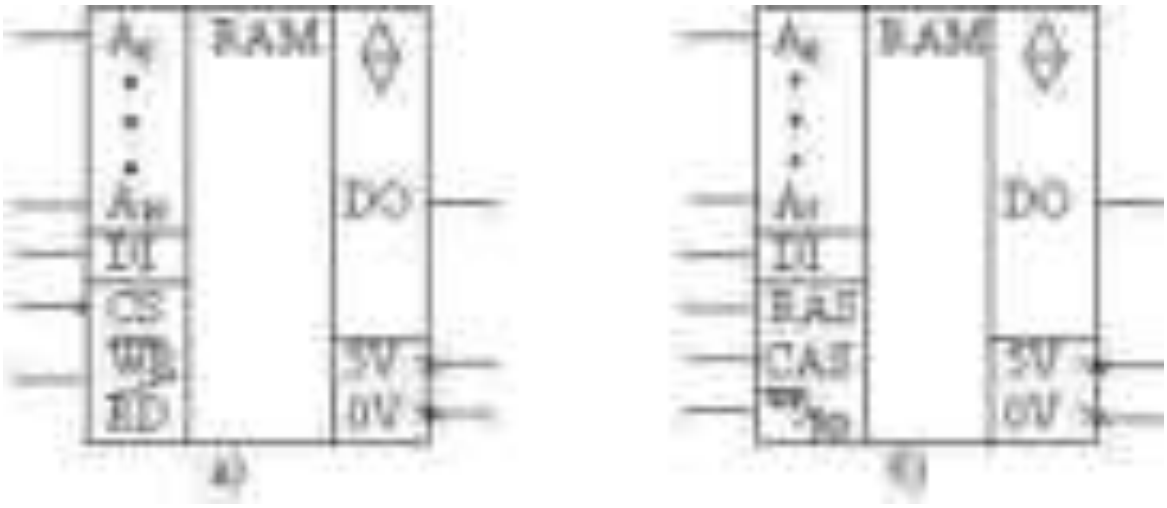


Рис. 15.11. Условные обозначения статического (*а*) и динамического (*б*) ОЗУ

2. Микросхемы постоянных запоминающих устройств (ПЗУ) представлены на рис. 15.12.

На рис. 15.11 и 15.12 изображены ЗУ со знаком на выходе микросхем. Этот знак показывает, что выходные цепи ЗУ выполнены по

схеме с третьим состоянием, т.е. на выходе информация появится только тогда, когда на входе CS будет установлен *активный уровень* сигнала.

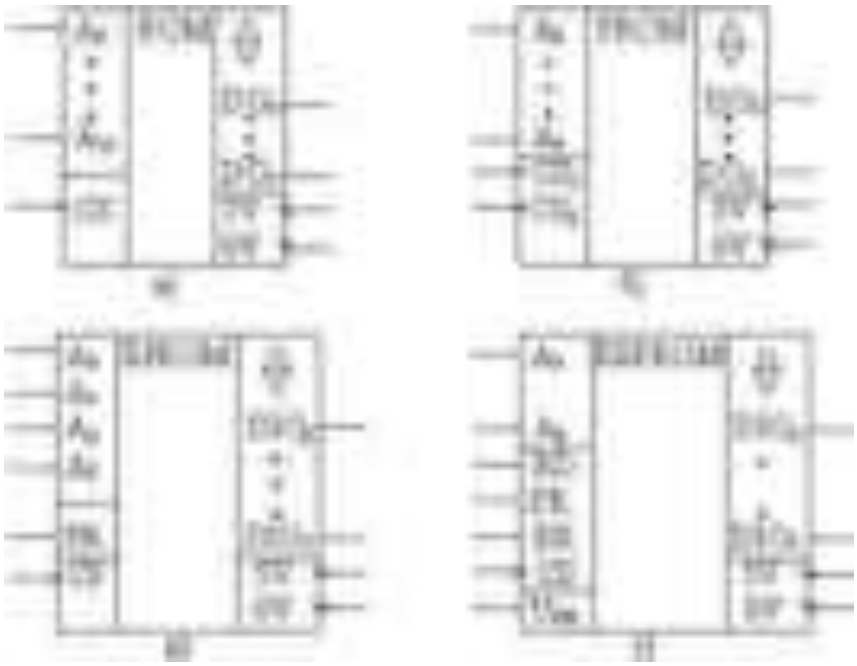


Рис. 15.12. Условные обозначения постоянных запоминающих устройств:
а – масочное ПЗУ; *б* – «прожигаемое» ПЗУ; *в* – репрограммируемое ПЗУ
со стиранием ультрафиолетовым излучением;
г – ПЗУ с электрическим стирание

На выходе микросхемы могут быть изображены другие значки, указывающие тип выхода ЗУ:

– выход с 3-м состоянием;

– выходные цепи имеют открытый коллектор;

– выходные цепи имеют открытый эмиттер.

Обозначения сигналов и выводов микросхем ЗУ имеют следующий смысл:

A_0 –A_n – обозначение адресных входов, номер соответствует разряду двоичного кода в адресном кодовом слове;

DI, DO – обозначение выводов входа и выхода данных;

DIO_0 – DIO_n – обозначение выводов, которые могут быть либо входами, либо выходами данных, номер соответствует разряду двоичного кода в выходном кодовом слове;

CS – выбор микросхемы;

WR/RD – сигнал запись (считывание);

RAS – строб адреса строк;

CAS – строб адреса столбцов;

PR – сигнал программирования;
U_{PR} – напряжение программирования;
RD – сигнал считывания (чтения);
ER – сигнал стирания.

15.10. Флэш-память

Флэш-память (Flach-Memory) по принципам работы и типу запоминающих элементов подобна ЗУ типа EEPROM с программированием МОП-транзисторов с плавающим затвором.

В схемах Flach данные стираются электрическими сигналами. За счет упрощения структуры и процедур стирания в схемах Flach достигается высокий уровень интеграции и быстродействия. Запоминание данных осуществляется с помощью зарядов-разрядов плавающих затворов матрицы МОП-транзисторов. Заряд производится с помощью лавинной инжекции электронов в область плавающего затвора, а при стирании используется туннелирование электронов через тонкий слой диэлектрика. При этом в качестве запоминающего элемента используются модифицированные МОП-транзисторы, например, МОП-транзисторы с многоуровневым хранением заряда, либо МОП-транзисторы с зеркальным битом [20].

Технологически проще выполняется структура МОП-транзистора с *зеркальным битом*. Основой структуры флэш-памяти является матрица запоминающих элементов из МОП-транзисторов на основе ячеек ИЛИ-НЕ либо И-НЕ (рис. 15.13).

Рис. 15.13. Структура запоминающего элемента
с зеркальным битом (а) и схемы ячеек ИЛИ-НЕ (б), И-НЕ (в)

В запоминающем элементе с зеркальным битом области истока и стока идентичны, а запоминающая область выполнена так, что

группы электронов (плавающие затворы) могут длительно храниться независимо друг от друга.

Структура микросхем Flach-памяти содержит матрицу ячеек логических элементов, построенных на запоминающих МНОП-транзисторах (рис. 15.13, *б, в*). Считается, что ячейки И-НЕ обеспечивают большую компактность, но имеют меньшее быстродействие по сравнению с ячейками ИЛИ-НЕ. Ячейки ИЛИ-НЕ обеспечивают более быстрый доступ к словам при произвольной выборке.

Структура матрицы накопителя Flach-памяти представлена на рис. 15.14.

В накопителе каждый столбец матрицы представляет собой совокупность параллельно соединенных МНОП-транзисторов. На словарные линии выборки (строки) в процессе выборки подают уровень напряжения, при котором транзисторы могут открыться (высокий логический уровень). Транзисторы невыбранных строк будут заперты. В выбранной строке откроются те транзисторы, в плавающих затворах которых отсутствует заряд электронов. Открывшиеся транзисторы передадут высокий логический уровень напряжения на разрядные линии считывания.

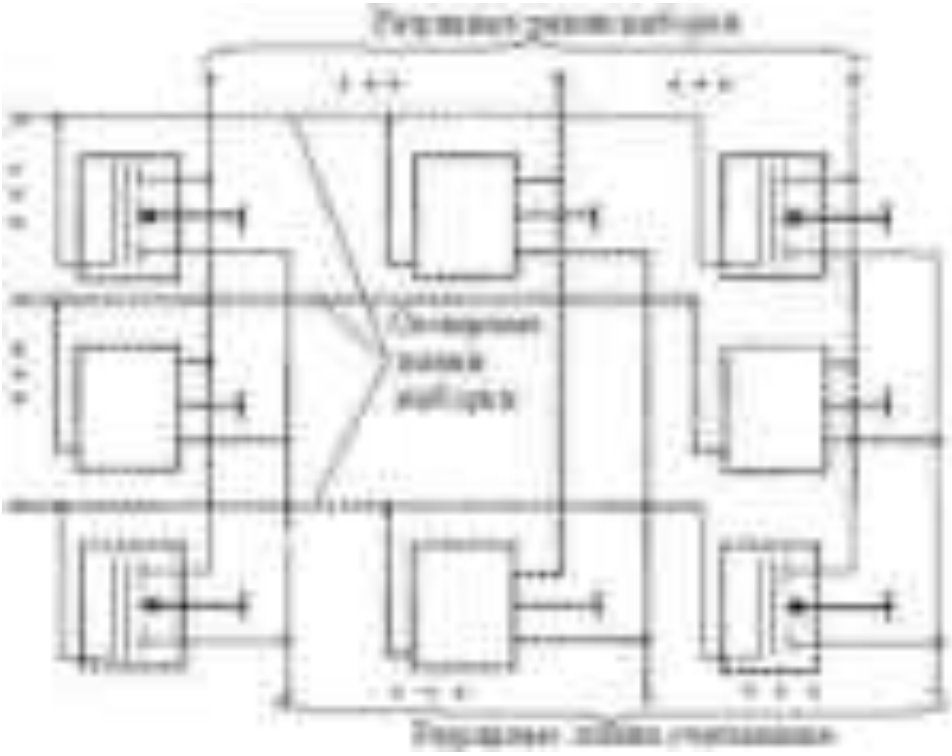


Рис. 15.14. Структура матрицы накопителя Flach-памяти на основе ячеек ИЛИ-НЕ

Управление микросхемами Flach-памяти имеет более сложный характер по сравнению с традиционным способом управления схема-

ми памяти с помощью адресных и управляющих сигналов. Flach-память имеет управление словами-командами, предварительно записанными в специальный внутренний командный регистр. Слова-команды имеют в своём составе команды, обеспечивающие подготовку и выполнение операций стирания, программирования и проверки, чтения и сброса.

Команда сброса является средством устранения действия команд стирания и программирования, что повышает надежность хранения информации.

Флэш-память имеет две разновидности, обусловленные двумя основными направлениями использования. Первая – хранение не очень часто изменяемых данных. Вторая – замена памяти на жёстких магнитных дисках. Микросхемы первого направления имеют блочную несимметричную структуру. В составе этих микросхем имеется так называемый загрузочный блок (Boot-блок), в котором информация надежно защищена аппаратными средствами от случайного стирания.

В Boot-блоке хранятся программы инициализации системы, позволяющие ввести её в работу после подачи питания. Микросхемы второго направления имеют блочную симметричную структуру с идентичными блоками и более развитые средства перезаписи информации. Такую Flach-память называют файловой. Она служит основным средством замены традиционного сочетания жёсткий диск + динамическое ОЗУ на Flach-память + статическое ОЗУ, что особенно эффективно в портативных компьютерах.

Пример условного обозначения (внешняя организация) файловой Flach-памяти показан на рис. 15.15 [20].

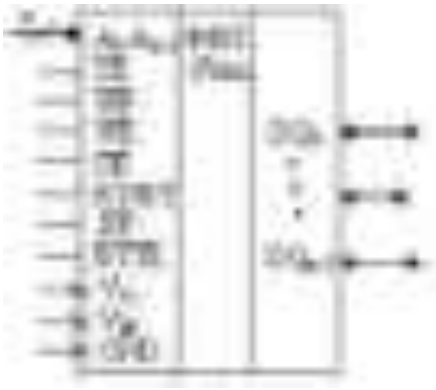


Рис. 15.15. *Пример условного обозначения*

микросхемы файловой флэш-памяти

Обозначения выводов и сигналов, показанных на рис. 15.15, имеют следующий смысл: A_0 – младший бит адреса, A_{n-1} – старший бит адреса, n – число разрядов адреса; DQ_0 – младший бит выходных данных; DQ_{m-1} – старший бит выходных данных на двунаправленной шине данных. Сигнал $\overline{CE}$ – разрешение (выбор) кристалла; OE – перевод (установка) выхода в третье состояние; сигнал WE управляет доступом к внутреннему автомату управления процессами стирания/(записи); сигнал WP – разрешение защиты записи в блоках (каждый блок имеет бит запрещения записи);

сигнал RY/$\overline{B}$Y – индицирует состояние внутреннего автомата записи; с$\overline{игнал}$ RP – установка режима малой мощности потребления; сигнал BYTE вводит схему либо в байтовый, либо в словарный режим.

Микросхемы файловой флэш-памяти в настоящее время имеют информационную ёмкость несколько Гбит при байтовой разрядности 8/16 бит и напряжении питания от 5 до 1,8 В.

16. НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Перспективы и направления развития электроники зависят в первую очередь от научных достижений в области физики, химии, математики и техники полупроводников. Электроника, связанная с нарастающими информационными потоками, давно уже перешла в область микроэлектроники, где достигнуты впечатляющие успехи благодаря миниатюризации, снижению потребления энергии, повышению быстродействия, расширению функциональных возможностей электронных средств.

В настоящее время наблюдается переход от микроструктур к наноструктурам, что сулит дальнейшее увеличение степени интеграции полупроводниковых приборов и улучшение энергетических параметров базовых элементов электроники, в первую очередь транзисторов, а на их основе – всех других функциональных узлов электроники. По мнению ведущих ученых наноструктуры будут основной элементной базой в ближайшие 30 – 50 лет [23]. Следует при этом заметить, что технология изготовления наноструктурных электронных чипов существенно сложнее технологии изготовления микроструктурных чипов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубовский, С.В. Аналоговые и цифровые интегральные схемы / С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Б.П. Кудряшов; под ред. С.В. Якубовского. – М.: Сов. радио, 1979. – 336 с.: ил.

2. Опадчий, Е.Ф. Аналоговая и цифровая электроника: учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 768 с.: ил.

3. Аллен, Ф. Электронные схемы с переключаемыми конденсаторами / Ф. Аллен, Э. Санчес-Синенсио.– М.: Мир, 1989.– 205 с.: ил.

4. Быстров, Ю.А. Электронные приборы для отображения информации / Ю.А. Быстров, И.И. Литвак, Г.М. Персианов. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.: ил.

5. Будинский, Я. Логические цепи в цифровой технике / К. Юнга; под ред. Б.А. Калабекова; пер. с чешск. – М.: Связь, 1977. – 392 с.: ил.

6. Гутников, В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах учебное пособие/ В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.: ил.

7. Гусев, В.Г. Электроника: учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 2-е изд.– М.: Высш. шк., 1991. – 662 с.: ил.

8. Ефимов, И.Е. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. – М.: Высш. шк., 1986. – 464 с.: ил.

9. Жеребцов, И.П. Основы электроники / И.П. Жеребцов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.: ил.

10. Мулявка, Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами / Я. Мулявка. – М.: Мир, 1992.–205с.: ил.

11. Основы теории цепей: учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.: ил.

12. Основы промышленной электроники: учебник для вузов / В.Г. Герасимов, О.М. Князьков, А.Е. Краснопольский, В.В. Сухоруков; под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1978. – 336 с.: ил.

13. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: справочник / А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др.; под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 744 с.: ил.

14. Прянишников, В.А. Электроника: курс лекций / В.А. Прянишников. – СПб.: Корона принт, 1998. – 400 с.: ил.

15. Полупроводниковые приборы: Транзисторы: справочник / В.Л. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др.; под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 904 с.: ил.

16. Проектирование радиоэлектронных устройств на интегральных микросхемах: учебное пособие для вузов / Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Сов. радио, 1976. – 312 с.: ил.

17. Полупроводниковые БИС запоминающих устройств: справочник / В.В. Баранов, Н.В. Бекин, А.Ю. Гордонов и др.; под ред. А.Ю. Гордонова и Ю.Н. Дьякова. – М.: Радио и связь, 1987. – 360 с.: ил.

18. Степаненко, И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем учебник / И.П. Степаненко. – М.: Энергия, 1973. – 608 с.: ил.

19. Токхейм, Р. Основы цифровой электроники / Р. Токхейм; пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 392 с.: ил.

20. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника: учебное пособие для вузов/ Е.П. Угрюмов.– СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.: ил.

21. Цыкин, Г.С. Электронные усилители / Г.С. Цыкин. – М.: Связь, 1965. – 511 с.: ил.

22. Шило, В.Л. Популярные цифровые микросхемы: справочник / В.Л. Шило. – М.: Радио и связь, 1987. – 352 с.: ил.

23. Щука, А.А. Наноэлектроника /А.А. Щука. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.: ил.

24. Электротехника: программирование учебное пособие для неэлектротехнических специальностей вузов / В.Г. Герасимов, Х.Э. Зайдель, В.В. Коген-Далин и др.; под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1983. – 480 с.: ил.

25. Электроника. Энциклопедический словарь / Гл. ред. В.Г. Колесников. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 688 с.: ил.

26. Ялышев, А.У. Многофункциональные аналоговые регулирующие устройства автоматики / А.У. Ялышев, О.И. Разорёнов. – М.: Машиностроение, 1981. – 399 с.: ил.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.09.15 ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МЕХАТРОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Специальность –
21.05.04 Горное дело
Специализация –
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Лекция 1. Общие понятия об информационной поддержке мехатронных производств 7
1.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий 9
1.2. Системный подход к информационной поддержке сложных систем: анализ, синтез, моделирование, оптимизация [2, 3] 14
Контрольные вопросы 27

Лекция 2. Машиностроительные и металлообрабатывающие производства 29
2.1. Гибкие автоматизированные системы и производства 30
2.2. Автоматизированные линии 38
2.3. Гибкие производственные системы механообрабатывающего производства 50
Контрольные вопросы 53

Лекция 3. Введение в процесс проектирования мехатронных систем 55
3.1. Основные принципы проектирования 56
3.2. Схема процесса проектирования 60
3.3. Системный подход к проектированию 67
Контрольные вопросы 76

Лекция 4. Системы автоматизированного проектирования в машиностроении 78
4.1. Общая характеристика систем автоматизированного проектирования 78
4.2. Структура и разновидности систем автоматизированного проектирования 113
4.3. Программные системы проектирования (примеры программ) [3] 116
Контрольные вопросы 124

Лекция 5. Интегрированный подход к разработке мехатронных систем 125
5.1. Системы PDM 126

5.2. Метод обмена данными 129
5.3. Тенденции в развитии интегрированных систем [10, 11] . . . 132
Контрольные вопросы 133

Лекция 6. Концептуальное проектирование и модернизация мехатронных систем 135
6.1. Основные положения 135
6.2. Инструментальные средства концептуального проектирования и модернизации систем 139
Контрольные вопросы 148

Лекция 7. Информационная поддержка жизненного цикла мехатронных систем 150
7.1. CALS-технологии (основные понятия) [1, 3] 150
7.2. STEP-стандарты [5] 158
7.3. Организация в STEP информационных обменов [1] 160
7.4. Проблемы практического использования CALS-технологий 162
Контрольные вопросы 165

Лекция 8. Основные прикладные методы и средства построения интегрированных мехатронных систем 167
8.1. Формирование общих проектных решений [3, 12, 13] 167
8.2. Построение модели процесса разработки мехатронных систем 170
Контрольные вопросы 188

Лекция 9. Автоматизированные системы управления мехатронными производствами [1, 3, 18] 190
9.1. Автоматизация управления предприятиями (АСУП) 190
9.2. Автоматизация управления технологическими процессами (АСУТП) 192
9.3. Информационные логистические системы 194
9.4. Автоматизированные системы делопроизводства 197
Контрольные вопросы 198

Заключение 200

Библиографический список 201

ВВЕДЕНИЕ

Информационная поддержка процессов создания и эксплуатации мехатронных (сложных) производств базируется на широком классе универсальных автоматизированных систем, предназначенных для использования на всех этапах жизненного цикла изделий (ЖЦИ). На этапах проектирования и подготовки производства используются интегрированные САПР – CAD, CAM, CAE, PDM, CAPP и др.; на этапа производства и реализации изделий – SCADA, CNC, MRP, ERP, MES и др.; на этапе эксплуатации и утилизации изделий – CRM, SQSM, MES.

Мировой опыт промышленного производства сложных изделий на современном уровне свидетельствует, что их создание невозможно без использования информационных систем поддержки производственных процессов. Такая поддержка получила название CALS (русская аббревиатура КСПИ) – Continuous Acquisition and Lifecycle Support (компьютерное сопровождение и поддержка жизненного цикла изделий). Данная система поддержки производственных процессов призвана заменить традиционную технологию создания и эксплуатации производственных процессов, которая отличается фрагментарным использованием автоматизированных систем. Она допускает дублирование и несогласованность данных, возможность рассмотрения недостаточно перспективных вариантов производственных процессов, в то время как лучший вариант остается нерассмотренным. При этом возможно недостаточно эффективное использование знаний, накопленных в процессе создания и эксплуатации производственных процессов [19].

Основное назначение CALS-технологий – обеспечение единого информационного пространства (ЕИП) и технологий для предоставления необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому из участников жизненного цикла (ЖЦ) производственного процесса.

CALS-технологии развиваются прежде всего на базе САПР (на стадии создания мехатронных систем), хотя при этом рассматриваются также вопросы моделирования приложений: на начальных этапах моделирования сложных слабоструктурированных приложений используются методы функционального (IDEF0) и информационного (IDEF1X) моделирования систем и методы объективного моделирования на базе среды UML.

Информационная поддержка производственных процессов на стадии их эксплуатации осуществляется за счет применения автоматизированных систем управления мехатронными производствами (АСУП, АСУТП, логистических систем, автоматизированных систем делопроизводства).

Для успешного применения современных информационных технологий в промышленности и других отраслях народного хозяйства необходимо иметь квалифицированные кадры, знающие и умеющие использовать информационные технологии создания и эксплуатации сложных систем различного назначения.

Данный курс лекций направлен на базовую подготовку таких специалистов.

Курс лекций «Информационная поддержка мехатронных комплексов и производств» предназначен в первую очередь для бакалавров и магистров по направлению подготовки 15.03.06 – Мехатроника и робототехника, а также других технических направлений и специальностей, связанных с созданием и управлением сложными техническими системами.

В основу данных лекций положен опыт преподавания информационных технологий (отраженных в учебниках, монографиях и публикациях в научно-технических журналах) в ряде ведущих университетов России – МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ «Станкин», УГАТУ (г. Уфа), МИРЭА и других.

Курс содержит 9 лекций, в которых отражены отдельные аспекты информационной поддержки сложных мехатронных систем и производств.

Авторы выражают благодарность рецензентам и всем коллегам за советы и рекомендации при обсуждении материала лекций.

Лекция 1
ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ МЕХАТРОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Современные производства сложной техники являются базой инновационной экономики, основанной для создания и производства наукоемких изделий, конкурентоспособных на мировых рынках.

Сложные производства базируются на согласованной работе многих предприятий. В свою очередь успешная производственная деятельность на каждом отдельном предприятии осуществляется с помощью автоматизированных систем управления производством и предполагает необходимость информационного взаимодействия этих систем. Такое же информационное взаимодействие должно существовать и между отдельными предприятиями при выпуске сложной продукции.

Мехатронная производственная система, представляющая единый комплекс электромеханических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется постоянный динамически меняющийся обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления, обладающей элементами искусственного интеллекта, является научной и технической базой для создания современного производства сложной техники и физико-технических систем и процессов различного назначения с принципиально новыми функциями и свойствами.

Для обеспечения согласованной работы мехатронных производственных систем создается соответствующая информационная поддержка между элементами производственной системы по всей цепочке жизненного цикла промышленных изделий:

маркетинг > проектирование > подготовка производства > производство > реализация > эксплуатация > утилизация.

Форма, характер, содержание и назначение информационной поддержки различаются на каждом этапе жизненного цикла изделий. Кроме того, для взаимодействия автоматизированных систем разных предприятий нужна унификация не только формы, но и содержания проектной, технологической, эксплуатационной и другой информации о совместно производимой продукции.

Информационная поддержка сложных мехатронных производств на стадиях проектирования и управления действующими производствами обеспечивается за счет:

– стандартизации структуры проектной, технологической и эксплуатационной документации, а также языков ее представления;

– создания единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников жизненного цикла изделия, в котором предусмотрено хранение, обработка и передача информации в объединенных компьютерных средах, а также обеспечен оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте;

– создания интегрированных компьютеризированных производств и охватывающей их интегрированной автоматизированной информационной системы;

– применения технологии представления данных об изделии (набора методов для представления в электронном виде данных об изделии, относящихся к отдельным процессам жизненного цикла изделия);

– использования автоматизированных систем, называемых системами управления данными об изделии (проектными данными) – PDM (Product Data Management);

– набора методов информационного обеспечения реструктуризации и реинжиниринга производственных процессов (и бизнес-процессов) в целях повышения их эффективности.

В данном курсе лекций основное внимание будет уделено вопросам информационной поддержки методов проектирования и автоматизации управления предприятиями и технологическими процессами.

1.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обусловливает разнообразие применяемых АС.

Все задачи, решаемые и выполняемые в процессе разработки и производства продукции, называются жизненным циклом (ЖЦ) промышленной продукции (изделий) (product life cycle). Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. 1.1. К ним относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), производства, реализации продукции, эксплуатации и утилизации [1].

Этапы жизненного цикла для информационных систем или программного обеспечения (ПО) могут отличаться от приведенных на рис. 1.1.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение технического задания (ТЗ) при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики.

Под эффективностью понимают не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижение затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требование удобства эксплуатации имеет для сложной техники, например в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

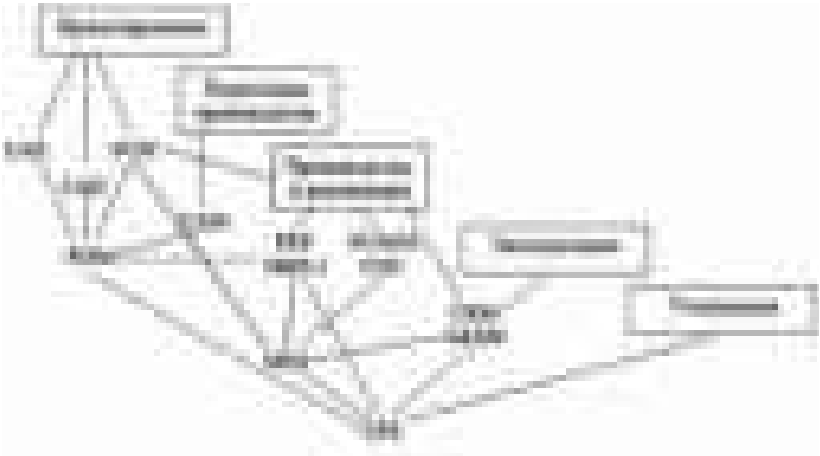


Рис. 1.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

Основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий указаны на рис. 1.1:

– CAE – Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);

– CAD – Computer Aided Design (автоматизированное проектирование);

– CAM–$5omputer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);

– PDM – Product Data Management (управление проектными данными);

– ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

– MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);

– MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);

– SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок);

– CRM–$5ustomer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);

– SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);

– CNC–$5omputer Numerical Control (компьютерное числовое управление);

– S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);

– CPC–$5ollaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес);

– PLM – Product Lifecycle Management (управление жизненным циклом изделий).

Современные САПР (или система CAE/CAD), обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют многомодульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций. При этом возникают естественные проблемы, связанные с построением общих баз данных, с выбором протоколов, форматов данных и интерфейсов разнородных подсистем, с организацией совместного использования модулей при групповой работе. Эти проблемы усугубляются на предприятиях, производящих сложные изделия, в частности, с механическими и радиоэлектронными подсистемами, поскольку САПР машиностроения и радиоэлектроники до недавнего времени развивались самостоятельно, в отрыве друг от друга.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения разрабатываются системы управления проектными данными – системы PDM. Они либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

Уже на этапе проектирования требуются услуги системы SCM, иногда называемой системой управления поставками комплектующих (Component Supplier Management), которая на этапе производства обеспечивает поставки необходимых материалов и комплектующих.

АСТПП, составляющие основу системы CAM, выполняют синтез технологических процессов и программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), выбор технологического оборудования, инструмента, оснастки, расчет норм времени и т. п. Модули систем CAM обычно входят в состав развитых САПР, и потому интегрированные САПР часто называют системами CAE/CAD/CAM/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях выполняются автоматизированными системами на нескольких иерархических уровнях. Автоматизацию управления на верхних уровнях от корпорации (производственных объединений предприятий) до цеха осуществляют АСУП, классифицируемые как системы ERP или MRP-2.

Наиболее известные системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством.

АСУТП контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации.

Для выполнения диспетчерских функций (сбора и обработки данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), встроенных в технологическое оборудование.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые к выпуску изделия. Эти задачи решаются

с помощью системы CRM. Маркетинговые функции иногда возлагаются на систему S&SM, которая, кроме того, служит для решения проблем обслуживания.

На этапе эксплуатации применяются специализированные компьютерные системы, предназначенные для ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем. Обслуживающий персонал использует интерактивные учебные пособия и технические руководства, а также средства для дистанционного консультирования при поиске неисправностей, программы для автоматизированного заказа деталей взамен отказавших.

Следует отметить, что функции некоторых автоматизированных систем часто перекрываются. В частности, это относится к системам ERP и MRP-2. Управление маркетингом может быть поручено как системе ERP, так и системе CRM или S&SM.

На решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом ориентированы системы MES. Они близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM, S&SM и отличаются от них именно оперативностью, принятием решений в реальном времени, причем большое значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов.

Перечисленные автоматизированные системы могут работать автономно, что в настоящее время обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем, требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и, что более важно, в рамках объединения предприятий (системы CPC или PLM – Product Lifecycle Management).

Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла. Унификация формы достигается использованием стандартных

форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании, т. е. применением так называемых CALS (Continious Acquisition and Lifecycle Support) – технологий, которые будут рассмотрены ниже.

Более подробно основные функции, проектные процедуры и программное обеспечение АС различных этапов жизненного цикла промышленных изделий (см. рис. 1.1) будут описаны в последующих лекциях.

1.2. Системный подход к информационной поддержке сложных систем: анализ, синтез, моделирование, оптимизация [2, 3]

Системный подход

Системный подход является общим подходом, выражающим основные идеи и принципы, используемые при создании и управлении сложными техническими системами. Системный подход включает в себя самостоятельные математические дисциплины, такие как «Системный анализ» и «Теория систем».

В широком смысле системный анализ – это дисциплина, занимающаяся проблемами принятия решений, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы. Системный анализ возник в связи с необходимостью вести исследования междисциплинарного характера при создании сложных систем (технических, экономических, экологических). Основы системного анализа лежат в дисциплинах, занимающихся проблемами принятия решений, – теории исследования операций и общей теории управления.

В узком смысле системный анализ включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей (группировка связей по характерным принципам), определение свойств (атрибутов) системы, анализ влияния внешней среды и разработку системы управления.

В отличие от системного анализа теория систем носит прикладной характер, ориентированный на решение конкретных прикладных задач.

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы и их проектирование, чаще всего называют «Системотехникой» (вместо «Теория систем» и «Системный анализ»). Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, а во-вторых, методы их проектирования и исследования.

Следуя [3], рассмотрим ряд основных понятий и терминов системотехники.

Система – множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.

Элемент – такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.

Сложная система – система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, САПР являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.

Подсистема – часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.

Надсистема – система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.

Структура – отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы также тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.

Параметр – величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в моделях

систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на внешние, внутренние и выходные, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы внутренних, выходных и внешних параметров далее обозначены $X = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, $Y = (y_1, y_2, \ldots, y_m)$, $Q = (q_1, q_2, \ldots, q_k)$ соответственно.

Фазовая переменная – величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.

Состояние – совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования (событие).

Поведение (динамика) системы – изменение состояния системы в процессе функционирования.

Система без последействия – ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $Q(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т. е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0.

Вектор переменных V, характеризующих состояние (вектор переменных состояния), – неизбыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).

Пространство состояний – множество возможных значений вектора переменных состояния.

Фазовая траектория – представление процесса (зависимости $V(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем, как сказано выше, часто относят следующие понятия.

Целенаправленность – свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.

Целостность – свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных пара-

метров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.

Иерархичность – свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т. е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

В качестве примера сложной системы рассмотрим «Компьютер».

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся процессор (процессоры), оперативная память, кэш-память, шины, устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная и (или) организационная система, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры – времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры – производительность компьютера, емкость оперативной и внешней памяти, себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры – напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Анализ, синтез, моделирование и оптимизация систем

Изучение сложных систем опирается на методы анализа, синтеза, моделирования и оптимизации систем.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

– иерархическая структура системы;

– анализ и моделирование систем;

– синтез и оптимизация систем.

Необходимость иерархической организации в технических системах – следствие их сложности, когда централизованная

обработка информации либо просто невозможна, либо требует такой затраты времени (или средств), которая недопустима по техническим условиям. Основная задача иерархической организации – распределение функций обработки информации и принятия решений между отдельными элементами системы.

Представление о производственной системе расчленяют на иерархические уровни. На верхнем уровне используются только самые общие черты и особенности производственной системы. На следующих – степень подробности описания возрастает (при этом рассматриваются уже отдельные блоки системы с учетом их взаимодействия), что позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности.

Для большинства приложений характерны следующие иерархические уровни:

– ***системный уровень***, на котором решаются наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования и т. д.;

– ***макроуровень***, на котором исследуются отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т. д.;

– ***микроуровень***, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

В каждом приложении число выделяемых уровней и их наименований может быть различным (в радиотехнике, вычислительной технике, машиностроении и т. п.). В машиностроении имеются уровни деталей, узлов, машин и комплексов.

В широком смысле ***анализ*** – это изучение конкретных фактов, вскрытие тонкой структуры явления (системы). ***Синтез*** – объединение различных факторов, построение структуры системы, развитие того или иного процесса, установление его связи с другими явлениями с учетом их взаимной обусловленности.

Основная задача научного анализа – выделить реальные взаимодействия (зависимости) материальных объектов из

множества мысленно допустимых и сформулировать принципы их отбора. Описание этих принципов отбора (в терминах и переменных, которые наиболее полно характеризуют изучаемый предмет) является предметом ***моделирования*** процессов (систем).

Моделирование имеет две четкие различимые задачи:

– создание моделей сложных систем (в англоязычном написании – modelind);

– анализ свойств систем на основе исследования их моделей (simulation).

Моделирование можно разделить на аналитическое и физическое. К аналитическому моделированию относятся математическое и имитационное моделирование, геометрическое, а также виртуальное моделирование. Физическое моделирование реализует физическую модель объекта (например, технология быстрого прототипирования – rapid prototyping).

В данной лекции рассмотрим только математическое и имитационное моделирование. Остальные виды моделирования будут рассмотрены в последующих лекциях.

Построение математических моделей является основой всего системного анализа. Это – центральный этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит судьба всего последующего анализа.

В качестве примера рассмотрим модель, которая используется для оптимизации некоторых действий.

Модель динамического процесса описывается дифференциальным уравнением вида

$$\dot{\chi} = f(x,t,u), \tag{1.1}$$

где вектор функции $U(t, x)$ называется управлением;

$x = (x_1, x_2, \ldots x_n)$ – вектор состояния системы.

Управление $U(t, x)$ выбирается из условия достижения некоторой цели. Весьма распространенный класс задач с помощью модели (1.1) можно описать следующим образом: за время T перевести систему из состояния

$$x(0) = x_0 \tag{1.2}$$

в состояние

$$x(T) = x_T \tag{1.3}$$

так, чтобы целевая функция $F(x,t,u)$ была минимальной, т. е.

$$\int_0^T F(x,t,u)dt \to \min. \tag{1.4}$$

Ограничения (1.2), (1.3) и целевую функцию (1.4) мы не включаем в понятие модели (1.1) (для одной и той же модели могут ставиться разные задачи).

Потребность и точность выбираемой или составляемой математической модели должны находиться в соответствии с требуемым качеством решения задачи. Излишняя подробность модели приводит к неоправданному увеличению машинного времени, недостающая – к неправильному результату. Весьма желательна проверка адекватности принятой модели.

Применение математических моделей для исследования и проектирования сложных систем связано с рядом принципиальных трудностей:

– отсутствие законченной постановки задачи исследования при незаконченном процессе познания объекта моделирования;

– сложные и трудные математические процедуры применения аналитических методов решения проблемных задача;

– необходимость изучать новые ситуации в сложных системах, о которых мало что известно;

– невозможность введения в изучаемую систему новых компонентов и т. д.

Для решения подобных задач мало наличие доброкачественной модели, необходима также надежная исходная информация. Но и информации еще не достаточно. Необходим определенный сервис. Так, система моделей должна быть доступна исследователю, варианты расчетов должны проходить достаточно быстро, должна хорошо функционировать система визуализации результатов. Должен быть предельно облегчен ввод новой информации, переход к новым вариантам расчета и т. д. Другими словами,

должна быть создана специальная «имитационная система». Отсюда следует, что «имитационная система – это совокупность моделей, имитирующих протекание изучаемого процесса, объединенная со специальной системой вспомогательных программ и информационной базой, позволяющих достаточно просто и оперативно развивать варианты расчетов. Имитационной системе присуща определенная архитектура, и она должна быть снабжена четкими продуктами ее использования» [2]. Имитационные системы могут быть успешно использованы в сложных задачах оптимизации.

Имитационное моделирование (ИМ) предполагает проведение численных экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение систем, с привлечением для этого ЭВМ. Таким образом, имитационная модель представляет собой машинный аналог сложной системы, она позволяет заменить эксперимент с реальной системой экспериментом с математической моделью этой системы в ЭВМ. Поэтому ИМ так широко применяется для проектирования сложных объектов и для изучения сложных систем, особенно в тех случаях, когда реальный эксперимент слишком дорог или вообще невозможен.

Имитационное моделирование позволяет использовать как точную количественную информацию, так и информацию, полученную от экспертов с учетом оценок, суждений и различных эвристик. В этом состоит главное преимущество ИМ перед математическими моделями.

Имитационную модель сложной системы (СС) можно использовать при решении задач в следующих случаях:

– если не существует законченной постановки задачи исследования – идет процесс познания объекта моделирования; имитационная модель служит средством изучения явления;

– если аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, то имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;

– когда кроме оценки влияния параметров СС желательно наблюдение за поведением компонентов СС в течение определенного периода;

– если имитационное моделирование оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях;

– когда необходимо контролировать протекание процессов в СС путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации;

– при подготовке специалистов и освоении новой техники, когда наимитационной модели обеспечивается возможность приобретения необходимых навыков в эксплуатации новой техники;

– когда изучаются новые ситуации в СС, о которых мало что известно или не известно ничего; в этом случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий и правил принятия решений перед проведением экспериментов на реальной системе;

– когда особое значение имеет последовательность событий в проектируемой СС и модель используется для предсказания «узких» мест в функционировании системы и других трудностей, появляющихся в поведении СС при введении в нее новых компонентов.

Недостатки ИМ: разработка хорошего ИМ часто обходится дороже создания математической модели и требует больших временных затрат; ИМ не может точно отражать реальную сложную систему (быть полностью адекватной сложной системе).

На рис. 1.2 показаны основные этапы имитационного моделирования.

Создание системы начинается с выбора ее структуры. Под структурой в общем случае принято понимать вид элементов, из которых состоит объект, и отношений между элементами. Так, завод как объект состоит из цехов, отделов, служб и т. д. Структура объекта может быть различной в зависимости от назначения объекта.

Синтез объекта (производственного процесса) в значительной степени определяет потребительские свойства будущей продукции. Следует отметить, что анализ и синтез непрерывно связаны друг с другом, так как анализ позволяет получить необходимую информацию для целенаправленного выполнения процедур синтеза в итерационном процессе разработки производственного процесса.

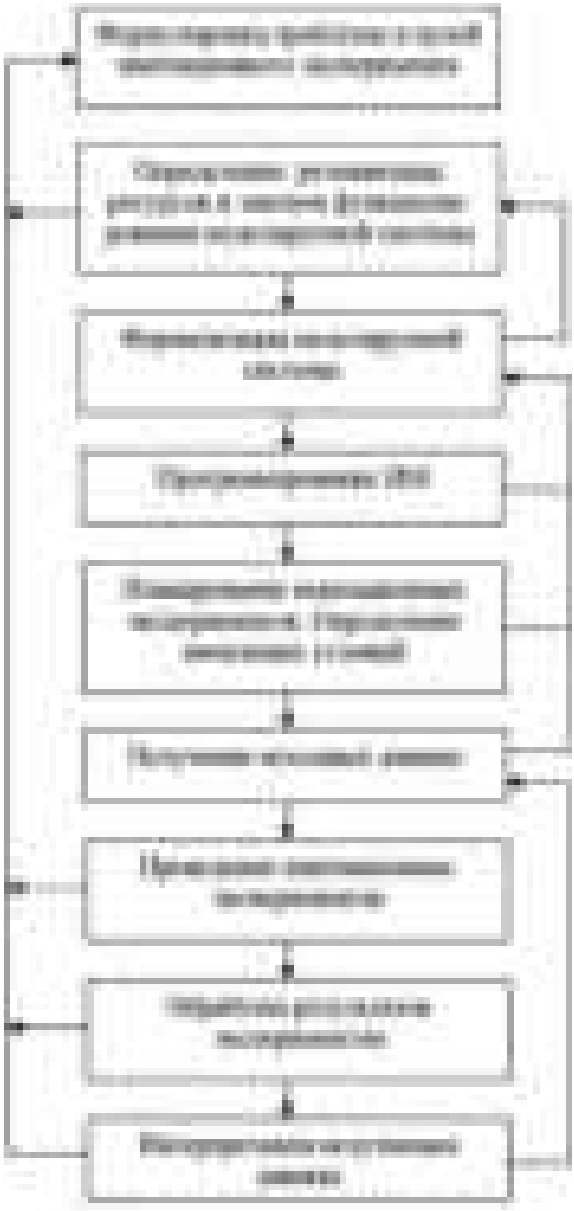


Рис. 1.2. Этапы имитационного моделирования

Синтез, как и анализ, подразделяется на две задачи:

– синтез структуры производственных процессов (систем) – *структурный синтез*;

– выбор численных значений параметров элементов систем – *параметрический синтез*.

Задача структурного синтеза формулируется в системотехнике как задача принятия решения (ЗПР). Ее суть заключается в выборе решения среди множества возможных решений и ограничивающих условий. Принятие решения охватывает широкий круг задач и процедур – от выбора вариантов в конечных и обозримых множествах до задач творческого характера, не имеющих формальных способов решения.

Задачи синтеза структур объектов относятся к наиболее трудно формализуемым. Существует ряд общих подходов к постановке этих задач, однако практическая реализация большинства из них не очевидна. Именно по этой причине структурный синтез, как правило, выполняют в интерактивном режиме при решающей роли инженера-разработчика, а ЭВМ играет вспомогательную роль: выполнение отдельных расчетов, предоставление необходимых справочных данных, фиксация промежуточных и окончательных данных. Имеются лишь отдельные примеры успешной автоматизации структурного синтеза технологических процессов и управляющих программ для механообработки в машиностроении, проектирования печатных плат и кристаллов БИС и некоторые другие. В целом постановки и методы решения задач структурного синтеза в связи с трудностями формализации не достигли степени обобщения и детализации, свойственной математическому обеспечению процессов анализа. Достигнутая степень обобщения выражается в установленной типичной последовательности действий и видов описания при их использовании в САПР. Большое значение для развития подсистем синтеза в САПР имеют разработка и унификация языков представления описаний (спецификаций).

Создание системы (производственного процесса) всегда начинается со *структурного синтеза*, который определяет общий облик будущей системы (одну из конструкций механизма, схему

технологического процесса). Но эти конструкции и схемы выбирают в параметрическом виде, т. е. без указания числовых значений параметров элементов. Поэтому нужно задать или рассчитать значения этих параметров, т. е. выполнить *параметрический синтез*. Примерами результатов параметрического синтеза могут служить, например, рабочие режимы (параметры) технологических операций производственного процесса.

В случае если по результатам анализа проектное решение признается неокончательным, то начинается процесс последовательных приближений к приемлемому варианту проекта. Во многих приложениях для этого удобно варьировать значения параметров элементов, т. е. использовать параметрический синтез на базе многовариантного анализа. При этом задача параметрического синтеза при неизменной структуре объекта может быть сформулирована как задача параметрической оптимизации (или просто оптимизации). Если параметрический синтез не приводит к успеху, то повторяют процедуру структурного синтеза (корректируют или перебирают структуру объекта).

Следуя [3], рассмотрим постановку задач параметрического и структурного синтеза.

Базовая задача параметрического синтеза (приведенная к задаче оптимизации) ставится как задача математического программирования:

$$\begin{gathered} extr\, F(X), \\ X \in Dx \\ Dx = \left\{ X \,/\, y(X) > 0,\ \ \psi(X) = 0 \right\}, \end{gathered} \tag{1.5}$$

где $F(X)$ – целевая функция; X – вектор управляемых (проектных) параметров; $y(X)$ и $\psi(X)$ – функции ограничения; Dx – допустимая область в пространстве управляемых параметров.

Запись (1.5) интерпретируется как задача поиска экстремума целевой функции путем варьирования управляемых параметров в пределах допустимой области. Таким образом, для выполнения расчета номинальных значений параметров необходимо,

во-первых, сформулировать задачу в виде (1.5), во-вторых, решить задачу поиска экстремума $F(X)$.

Базовая задача структурного синтеза формулируется как *задача принятия решения* (ЗПР) следующим образом:

$$ЗПР = \langle A, Y, Мод., П \rangle, \qquad (1.6)$$

где A – множество альтернатив проектного решения; $Y = (y_1, y_2, ..., y_m)$ – множество критериев (выходных параметров), по которым оценивается соответствие альтернативы поставленным целям; $Мод$: $A \rightarrow Y$ – модель, позволяющая для каждой альтернативы рассчитать вектор критериев; $П$ – решающее правило для выбора наиболее подходящей альтернативы в многокритериальной ситуации.

В свою очередь, каждой альтернативе конкретного приложения можно поставить в соответствие значение упорядоченного множества (набора) атрибутов $X = x_1, x_2, ..., x_n$, характеризующих свойство альтернативы. Множество X называют *записью* (в теории баз данных), *фреймом* (в искусственном интеллекте) или *хромосомой* (в генетических алгоритмах).

Во многих случаях удается построить в виде алгоритма математическую модель, позволяющую по заданному множеству X и заданной структуре объекта рассчитать вектор критериев Y. Такие модели получаются автоматически в программах анализа типа Spice Adams или ПА-9 для объектов, исследуемых на макроуровне. Для построения таких моделей можно использовать методы планирования экспериментов или подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей.

Если же математическая модель $A \rightarrow Y$ остается неизвестной, то ее создают на основе *экспертных систем*. В [3] описано большое число методов, входящих в состав математического обеспечения анализа и синтеза проектных решений.

Математический аппарат для каждого из иерархических уровней проектирования имеет свои особенности. На *микроуровне* типичные математические модели представлены дифференциальными уравнениями в частных производных вместе с краевыми условиями (такие модели называются распределенными).

Объектами исследования здесь являются поля различных физических величин (напряжений, температур, скоростей и т. д.).

Моделями *макроуровня* (*сосредоточенными* моделями) являются системы алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений.

Моделями *системного* уровня моделирования сложных объектов (типа сложных производственных систем) является аппарат теории массового обслуживания, сетей Петри или имитационного моделирования.

Постановки и методы решения задач *структурного синтеза* относятся к наиболее трудно формализуемым и выполняются, как правило, в интерактивном режиме инженером-разработчиком. Процесс формального описания структурного синтеза (как было отмечено выше) часто сводится к задаче принятия решения или генетическим методам и алгоритмам.

Процедуры *параметрического синтеза* выполняются либо человеком в процессе многовариантного анализа (в интерактивном режиме), либо решаются на базе формальных методов оптимизации (как было описано выше). В последнем случае находят применение несколько постановок задач оптимизации в виде (1.5).

Последние достижения анализа и синтеза сложных производственных систем, базирующихся на принципах использования современных информационных технологий и программных комплексов, будут рассмотрены в последующих лекциях, посвященных проектированию и управлению производственными процессами.

Контрольные вопросы

1. Форма, характер, содержание и назначение информационной поддержки мехатронных производств.

2. Дайте характеристику этапов жизненного цикла промышленных изделий.

3. Назовите основные типы автоматизированных систем (АС) с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий.

4. Дайте определение «сквозного проектирования» сложных изделий и возникающих при этом проблем.

5. Дайте краткое определение АСТПП, АСУП и АСУТП.

6. Дайте определение понятия «Системный подход» в широком и узком смыслах.

7. Опишите основные понятия и термины системотехники (не цитируя дословно текст лекции).

8. Назовите признаки, присущие сложной системе, приведите собственный пример сложной системы.

9. Обоснуйте необходимость иерархической организации в сложных технических системах, укажите иерархические уровни производственных систем.

10. Укажите основные части (разделы) системотехники, назначение и задачи анализа и моделирования систем.

11. Опишите суть (основное содержание) аналитического и физического моделирования.

12. Обоснуйте необходимость применения математических моделей для исследования и проектирования сложных систем (принципиальные трудности моделирования).

13. Укажите требования, предъявляемые к математическим моделям (на примере имитационной модели).

14. Опишите основное назначение и область применения имитационного моделирования.

15. Основная задача синтеза и оптимизации сложных систем (структурный и параметрический синтез).

16. Порядок создания сложных систем (производственных процессов), постановка задачи параметрического и структурного синтеза.

Лекция 2
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Металлургия, химическая промышленность, машиностроение и металлообработка являются взаимосвязанными базовыми производствами обрабатывающей отрасли промышленности. Машиностроение во многом определяет состояние производственного потенциала страны, являясь базой технического перевооружения всего общественного производства. Удельный вес продукции машиностроения и металлообработки в общем объеме промышленного производства в России составляет около 20 %.

Основными видами промышленного производства являются следующие производства: одиночное, мелкосерийное, серийное и крупносерийное, массовое, а также непрерывное и дискретное. Под дискретным производством понимается изготовление продукта, проходящего через конечное число технологических и сборочных операций. Непрерывное производство подразумевает изготовление продукта, претерпевающего непрерывные изменения, в результате которых заготовка превращается в готовую деталь. Вид производства оказывает существенное влияние на структуру, систему управления и стоимость продукции (эффективность), технологических процессов данных производств. Кроме того, вид производства определяет необходимый уровень гибкости производства. Под гибкостью производства понимается способность быстро и без существенных затрат труда и средств перестраиваться на изготовление новой или модернизированной продукции и на новые технологические процессы с новой их организацией. По сути дела, речь идет о новых организационных формах решения стратегических задач развития производства, его интенсификации

при ограниченных трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Решения таких задач возможно только при условии полной автоматизации машиностроительного производства за счет создания комплексно автоматизированных производств, эффективность которых в первую очередь зависит от гибкости и степени интегрированности их структурных составляющих.

Высшей формой развития комплексно-автоматизированных производств являются гибкие производственные системы (ГПС) и гибкие автоматизированные производства (ГАП) [4].

2.1. Гибкие автоматизированные системы и производства

Такие производства позволяют быстро переходить на выпуск новой продукции, осуществлять ее модернизацию, совершенствовать технологию производства, прежде всего путем смены управляющих программ. Антиподом ГПС и ГАП в отношении гибкости являются автоматические линии (АЛ) с так называемой жесткой автоматизацией. Эффективность АЛ и ГПС зависит от видов производств (рис. 2.1).

Рис. 2.1. Зависимость стоимости продукции от объема ее выпуска для различных видов производства [5]

Типовой состав ГАП в наиболее полном виде состоит из двух частей, приведенных на рис. 2.2:

– гибкая производственная система (ГПС), которая непосредственно реализует технологический процесс изготовления изделий;

– автоматизированные системы проектирования, подлежащих изготовлению изделий и технологической подготовки их производства, реализуемые с помощью показанных в нижней части рисунка автоматизированных рабочих мест (АРМ).

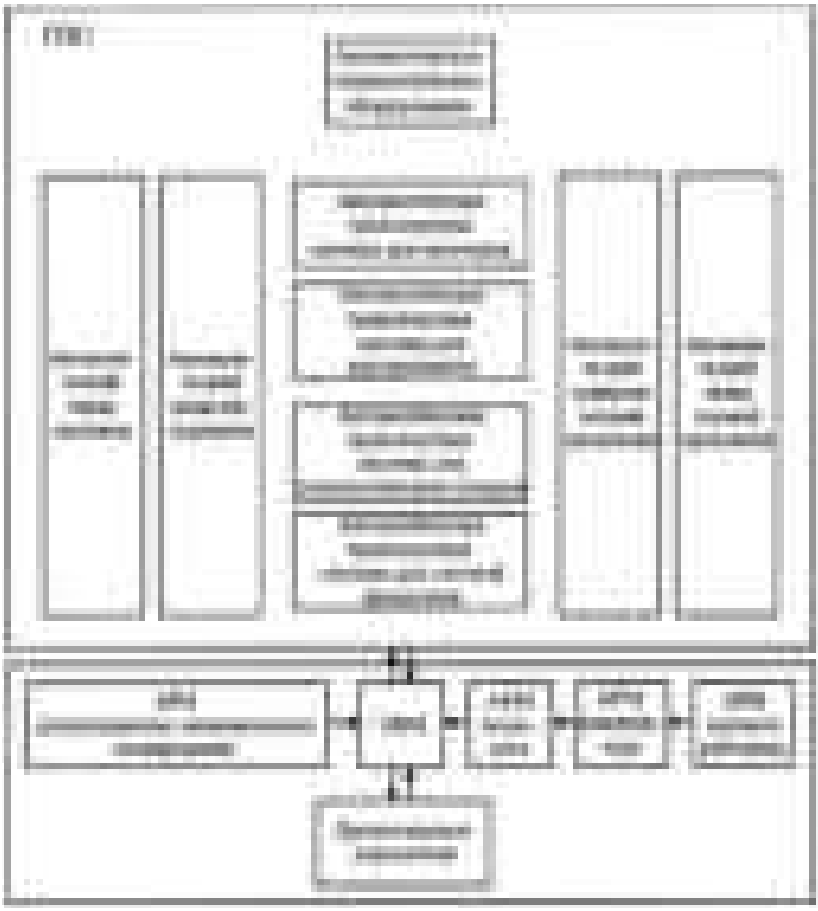


Рис. 2.2. Состав гибкого автоматизированного производства [5]

Части объединены общей автоматизированной системой управления (АСУ) на базе локальной компьютерной сети.

Предел, к которому стремится процесс гибкой автоматизации производства, можно кратко определить так:

– автоматическое производство изделий сколь угодно малыми партиями;

– себестоимость и производительность, близкие к достигнутым в современном массовом производстве;

– практически безлюдное производство – количество работающих, по сравнению с существующим, меньше на два порядка;

– комплексная автоматизация всех частей производства, включая технологические процессы, подготовку производства, разработку документации на выпускаемые изделия, планирование и управление производства в целом.

Таким образом, в максимально полном исполнении ГАП на его вход поступают технические задания на очередное изделие, а на выходе – готовая продукция. Весь процесс может происходить непрерывно на основе машинных носителей информации, т. е. без бумажной документации.

Для мелкосерийного производства степень его гибкости характеризуется количеством типов изделий, которые могут изготавливаться путем смены только программ. Типичные значения этой величины для современных ГАП металлообработки – десятки типов деталей и сотни их модификаций.

В мире внедрение гибкой автоматизации связывают со следующими конкретными достоинствами:

– повышение конкурентоспособности продукции (за счет более быстрой сменяемости выпускаемых изделий, повышения их качества, экономии ресурсов и труда);

– рост производительности;

– стабилизация производства и ускорение оборачиваемости капитала;

– повышение эффективности использования рабочей силы;

– создание новых технологических процессов и производств.

Основной принцип построения гибких производств – компоновка их из комплектно поставляемых унифицированных модулей. В соответствии с составом ГАП, показанным на рис. 2.2,

основными такими модулями являются технологические модули-ячейки, модули транспортные (в том числе на базе транспортных навесных и напольных роботов), складские (в том числе с роботами-штамбелерами), модули контроля качества продукции и технической диагностики оборудования. Последние модули образуют систему автоматического контроля качества, без которой невозможна автоматическая работа всего комплекса. В задачи таких систем входят собственно измерение контролируемых параметров, регистрация результатов этих измерений, визуализация их на терминалах, подача управляющих воздействий в системы управления оборудованием, когда по этим параметрам необходима автоматическая корректировка технологических процессов (например, в случае адаптивного управления станками, учитывающего износ инструмента, изменение размеров заготовок и т. п.). Примером оборудования, используемого в системах автоматического контроля ГАП, являются робототехнические контрольно-измерительные машины.

В ГПС, входящих в состав ГАП (см. рис. 2.2), используют прогрессивное оборудование для перемещения материала, управления станками, формообразования, а также для перспективных методов обработки. Степень необходимой гибкости системы зависит главным образом от объема производства и разнообразия деталей. Так, фирма Comau (США) изготовляет станки для обработки 3…40 деталей в час; на одной линии обрабатывается до 40 разнообразных деталей.

ГПС позволяют преодолеть трудности, связанные с производством групп деталей среднего объема. Эти системы объединяют станки с ЧПУ и автоматическое оборудование для перемещения материала. Система в целом и сам процесс обработки управляются с ЭВМ.

ГПС состоит из нескольких обрабатывающих модулей с ЧПУ; средств для транспортировки палет, размещения зажимов и хранения на участке; централизованного устройства управления движением палет и обрабатывающих операций; различных систем для контроля, наладки инструмента и коррекции, удаления стружки, промывки и продувки.

ГПС, по сравнению со специализированными станочными линиями, легко настраиваются на изменение номенклатуры деталей; новые детали можно обрабатывать при минимальных затратах времени и стоимости необходимого специализированного оборудования.

Основные преимущества ГПС – мгновенная реакция на потребности рынка сбыта, снижение затрат на производство деталей за счет сокращения времени, экономии площади и уменьшения капиталовложений, а также экономия за счет отказа от поступления запчастей извне. Способность обрабатывать детали различной конфигурации позволяет изготовителю осуществлять массовое производство за счет сочетания операций при изготовлении малых и средних партий деталей. Возможность обработки деталей произвольного ассортимента исключает необходимость складирования деталей в ожидании переналадки системы, в результате чего снижаются запасы промежуточных продуктов, потребность в площадях и обеспечивается гибкость планирования производства. Кроме того, к преимуществам ГПС следует отнести и то, что если один участок (или модуль с ЧУ) имеет отклонение от заданного режима работы, то это не влечет за собой отключения всей системы, так как операции неработоспособного модуля распределяются между оставшимися роботами. В результате темп производства снижается, но оно не останавливается. При использовании ГПС имеется возможность экономии производственных площадей за счет исключения специализированного оборудования, сокращения потребности в рабочей силе и снижения степени зависимости от операторов, улучшения условий труда и техники безопасности.

К преимуществам ГПС, по сравнению с обрабатывающими центрами, можно отнести:

– повышение коэффициента использования станков и возможность использования высокопроизводительных рабочих устройств (многошпиндельных головок);

– управление процессами от ЭВМ, обеспечивающее максимальную производительность или максимальный ассортимент обрабатываемых деталей;

– сокращение производственных площадей на 25…30 %;

– сокращение заделов (для некоторых операций и полное их исключение);

– возможность улучшения условий труда, снижение шума.

Чтобы обеспечить оборудованием производство групп деталей без дополнительных капиталовложений (на приобретение специализированного оборудования), фирма Comau запатентовала ГПС, основанную на следующих концепциях использования:

– специальные автономные модули ЧПУ, каждый из которых предназначен для конкретного типа обработки. Специализированный характер таких модулей снижает капиталовложения, упрощает и оптимизирует обработку (обрабатывающий центр, наоборот, представляет собой технический компромисс);

– модульный транспорт между станками;

– стандартизированные палеты; базирование и зажим специальными приспособлениями;

– оборудование модульной конструкции.

Примерами станочных модулей с ЧПУ являются фрезерный модуль MILL, модуль для сверления и нарезания резьбы метчиком DRILL-INDEX, модуль смены многошпиндельной головки MULTIFLEX (MFX), многоцелевой модуль MULTI-STORE (MSR), многоцелевой модуль с наклоняемым шпинделем MULTI-STORE-TILTING, токарный модуль TURN-INDEX.

Фрезерный модуль MILL имеет горизонтально обрабатывающее устройство с ЧПУ, шпиндель и подвижную стойку; движение по осям X, Y и Z обеспечивается антифрикционными направляющими плоского типа, приводимыми в действие серводвигателями; точность позиционирования по осям X и Y составляет ±0,05 мм по всей длине перемещения (для оси Z ± 0,03 мм). Фрезерная головка приводится в действие двигателем постоянного тока мощностью 1,5 кВт через двухскоростную коробку передач.

Модуль для сверления и нарезания резьбы содержит индивидуальный привод для шестипозиционной горизонтальной поворотной головки. Стойка движется по осям X и Y, перемещение по осям X, Y и Z обеспечивается плоскими направляющими, приводимыми в действие серводвигателем. Точность позиционирования

по осям X, Y и Z ±0,05 мм по всей длине хода. Шестипозиционная поворотная револьверная головка приводится в действие двигателем с постоянным крутящим моментом; двигатель постоянного тока мощностью 11 кВт (имеется три скорости). Модуль оснащен инфракрасным датчиком для контроля инструмента.

Модуль TAP-INDEX оснащен шестипозиционной поворотной револьверной головкой, установленной на подвижной стойке. Время смены инструмента 3 с. Точность позиционирования осей X, Y и Z ± 0,1 мм. Двигатель постоянного тока с постоянным крутящим моментом мощностью 5 кВт приводит в действие горизонтальный шпиндель, стандартная коробка передач обеспечивает две скорости. Инфракрасный датчик контролирует износ инструмента.

Модуль смены многошпиндельной головки MULTI-FLEX состоит из устройства для горизонтальной обработки с направляющими и ЧПУ; мощность привода шпинделя 11 кВт. На передней поверхности направляющих расположены установочные и зажимные устройства, а также устройство соединения привода шпиндельной головки. Горизонтальные механизмы барабанного типа емкостью до 6 головок располагаются по обе стороны направляющего устройства. При работе направляющих контроллер ЧПУ подает команду следующей (по последовательности операций) головке для поворота в положение загрузки. Второй барабан получает команду на поворот свободного гнезда в положение разгрузки. При возврате направляющих обе головки (в рабочем положении и положении ожидания) разжимаются и двигаются горизонтально. Затем головки зажимаются, приводится в действие привод, и цикл повторяется. Важно отметить, что головки из магазина могут использоваться произвольно, что позволит главной ЭВМ оптимизировать рабочую загрузку системы в целом. Модуль может использовать щуп; если используется поворотный стол и палета, которые могут поворачиваться на 180 °C, то зондирование производится щупом с несколькими головками, управляемыми от ЭВМ. Размер головки 600 × 600 мм.

Многоцелевой модуль MULTI-STORE состоит из обрабатывающего модуля с ЧПУ с подвижной стойкой и горизонтального

шпинделя с гидравлической балансировкой. Имеется автоматическая система смены инструмента с магазином емкостью 30 инструментов; время смены от 6 до 9 с. Движение по осям X, Y и Z осуществляется с помощью роликовых направляющих плоского типа, точность позиционирования ± 0,015 мм по всей длине перемещения обеспечивается прецизионными шариковыми парами. Система управления позиционированием использует позиционный преобразователь типа индуктосина, который после фиксирования оси зажимается во избежание сдвига. Шпиндель приводится в действие двигателем постоянного тока мощностью 11 кВт с коробкой передач на 2 скорости. Постоянная температура обеспечивается масляной системой охлаждения.

Транспортная система. В каждой ГПС существует, по крайней мере, один загрузочно-разгрузочный участок. В зависимости от вида обработки детали это может быть загрузочно-перегрузочно-разгрузочный участок, который включает в себя автоматические электромеханические затяжные устройства (горизонтальные и вертикальные), зажимающие деталь в палете; верхний специальный зажим (универсальный для большей части деталей); нижнюю стандартную часть палеты (общую для всех деталей стандартного перемещения). Все палеты транспортируются через систему с помощью рольганга модульного исполнения с цепным приводом. На каждом рабочем участке палеты устанавливаются, идентифицируются и получают от ЭВМ команду о направлении дальнейшего движения. Если участок занят или на нем выполняется операция, ЭВМ подает команду палете о перемещении к другому модулю или об обратном движении и возвращении на этот участок через какой-то период времени. Гидравлическая перемещающаяся штанга подает палету к возвращающемуся столу обрабатывающего модуля или отводит от него.

Контроль и управление ГПС. ГПС обычно имеет два основных уровня ЧПУ. При каждом обрабатывающем модуле система ЧПУ типа CNC или PCNC подает на станок команду о выборе требуемого инструмента с учетом последовательности обработки и вспомогательных функций. Второй уровень включает одну или две ЭВМ-супервизора. На этом уровне обеспечивается

координация всех модулей в системе. При введении в систему для обработки новой детали ЭВМ-супервизор проверяет наличие соответствующей программы по этой детали и наличие требуемых инструментов; если ЭВМ определяет, что система не может обрабатывать новую деталь, то деталь и ее палета не получают доступа в систему.

После установки детали в систему ЭВМ-супервизор оптимизирует прохождение детали по системе. Палета останавливается и опознается на каждом участке. Если модуль на ее пути занят или не работает, палета получает команду пропустить, обойти модуль и пройти механообработку на последующих модулях или повторно пройти весь путь и вернуться к этому модулю позже. ЭВМ-супервизор также управляет сменой инструментов в модуле, временем их работы и режимом. Составляются и регулярно печатаются отчеты, выводимые на дисплей, информируя оператора о необходимости замены инструмента. Если емкость магазина позволяет, ЭВМ разрешает использовать инструмент для заранее установленного числа циклов, а затем заменяет его запасным. Кроме того, ЭВМ-супервизор может контролировать и выдавать информацию о выпуске продукции, использовании станка, продолжительности работы, времени простоя и результатах контроля.

2.2. Автоматизированные линии

В качестве примера рассмотрим несколько автоматизированных линий заготовительного производства, по своим характеристикам приближающихся к ГПС кузнечно-прессового производства. Автоматизированная линия горячей штамповки показана на рис. 2.3 [4]. Линия предназначена для получения крупных изделий из крупнотоннажных слитков, производство которых в настоящее время хорошо освоено промышленностью. Линия содержит печь *1* для нагрева крупнотоннажных слитков; автоматизированный ковочный комплекс, состоящий из ковочного пресса *3* и двух манипуляторов *2* с интегрированной системой управления; пресс-ножницы *4* с выдвижным столом для

разделения поковок на мерные длины; печь *5* для нагрева поковок мерной длины для ковки на радиально-ковочной машине *6* с манипуляторами *2*; печь *7* для подогрева длинномерных поковок перед разделением их на заготовки мерной длины на пресс-ножницах *8*; весы *9* для взвешивания заготовок; кольцевую печь *10* для нагрева заготовок перед предварительной штамповкой на заготовительном прессе *11*; печь *12* для нагрева заготовок перед штамповкой на прессе *13* для изотермической штамповки. Линия работает под управлением автоматизированной системы управления *15* и содержит два накопителя *14*, которые выполняют роль буферного устройства.

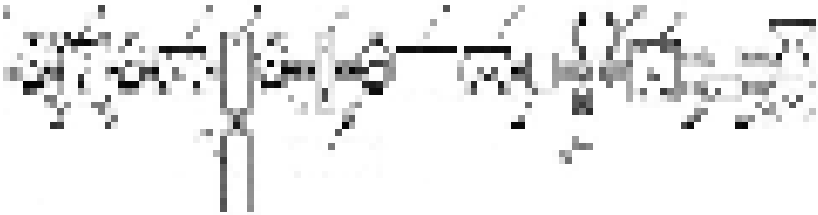


Рис. 2.3. Линия горячей штамповки:
1 – печь для нагрева крупных слитков; *2* – манипуляторы;
3 – ковочный пресс; *4* – пресс-ножницы для разделения поковок;
5 – печь для нагрева поковок; *6* – радиально-ковочная машина;
7 – печь для нагрева поковок перед резкой; *8* – пресс-ножницы; *9* – весы;
10 – кольцевая печь для нагрева заготовок; *11* – заготовительный пресс для штамповки; *12* – проходная печь; *13* – пресс для изотермической штамповки; *14* – накопитель; *15* – пульт управления

Автоматизированный ковочный комплекс (АКК), входящий в линию, предназначен для ковки крупных слитков на заданный размер. Режимы ковки обеспечивают равномерную «проработку» металла по объему поковки. В соответствии с заказом на пресс-ножницах осуществляют разделение поковки на мерные длины для последующей их ковки на радиально-ковочной машине (РКМ). Режим обжатий на РКМ выбирается из условия получения заданной длины поковки, которая в дальнейшем разделяется на пресс-ножницах на конечное число мерных заготовок

(с учетом удаления концевых остатков). Масса мерных заготовок контролируется на весах, установленных в линии. На заготовительном прессе используется фасонный инструмент для «проработки» центральной части заготовок, которая может быть недостаточно хорошо «проработана» на АКК и РКМ. Далее фасонные заготовки поступают на пресс для изотермической штамповки.

АКК и РКМ оборудованы поворотными манипуляторами, которые могут перемещаться вдоль оси линии. Два накопителя, оборудованные около пресс-ножниц, позволяют в случае необходимости разрывать непрерывный технологический поток и использовать только отдельные участки линии. Пресс-ножницы оборудованы датчиками для измерения размеров поковок, позволяющими получать мерные заготовки одинаковой массы (в случае колебания размеров поковок). Линия сконструирована на базе достаточно хорошо отработанного оборудования для отдельных технологических переделов, прошедшего апробацию в промышленности.

Автоматизированная линия изотермического прессования представлена на рис. 2.4 [4]. Линия содержит печь *I* для нагрева заготовок, на выходе которой установлены датчики *1* температуры; многопозиционное скальпирующее устройство *II* для зачистки поверхности заготовки перед прессованием, снабженное датчиками *2* размеров заготовки и датчиками *3* и *4*, определяющими состояние поверхности заготовки на входе и выходе; универсальный гидравлический пресс *III* для прямого и обратного методов прессования, оборудованный датчиками температуры *5* и *7*, контролирующими температуру прессуемого изделия на выходе из очка матрицы, датчиками *6* скорости движения и положения пресс-штемпеля; электроподогревающее устройство *IV* для дополнительного подогрева прессуемого изделия до температуры закалки, снабженное датчиками *7* и *9* температуры на его входе и выходе; закалочное устройство *V*, обеспечивающее скорость охлаждения, необходимую для закалки изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов, снабженное на входе датчиками *8* для определения габаритных размеров прессуемых изделий; правильное устройство *VI* со сканирующим датчиком *10* качества

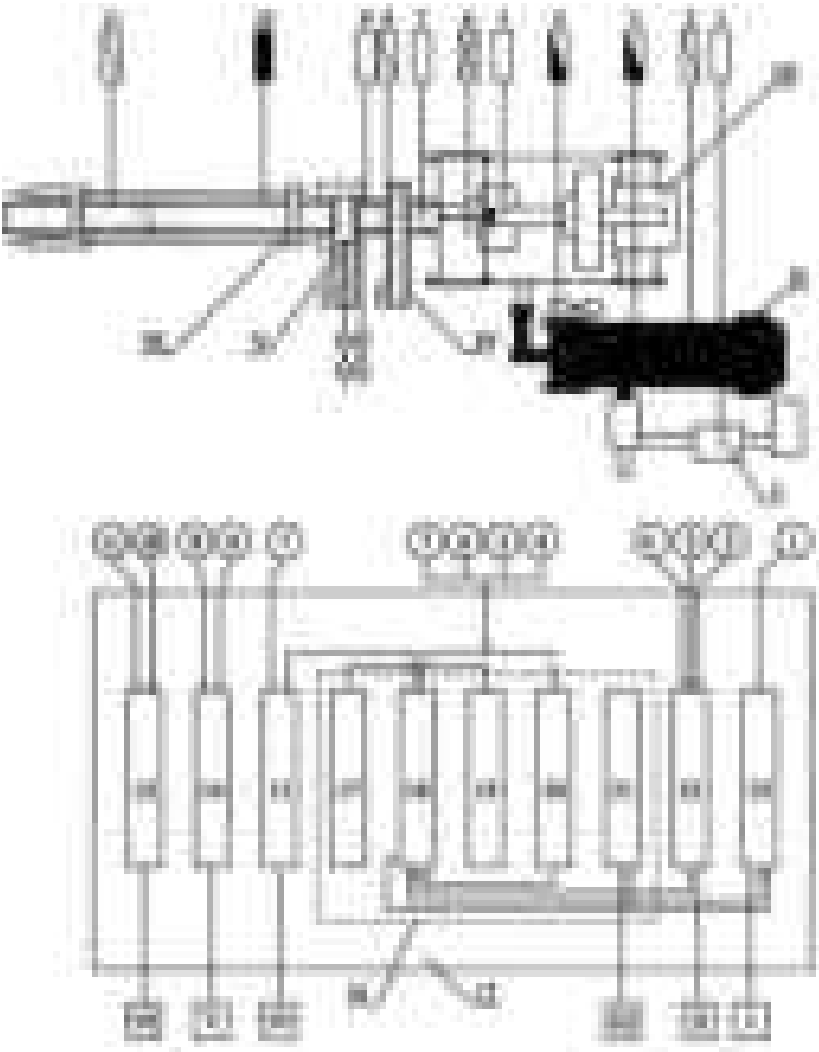


Рис. 2.4. Схема автоматизированной линии изотермического прессования

изделий и датчиками *II*, определяющими размеры элементов прессуемых изделий сложной конфигурации.

Техническая характеристика механического оборудования линии приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Техническая характеристика механического оборудования линии

Характеристика	Единица измерения	Величина
Печь для нагрева заготовки		
– температура нагрева	°С	До 500
– время нагрева	с	120
Многопозиционное скальпирующее устройство		
– номинальное усилие	МН	8
– диаметр заготовок	м	0,2…0,5
– длина заготовок	м	0,4…1,0
– скорость рабочего хода главного плунжера	мм/с	до 50
– привод скальпирующего устройства		НАС
– рабочее давление жидкости	МПа	32
– допустимая несоосность заготовок на матрицы при скальпировании	мм	1,0
Универсальный горизонтальный гидравлический пресс для прямого и обратного прессования		
– номинальное усилие	МН	50
– количество ступеней усилия		3
– I ступень	МН	18
– II ступень	МН	32
– III ступень	МН	50
– скорость рабочего хода:		
с плавным регулированием скорости	мм/с	0,1…10,0
со стабилизацией	мм/с	0,1…20,0
– длина контейнера	м	1,2
– внутренний диаметр втулок контейнера	м	0,42 0,36 0,31 0,27 0,225
высота пресс-остатка:		
– минимальная	м	0,04
– максимальная	м	0,2
давление рабочей жидкости	МПа	32
привод		НАС
Правильно-растяжное устройство		
– номинальное усилие	МН	7
– длина профилей	м	3,0…28,0

Стол пресса оборудован нагревательным и закалочным устройствами, а также устройством для резки изделий (на рис. 2.4 устройство не показано).

Технические показатели линии могут быть изменены в зависимости от применяемого оборудования. Управление технологической линией осуществляется системой управления *12*, которая состоит из блока *13* управления правильно-растяжным устройством, блока *14* управления закалочным устройством, блока *15* управления электроподогревательным устройством. Кроме того, система управления содержит блок *16* управления прессом, который, в свою очередь, состоит из блока *17* адаптации, блока *18* моделирования, блока *19* анализатора текущей ситуации, блока *20* управления градиентным нагревом заготовки в контейнере пресса и блока *21* управления исполнительными органами пресса. Управление скальпирующим устройством и температурой нагрева заготовки перед прессованием осуществляется соответственно блоками *22* и *23*.

Отличительная особенность системы управления – согласованное двухступенчатое регулирование температуры прессуемого изделия путем управления как скоростью движения пресс-штемпеля, так и дополнительным подогревом прессуемого изделия в электроподогревающем устройстве (перед закалкой), установленном на выходе пресса.

Линия работает следующим образом. Перед началом прессования в автоматизированную систему управления линией вводят основные технологические параметры для прессования конкретного изделия. Затем нагретая в печи *I* до определенной температуры заготовка поступает на многопозиционное скальпирующее устройство *II*, где осуществляют зачистку поверхности заготовки (при этом толщина снимаемого слоя металла зависит от размеров и состояния поверхности заготовки). Качество зачищенной поверхности контролирует датчик *4*. Далее зачищенная заготовка поступает на пресс *III*. В процессе прессования результаты измерения температуры поверхности изделия датчиком *7* начинают поступать в блок *19* анализатора текущей ситуации. Исходя из результатов измерений (после их фильтрации и прогнозирования

величины температуры на последующие моменты времени) анализатор текущей ситуации определяет момент, когда продолжение прессования с прежней скоростью может привести к нарушению одной из границ изотермического интервала. В этом случае анализатор устанавливает признак изменения скорости. По этому признаку блок *18* моделирования определяет требуемую скорость прессования на основании текущей оценки параметра, связывающего изменение скорости прессования с изменением температуры выходящего изделия. Вычисленную скорость подают на вход регулятора, поддерживающего заданную величину скорости, воздействуя на исполнительные органы пресса. По окончании теплового переходного процесса, вызванного изменением скорости, блок *17* адаптации корректирует параметр температурно-скоростной зависимости процесса в соответствии с рассогласованием между измеренным и предсказанным значениями температуры. При расчете скорости прессования могут использоваться результаты измерения положения и скорости пресс-штемпеля, что позволяет сделать более гибким алгоритм адаптивного управления. Изделие, выходящее из пресса, поступает в электроподогревающее устройство *IV*, в котором осуществляют (в случае необходимости) дополнительный подогрев прессуемого изделия до температуры закалки, кроме того, благодаря этому устройству продляется зона высокой температуры металла изделия.

Далее прессуемое изделие поступает в закалочное устройство *V*. Для предотвращения деформации закалку изделия осуществляют в процессе прессования под нагрузкой.

По окончании прессования и закалки задний конец прессуемого изделия закрепляют в неподвижной траверсе правильно-растяжного устройства *VI* и осуществляют правку изделия растяжением. Процесс правки (величина растяжения, скоростной, режим правки) контролирует блок *13* управления правильным устройством.

Таким образом, в непрерывном потоке на одном автоматизированном технологическом комплексе осуществляют все основные технологические операции по производству изделий

сложной конфигурации из высокопрочных алюминиевых сплавов, а после небольших изменений и для производства изделий из малолегированных алюминиевых сплавов и тяжелых цветных металлов.

На базе линии изотермического прессования ОАО «Уралмаш» разработан автоматизированный технологический комплекс на базе универсального пресса усилием 50 МН, предназначенный для производства сплошных профилей периодического и постоянного по длине сечений с диаметром описанной окружности до 350 мм.

В состав комплекса входят устройство для зачистки поверхности литых заготовок (скальпирующее устройство) с комплексом автоматики и механизации, горизонтальный гидравлический пресс усилием 50 МН, приемный стол пресса с приводом и устройством для вытягивания отпрессованного изделия из мундштука пресса, устройство для резки изделий на столе пресса, перекладчик отпрессованной продукции с приемного стола пресса на транспортер-холодильник, устройство съема и накопления изделий, автоматизированная система управления температурно-скоростными режимами прессования.

Система управления обеспечивает следующие режимы прессования: изотермическое прессование профилей постоянного сечения; программное изменение скорости прессования для профилей периодического сечения; прессование профилей периодического сечения с постоянной скоростью; программное изменение скорости прессования профилей постоянного сечения. Диапазон изменения и регулирования скорости движения пресс-штемпеля от 0,1 до 10 мм/с, погрешность – 5 %.

Приемный стол пресса – роликовый с приводными роликами. Длина прессуемых профилей: максимальная – 16 м, минимальная – 4,5 м. Устройство для резки изделий на приемном столе пресса обеспечивает резку изделий и пучка изделий. Резке подвергается профиль с диаметром описанной окружности до 350 мм и максимальной толщиной 60 мм. Допустимый диаметр описанной окружности пучка профилей – 250 мм, количество профилей в пучке 1…4 шт.

Комплекс обслуживают три человека: один – на пульте управления, один – на входной стороне комплекса (обслуживает работу индукционной печи и скальпирующего устройства, обеспечивает подачу заготовок и уборку отходов скальпирования), один – осуществляет смену инструмента, уборку партий профилей из накопителя.

Автоматизированные комплексы и линии изотермического прессования позволяют ликвидировать ряд трудоемких технологических операций (повторный нагрев изделий под закалку, закалку изделий, ряд транспортных и подготовительных операций), осуществлять закалку длинномерных изделий определенного сортамента без создания дорогостоящих крупногабаритных закалочных устройств, снизить трудоемкость процесса на 9…10 чел·ч на одну тонну годной продукции; сократить на 350…500 кВт·ч расход электроэнергии на одну тонну изделий; повысить выход годной продукции (за счет снижения отходов) на 2…4 %, что, например, для прутково-профильного пресса усилием 50 МН (при производительности 9000 тонн в год) составит около 300 тонн в год; повысить производительность процесса на 50…60 кг годных изделий в час (за счет повышения скорости прессования); сократить производственные площади; сократить на 2…3 человека обслуживающий персонал; повысить равномерность механических свойств и качество поверхности по всей длине прессуемого изделия за счет изотермического режима прессования и предварительной зачистки поверхности заготовок в многопозиционном скальпирующем устройстве; решить проблему адаптации системы управления скоростью прессования к изменяющимся условиям прессования длинномерных изделий сложной конфигурации.

Описанные выше автоматизированная линия и комплекс изотермического прессования защищены пятью авторскими свидетельствами и патентами ФРГ, Японии, Италии, Турции и Индии.

Схема линии по производству крупногабаритных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов, разработанная ОАО «Уралмаш», показана на рис. 2.5. В состав линии входит следующее уникальное оборудование. Мощный горизонтальный

гидравлический многоцилиндровый пресс, предназначенный для прессования прямым и обратным способами крупногабаритных изделий из алюминиевых сплавов.

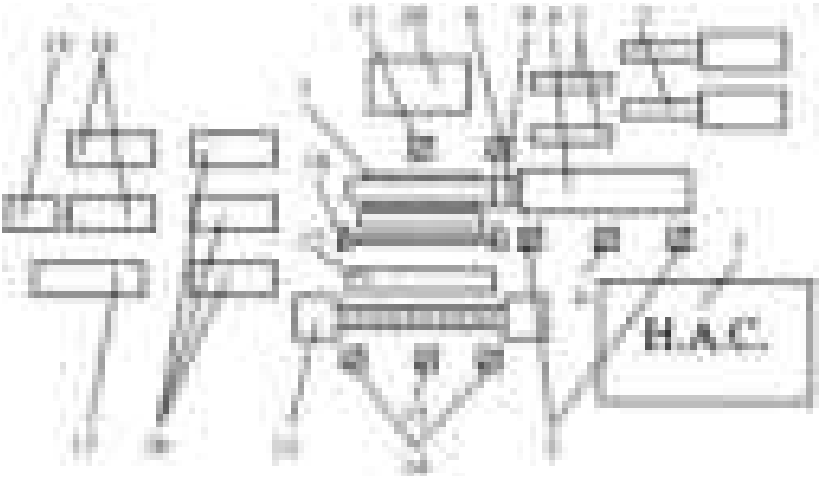


Рис. 2.5. Линия по производству длинномерных крупногабаритных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов:
1 – насосно-аккумуляторная станция; *2* – печи для нагрева слитков; *3* – устройство для зачистки слитков; *4* – горизонтальный гидравлический пресс; *5* – датчики температуры на входе и выходе пресса; *6* – датчик скорости движения пресс-штемпеля; *7* – закалочное устройство на столе пресса; *8* – датчик температуры на входе в закалочное устройство; *9* – подогревающее устройство на столе пресса; *10* – машина для обрезки концов; *11* – датчик качества прессуемых изделий; *12* – стеллаж; *13* – правильно-растяжная машина; *14* – датчик перемещения захватов машины; *15* – датчик для определения деформаций; *16* – горизонтальные агрегаты для закалки крупногабаритных изделий; *17* – ролико-правильная машина; *18* – печи для отжига и старения крупногабаритных изделий; *19* – установки ультразвукового контроля; *20* – центральный пульт автоматизированной системы управления линией прессования

Технические возможности пресса позволяют прессовать изделия с законцовками. Контейнер выполнен удлиненным с повышенным отношением длины контейнера к диаметру рабочей

втулки. Пресс оборудован устройствами для зачистки слитков перед прессованием, стоящими в линии подачи слитков от печи к прессу. Привод пресса, помимо насосно-аккумуляторной станции, оснащен также и индивидуальной насосной установкой с насосами переменной производительности. Схемой предусмотрено подключение любой группы рабочих цилиндров как к насосам, так и к насосно-аккумуляторной станции. На входе и выходе пресса установлены пирометрические бесконтактные датчики температуры для регистрации температуры слитков и прессуемого изделия на выходе из очка матрицы. Скорость движения и положение пресс-штемпеля замеряются с помощью дифференциально-индуктивных датчиков. По своим эксплуатационным характеристикам эти датчики превосходят известные фотоэлектрические датчики, применяемые в локальных регуляторах скорости движения пресс-штемпеля.

Предусмотрена возможность регулировки скорости рабочего хода пресс-штемпеля управляемыми дросселями или насосами переменной производительности. В выходной части пресса имеются приемный стол специальной конструкции, холодильник и пилы для обрезки концов отпрессованных изделий. Все операции от выдачи слитка из печи до получения изделия механизированы.

Правильно-растяжная машина (ПРМ) для правки и упрочнения длинномерных изделий из алюминиевых сплавов состоит из двух тянущих выкрутных головок одинакового исполнения, каждая из которых снабжена индивидуальным масляным приводом. Основанием машины служат станина и опорные балки, установленные и закрепленные на фундаменте. Боковые балки служат опорой и направляющими для проставок. Машина снабжена датчиками скорости и положения тянущих головок, а также сканирующим датчиком деформации отдельных частей пресс-изделия.

Далее в линии установлены горизонтальные агрегаты для закалки крупногабаритных изделий, печи для отжига и старения крупногабаритных изделий, участок ультразвукового контроля и роликоправильная машина.

Технологический процесс производства длинномерных изделий выглядит следующим образом. Слиток, нагретый в печи *2* до температуры, превышающей на 10…15 °С температуру прессования, после зачистки поверхности на устройстве *3* поступает на пресс *4*. На прессе обеспечиваются изотермические условия прессования, после чего часть изделий закаляется непосредственно на столе пресса в закалочном устройстве *7*. После закалки эта часть изделий, после обрези концов на машине *10*, поступает на ПРМ *13*. Контроль данной части изделий производится в потоке. Основная же часть изделий после прессования и обрези концов поступает на термообработку в агрегатах *16* и *18*, а затем на правку на роликовой *17* и протяжной *13* машинах. После этого изделия проходят ультразвуковой контроль на установках *19*.

Работа линии координируется автоматизированной системой управления, охватывающей основные технологические операции, такие как нагрев слитков перед прессованием, процесс прессования на гидравлическом прессе, термообработку и правку изделий на растяжной правильной машине. Для части изделий предусмотрен контроль их качества (точность размеров, сплошность, механические свойства) после каждой технологической операции.

Температурный режим нагрева слитков перед прессованием назначается в зависимости от размеров слитков, их химического состава и фактических механических свойств, определяемых в процессе прессования первого слитка. Система управления осуществляет контроль над режимом нагрева.

Известно, что однородность механических свойств по всей длине длинномерных прессуемых изделий имеет место в условиях изотермического прессования, когда обеспечивается постоянство температуры металла на выходе из очка матрицы по всей длине прессуемого изделия. Одновременно достигается и максимальная производительность процесса, что весьма важно при производстве длинномерных изделий.

Система управления процессом прессования призвана обеспечить изотермические условия прессования за счет регулирования скорости движения пресс-штемпеля в процессе прессования.

2.3. Гибкие производственные системы механообрабатывающего производства

Анализ производства большинства промышленно развитых стран показал, что 80…90 % всех деталей, изготавливаемых в настоящее время на станках, целесообразнее получать используя гибкие производственные системы (ГПС или входящие в состав ГПС гибкие производственные модули). Следует иметь в виду, что стоимость программного и аппаратного обеспечения производственного оборудования всей ГПС составляет около 75 % ее стоимости, остальные 25 % стоимости ГПС приходятся на транспортное и другое вспомогательное оборудование. В качестве примера рассмотрим ГПС фирмы Vought (США), предназначенную для механической обработки деталей фюзеляжа американского бомбардировщика B1B. ГПС, поставленная фирмой Cincinnati Milacron (США), включает в себя восемь идентичных горизонтальных обрабатывающих центров с ЧПУ, связанных при помощи транспортной сети из четырех автоматических транспортных тележек с двумя управляемыми от ЭВМ координатно-измерительными машинами; автоматическую станцию мойки и сушки; два карусельных накопителя плит-спутников и автоматическую систему сбора стружки (рис. 2.6).

Станочное оборудование ГПС состоит из восьми горизонтальных обрабатывающих центров HC-20 фирмы Cincinnati Milacron (США), предназначенных для контурного фрезерования, сверления, растачивания, развертывания и нарезания резьбы. Они имеют магазин емкостью 30 инструментов, в котором хранится набор инструментов для обработки на любом из восьми станков. Каждый станок имеет устройство автоматической смены плит-спутников челночного типа с позицией промежуточного хранения. На плитах-спутниках имеются многоместные приспособления для установки различных деталей на одну плиту.

Четырехкоординатные станки могут обрабатывать заготовки размерами 800 × 800 × 900 мм и массой до 2270 кг из черных и цветных металлов. Имеется автоматический конвейер для

отвода стружки, измерительное устройство для установки нулей отсчета, устройство обнаружения поломки инструмента и система адаптивного управления крутящим моментом на шпинделе. Обрабатывающие центры оснащены системами ЧПУ типа CNC Acramatic 900, каждая из которых связана с центральной ЭВМ (DNC).

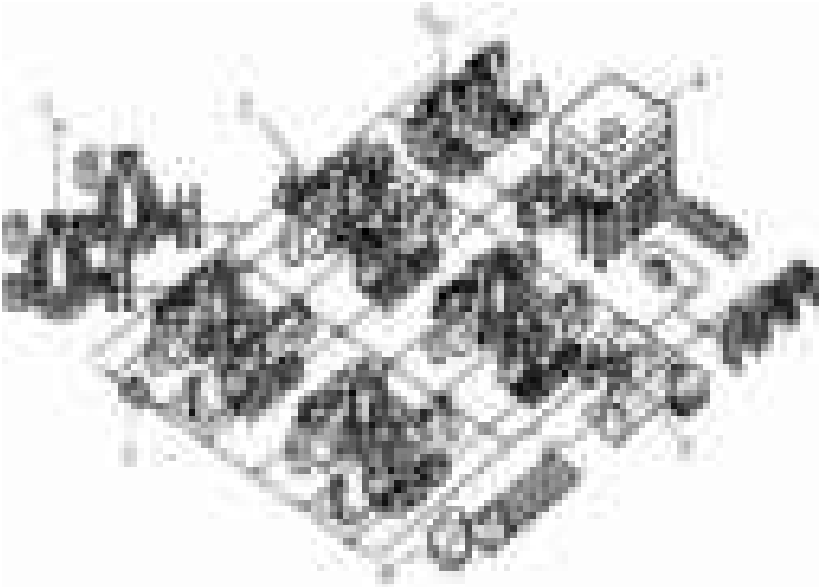


Рис. 2.6. Планировка гибкой производственной системы фирмы Vought: *1* – позиция загрузки-выгрузки; *2* – обрабатывающие центры; *3* – координационно-измерительные машины; *4* – комната с управляющей ЭВМ; *5* – автоматическая моечная станция; *6* – автоматическая система сбора стружки; *7* – направляемые по проводам тележки

Две координатно-измерительные машины производят автоматический контроль обработанных деталей. Данные цикла измерений детали передаются по системе обратной связи на соответствующий станок для автоматической регулировки смещения инструментов. Измерительные машины связаны с системой DNC, циклом измерения управляет центральная ЭВМ. Работу ГПС и других безлюдных систем затрудняет удаление стружки.

Фирма Vought (США) пытается решить эту проблему с помощью автоматической системы сбора стружки и СОЖ, расположенной под полом. Двухпоточная система связана со всеми станками, разделяет стружку черных и цветных металлов, удаляет сгустки масла из СОЖ. Система имеет автоматический самоочищающийся всасывающий фильтр (т. е. в нем не используется сменная фильтровальная бумага), оборудована воздушной системой сушки с электрическим подогревом и конвейером для доставки стружки черных и цветных металлов в различные контейнеры, которые затем транспортируются на автоматических транспортных тележках. Химический состав СОЖ контролируется. Детали и заготовки загружаются и снимаются вручную с двух десятиместных карусельных накопителей, которые в пределах ГПС обслуживаются четырьмя направляемыми по проводам транспортными тележками.

Всей ГПС управляет система DNC с помощью ЭВМ. Последовательность обработки деталей в ГПС задается оператором в соответствии с ежедневным производственным заданием. Его решения учитываются в производственном плане предприятия с помощью системы обратной связи.

Фирма Grumman (США) использует интегрированную ячейку для фрезерования и сверления отверстий в деталях сложного профиля и листовом алюминии, которые применяются в конструкции обшивок, панелей, обтекателей и дверей. До внедрения ячейки эти детали обрабатывались вручную с использованием зажимных приспособлений. Центральный элемент ячейки – робот IRE-60 фирмы ASEA. Ячейка включает в себя также пять основных элементов с программным управлением: контейнер, рабочий стапель для установки и закрепления детали, систему автоматической смены инструмента и контроля (рис. 2.7).

В заключение отметим, что в механообработке металлов достигнуты значительные успехи в разработке новых режущих материалов и приводов для металлорежущих станков, в результате чего значительно сократилось основное машинное время на обработку каждой заготовки.

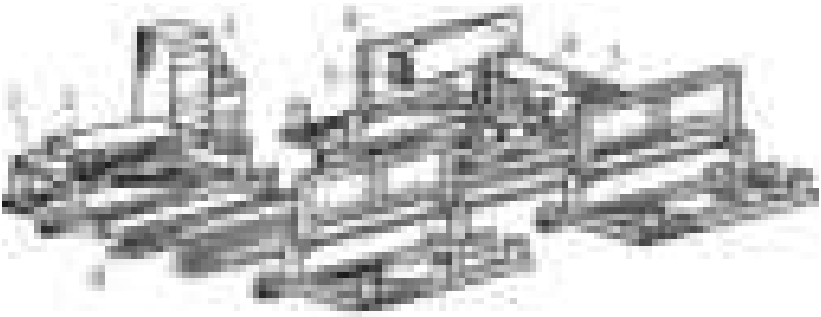


Рис. 2.7. Схема интегральной роботизированной ячейки:
1 – позиция загрузки; *2* – обрабатываемая деталь; *3* – блок управления; *4* – позиция обработки; *5* – оснастка; *6* – робот; *7* – робот для смены инструмента; 8 – рельсы для перемещения робота

Много нерешенных проблем существует в области разработки систем крепления, включая системы переналадки приспособлений для крепления инструментов и др. Ведутся дальнейшие работы в области сенсорной техники, систем автоматической регулировки и управления процессами производства. Особое внимание уделяется созданию универсальных и надежных систем распознавания дефектов износа и поломки инструментов. Для большинства металлообрабатывающих предприятий основой развития гибкого производства и снижения затрат на обработку является модульная технология.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные виды промышленного производства.
2. Дайте определение и описание ГПС.
3. Дайте определение и описание ГАП.
4. Дайте определение АЛ.
5. Проведите сравнительный анализ ГПС, ГАП и АЛ для различных видов производств.
6. Опишите назначение и структуру автоматизированной линии горячей штамповки.

7. Опишите назначение и структуру автоматизированной линии изотермического прессования.

8. Сформулируйте назначение пресса изотермической штамповки в составе автоматизированной линии горячей штамповки.

9. Сформулируйте принципы изотермического прессования.

10. Сформулируйте принципы системы управления изотермическим прессованием.

11. Опишите функциональное назначение устройств управления линии изотермического прессования.

12. Опишите работу линии изотермического прессования.

13. Укажите технико-экономические характеристики изотермического прессования.

14. Опишите работу линии по производству длинномерных крупногабаритных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов.

15. Опишите планировку гибкой производственной системы Vought.

16. Дайте технико-экономическую характеристику гибкой производственной системы Vought.

Лекция 3
ВВЕДЕНИЕ В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Проектирование технического объекта – создание, преобразование и представление в принятой форме образца этого, еще не существующего, объекта. Образ объекта может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться с помощью некоторых алгоритмов в процессе взаимодействия с ЭВМ.

Инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности в некоторых технических объектах. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий сведения, достаточные для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект – окончательное описание объекта.

Проектирование предполагает выполнение комплекса работ исследовательского, расчетного и конструктивного характера.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека с ЭВМ, называется *автоматизированным*. Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой *систему автоматизированного проектирования* – CAD (Computer Aided Design в англоязычной терминологии).

Имеется несколько типов проектов: технические, организационные, экономические, социальные и смешанные. Однако процесс проектирования имеет две особенности: во-первых, состав и последовательность его этапов не зависит от целевого назначения проекта, во-вторых, логика процесса проектирования инвариантна к способу проектирования – традиционному или автоматизированному.

Кроме того, для подходов к проектированию сложных мехатронных систем характерны:

– структуризация процесса проектирования (декомпозиция проектных задач и документации);

– итерационный характер проектирования;

– типизация и унификация проектных решений и средств проектирования;

– информационная поддержка (в том или ином виде) на всех этапах процесса проектирования;

– соблюдение основных принципов проектирования.

3.1. Основные принципы проектирования

При решении задач проектирования руководствуются рядом основных принципов.

Последовательность и итерационность. Последовательность заключается в строгой очередности выполнения этапов проектирования механизма или машины, а итерационность – в корректировках проектных решений, полученных на предыдущих этапах проектирования.

Модульный принцип проектирования состоит в максимально возможном использовании однотипных узлов (или элементов узлов) при проектировании семейства машин различного целевого назначения. Сложные системы необходимо проектировать так, чтобы поведение одной части системы оказывало минимальное воздействие на остальную систему. Этот принцип базируется на активном использовании компьютерной техники и применяется тогда, когда уже имеется достаточно четкое представление о семействе проектируемых машин.

Применение модульного принципа при проектировании одного механизма или одной машины бессмысленно и невозможно. Только в случае разработки семейства машин и использовании при этом ограниченного числа готовых узлов последние становятся модулями. Модули являются следствием принятого технического решения, ибо в принципе проектировать можно так, что

узлы одного назначения не будут даже отдаленно похожи друг на друга.

Различают модули *производственные* (применяемые без каких-либо изменений в машинах различного целевого назначения), *технологические* (отличающиеся в основном технологией изготовления и незначительными конструкторскими изменениями, относящимися, как правило, к местам крепления узлов, например: правый-левый, верхний-нижний, передний-задний и т. п.) и *конструкционные* (имеющие конструкционное подобие, но различные размеры).

Современное техническое обеспечение САПР позволяет легко получать зеркальные изображения узлов (технологические модули) с минимальными затратами труда и времени. Несколько сложнее получить конструкционные модули, так как при их проектировании необходимо одновременно выполнять требования соблюдения размерных рядов и максимально возможной унификации.

При использовании модульного принципа проектирования на уровне принятия концепции должен быть решен вопрос о критерии целесообразности его применения для проектируемого семейства машин. Модули, используемые в последующих разработках, переходят в категорию унифицированных узлов.

Принцип унификации связан с применением в семействе проектируемых механизмов или машин унифицированных сборочных единиц (узлов, подузлов, агрегатов), деталей (оригинальных и стандартных), комплектующих. Как показывает опыт автоматизированного проектирования, применение типовых унифицированных деталей нецелесообразно. Значительно выгоднее иметь большое количество макрусов и существенные заделы в банках данных по модификациям и унифицированным узлам, что позволяет избегать излишней детализации конструкторских разработок. Информацию об унифицированных деталях, узлах и системах целесообразно хранить на микрофишах систематизированно по группам.

Принцип соответствия выбора номенклатуры и значений выходных характеристик целевому назначению проектируемой

машины или механизма. Чем ответственнее проектируемый объект, тем большее число выходных характеристик и параметров объекта регламентируется и тем более жесткие требования к ним предъявляются. Например, вероятность безотказной работы станков принимается в пределах 0,95–0,99, а самолетов – 0,999 99.

Другой пример. Число установленных и проверяемых выходных параметров точности станка при высоких требованиях к точности обрабатываемых деталей может достигать 20–30, в то время как для станков нормальной точности достаточно регламентировать 8–10 показателей. Основная цель регламентации выходных параметров станка – обеспечить погрешность обработки, которая находилась бы в установленных пределах в течение всего периода его эксплуатации.

Во всех случаях проектировщику необходимо помнить, что соответствие выходных характеристик механизма или машины их целевому назначению в первую очередь определяет общая компоновка, принимаемая на концептуальном уровне.

Принцип компромиссов. Проектирование – это непрерывная цепь компромиссов, которые приходится принимать на всех стадиях создания механизма или машины. Например, стремление к увеличению частоты вращения шпиндельных узлов всегда приводит к увеличению тепловыделения в опорах, которое не может превышать определенного уровня, и принятие окончательного решения всегда требует компромисса.

Улучшение любой технической характеристики машины (скорости, грузоподъемности, точности, надежности, производительности и др.) неизбежно вызывает увеличение ее стоимости, трудоемкости изготовления, часто требует другого уровня обслуживания и повышения культуры эксплуатации, что всегда приводит к компромиссным решениям.

Тенденция современных машиностроительных производств к концентрации операций постоянно требует от проектировщика решения задачи рационального сочетания технологических возможностей и усложнения конструкций оборудования. Избыточность технологических возможностей может быть не оправдана экономически.

Увеличение надежности машины почти всегда сопровождается ее усложнением и удорожанием. Выбор опор и направляющих, обеспечивающих незначительный износ, применение новых материалов, специальных покрытий, смазок, термообработки повышают трудоемкость изготовления и стоимость машины. Далеко не всегда ясно, *что* экономически целесообразнее – удорожать механизм или машину изначально либо совершенствовать систему обслуживания и ремонта в период эксплуатации. Компромисс заключается в обеспечении в первую очередь надежности наиболее ответственных деталей и узлов машины.

Принцип преемственности. Практически любые механизмы и машины являются продуктом эволюции, и в них всегда имеются элементы, детали и узлы, разработанные ранее. Соблюдение преемственности является одним из эффективных путей снижения затрат и сокращения сроков создания машины.

Хорошо отработанные элементы и узлы нет нужды заменять, и в одной машине прекрасно могут сосуществовать «новое» и «старое». Изыскание новых принципов построения механизмов и машин не является, как правило, задачей конструирования. *Суть проектирования – обеспечение требуемых характеристик машины, а не погоня за оригинальностью*. Преемственность определяется самой логикой последовательного развития машин. Модернизация, систематическое совершенствование позволяют поддерживать показатели выпускаемых машин на уровне постоянно возрастающих требований в течение определенного времени без коренной переработки конструкции. Например, ведущие автомобильные фирмы выпускают принципиально новую модель только раз в 8–10 лет.

Вопрос заключается в том, как *наиболее рационально сочетать новое со старым*. Это зависит как от качества отработки отдельных проектных решений (стоит ли заменить), так и от уровня технологической подготовки производства (можем ли заменить). На этом пути существуют две основные опасности: консерватизм, влекущий за собой добровольный отказ от творческого поиска и приводящий к необъективной критике новых решений и отказу от них, и психологическая инерция, ослабляющая

самоконтроль, в результате чего конструктору очень трудно отрешиться от своего решения, так как он находится в плену идеи.

Преемственность при проектировании имеет несколько аспектов:

– приверженность фирм к определенным, отработанным годами решениям (в области компоновки, конструкции узлов, дизайна и т. п.). Это то, что определяет «почерк» фирм, и они весьма неохотно расстаются со своими традиционными решениями, часто связанными с «ноу-хау» и даже иногда носящими названия фирм;

– индивидуализация конструкций механизмов и машин не должна распространяться на все элементы и узлы. Модули могут и должны использоваться для различных моделей;

– конструктивная преемственность дает возможность увеличить эффективность разработки за счет использования модулей и унифицированных элементов и узлов;

– степень заимствования определяется на концептуальном уровне и зависит от возможности принятия своих и чужих технических решений в неизменном или модифицированном виде, реальных возможностей проектировщика, определяемых квалификацией, сроками и другими обстоятельствами.

Работающая сложная система неизбежно оказывается результатом работающей простой системы. Сложная система, разработанная на бумаге от начала и до конца, как правило, никогда не работает, и ее невозможно заставить работать. Всегда надо начинать с работающей простой системы.

3.2. Схема процесса проектирования

Стадии проектирования – наиболее крупные части проектирования процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяются стадии научно-исследовательских работ (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ, технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов или опытных партий. Стадию НИР иногда называют предпроектными

исследованиями, или стадией технического предложения. Очевидно, что по мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают. Рабочий проект должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов. Близким к определению стадии, но менее четко оговоренным понятием является понятие этапа проектирования.

Стадии (этапы) проектирования подразделяют на составные части, называемые ***проектными процедурами***. Примерами проектных процедур могут служить подготовка деталировочных чертежей, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи.

В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые ***проектными операциями***. Например, при анализе прочности детали сеточными методами могут быть построены сетки, произведены выбор или расчет внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов моделирования в графической и текстовой формах. Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур – ***маршрутов проектирования***.

На рис. 3.1 показана укрупненная схема процесса проектирования.

Рис. 3.1. Укрупненная схема процесса проектирования

Техническая разработка системы начинается с определения нужд потенциального пользователя разрабатываемой системы. Часто оказывается, что пользователь желает иметь систему, выполняющую данную работу, однако испытывает трудности при количественной формулировке своих потребностей и целей.

Поэтому у инженера и пользователя возникает дополнительная задача количественного воплощения целей системы так, чтобы была определена содержательная совокупность целевых функционалов для последующей разработки (проверка и составление полных входных данных).

Коль скоро потребности и цели системы определены, необходимо дать количественное описание функций, которые должны выполнять система и любая требуемая подсистема. Эта процедура называется анализом функций. Его цель состоит в выборе функций, или операций, которые должны быть проведены для выполнения задачи, требуемой от разрабатываемой системы. Эти функции становятся затем целями низшего уровня для разработки подсистем. Определение функций по своей природе носит качественный характер. Однако коль скоро функция или операция определена, она должна быть описана в количественных терминах. Например, если операцию нужно провести быстро, необходимо оговорить допустимое время.

Следующий шаг, показанный на рис. 3.1, является одним из наиболее трудных этапов в технической разработке системы и, конечно, самым трудным шагом для аналитического описания. Концептуальное проектирование, как видно из названия, состоит в определении концепций, или основных конфигураций системы, которые могут удовлетворить целям системы. На этом шаге желательно оставить концепции по возможности в общем виде, с тем чтобы не исключить кандидатуры систем, которые могут оказаться эффективными. Например, если операция, подлежащая выполнению, есть продвижение летательного аппарата над поверхностью Земли, то концептуальные проекты могут включать в себя проектирование колес, направляющих, стоек и воздушной подушки. На этом этапе процесса проектирования важно определить границы приемлемых значений параметров, описывающих систему. Для параметров проектирования в пределах этих значений система должна уметь выполнять функции, определенные на предыдущем шаге.

Пусть мы имеем дело с оптимальным проектом, для которого целью является выбор неопределенных параметров, введенных

на предыдущем шаге (оптимальное проектирование). Эти параметры должны быть в пределах, определяемых технологическими ограничениями и назначением системы. Критерием выбора параметров системы является максимизация стоимости системы или минимизация меры затрат. Следует особо отметить, что математически точный оптимум может оказаться недостижимым и, следовательно, служить лишь ориентиром. Однако методы выбора параметров системы должны обладать таким свойством, что если оптимум существует, то при достаточном терпении и заданном машинном времени он должен быть в пределе достижим.

То что является последним шагом в модели технической разработки системы на рис. 3.1 (описание оптимальной системы), в действительности оказывается промежуточным шагом. До тех пор пока процедура проектирования системы не станет исключительно эффективной, система, предложенная группой разработчиков, не будет удовлетворять заказчика. Получив результаты одного прохождения через процедуру проектирования системы, заказчик, вероятно, вспомнит некоторые ограничения, которые он забыл описать и которые оптимальная система нарушает. Проектировщик также может найти привлекательные решения, которых он ранее не видел. Он опять-таки в большей мере, чем заказчик, вспомнит технологические ограничения, которые он забыл описать и которые оптимальная система нарушает. Наконец, заказчик, несомненно, решит, что неплохо бы уменьшить на малую величину уровни качества системы, если это приведет к экономии денег.

На следующем шаге процедуры каждый участник группы должен сделать глубокий вдох и вернуться к работе, вооруженный добытыми с трудом новыми знаниями. Именно с этой целью указаны все каналы обратной связи в модели на рис. 3.1. Эта итеративная процедура продолжается до тех пор, пока заказчик не решит, что предлагаемая система является той, в которой он действительно нуждается. Это будет еще одно решение, принимаемое человеком, но математически не запрограммированное.

Основные стадии и процедуры процесса проектирования показаны на рис. 3.2. Разделение процесса проектирования на последовательные стадии (этапы) является в известной степени

условным, поскольку в процессе проектирования пересматриваются и уточняются ранее принятые решения.

Прокомментируем основные стадии проектирования. ***Техническое задание*** (ТЗ) обосновывает те новые качества, которыми должен обладать проектируемый объект, и является наряду с техническим предложением итогом предпроектной подготовки. ТЗ устанавливает основное назначение объекта, обосновывает целесообразность его создания и регламентирует все основные технические характеристики (требования).

В процессе подготовки ТЗ разрабатывается основная концепция проектирования. Разработкой концепции занимается небольшая по численности группа проектантов высшей квалификации.

Техническое предложение формулирует принятую концепцию, уточняя и развивая техническое задание. Оно состоит из совокупности конструкторских документов, необходимых для дальнейшего проектирования. Техническое предложение обеспечивает и уточняет технические характеристики проектируемой машины и диапазоны эксплуатационных нагрузок и скоростей. На этом этапе выбирают окончательный вариант компоновки машины, ее узлов и агрегатов, пользуясь результатами анализа, синтеза и оптимизации вариантов компоновок, и разрабатывают принципиальные схемы машины: кинематическую, гидравлическую, пневматическую, электрическую и др., а также принимают тип и характеристики системы управления, определяют общие габаритные размеры.

Техническое предложение дает полное представление о компоновке и возможностях проектируемых механизмов или машин.

Эскизный проект содержит предварительную конструкторскую проработку всех основных узлов и является развитием технического предложения. Он базируется на анализе различных конструкторских решений, результатах расчетов, оптимизации важнейших параметров и характеристик машины.

При конструировании машины, ее узлов и систем следует максимально использовать стандартные и унифицированные детали, механизмы и элементы, что удешевляет проектируемую машину.

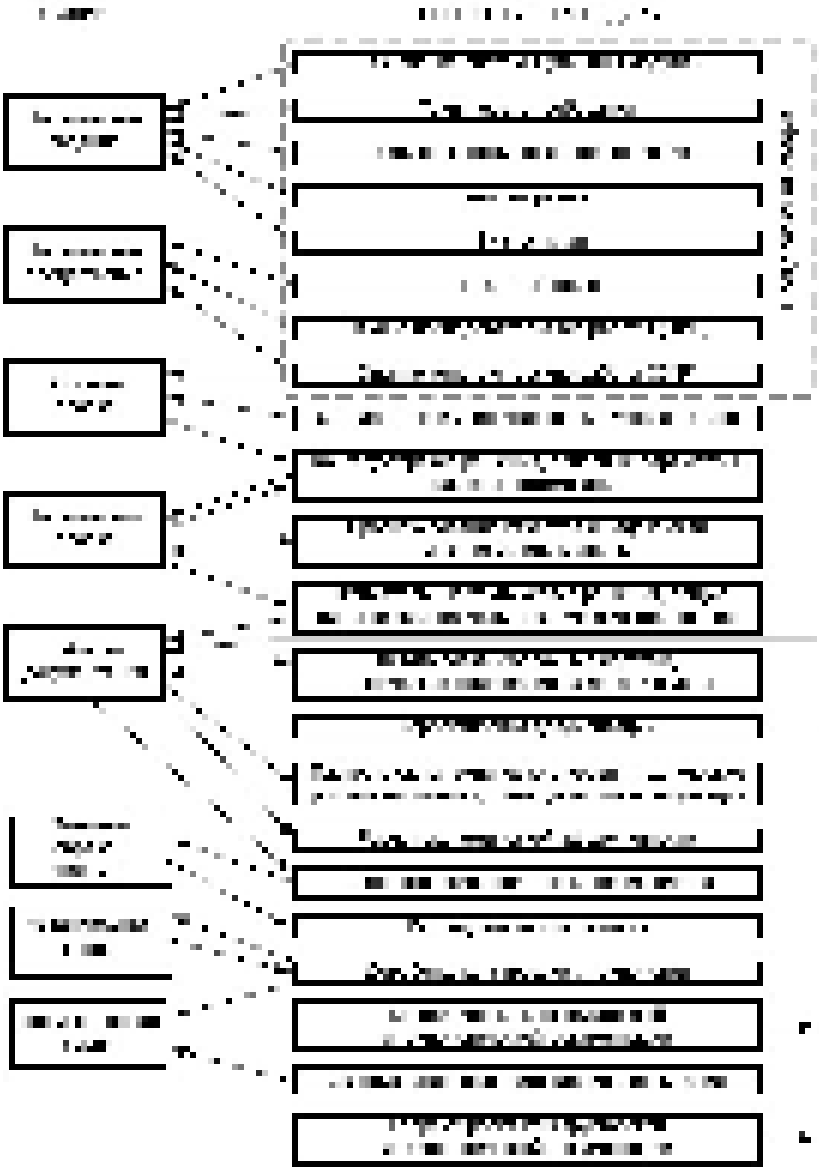


Рис. 3.2. Стадии и процедуры процесса проектирования

Каждое конструкторское решение должно быть обосновано результатами расчетов, рассмотрено с точки зрения обеспечения качества и надежности функционирования проектируемой машины, технологичности изготовления и сборки, удобства эксплуатации, ремонтопригодности и т. д.

Технический проект включает в себя окончательную конструкторскую проработку всех узлов, чертежей, схем машины и ее общих видов. На этом этапе производят все виды уточненных и поверочных расчетов, оптимизируют необходимые параметры узлов и систем машины, окончательно определяют ее эффективность; прогнозируют выходные характеристики и оценивают надежность машины с учетом вероятностной природы режимов ее эксплуатации. Проект должен содержать все исходные данные, необходимые для разработки комплекта технической документации на проектируемый механизм или машину, его согласовывают и утверждают в установленном порядке.

Рабочая документация – завершающий этап проектирования. Он включает в себя разработку рабочих чертежей всех оригинальных деталей и простановку технических требований на их изготовление, составление технологической документации, корректировки (в случае необходимости) технического проекта, составление спецификаций оригинальных и покупных комплектующих деталей, формирование паспорта машины, карты технического уровня, инструкции по эксплуатации и ряда других документов. Рабочая документация должна содержать все данные, необходимые для изготовления проектируемого механизма или машины. Выпуск рабочей документации существенно упрощается при применении САПР.

После завершения разработки комплекта рабочей документации осуществляются ***технологическая подготовка производства*** и последующие этапы изготовления и отладки спроектированной машины. В ряде случаев для сокращения сроков выпуска новой техники технологическую подготовку производства начинают заранее до завершения выпуска комплекта рабочей документации. Применение техники CAD/CAM значительно сокращает сроки подготовки производства.

3.3. Системный подход к проектированию

В лекции 1 было отмечено, что наиболее общим подходом к проектированию мехатронных систем является системный подход. В системотехнике можно выделить три подхода к процессу проектирования: структурный, блочно-иерархический и объектно-ориентированный.

Блочно-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции описания сложных систем на иерархические уровни, вводит понятие стиля проектирования, устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

В лекции 1 отмечено, что для большинства приложений характерны три иерархических уровня: *системный*, *макроуровень* и *микроуровень*. В каждом – приложение наименований уровней и их число может быть различным (в радиотехнике, вычислительной технике, машиностроении и т. д.). Например, в машиностроении имеются уровни: деталей, узлов, машин и комплексов машин.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают ***нисходящее***, ***восходящее*** и ***смешанное*** проектирование (стили проектирования).

Восходящее проектирование предполагает решение задач от нижних уровней к верхним. ***Нисходящее*** проектирование – от верхних к нижним. ***Смешанный стиль*** имеет элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочтение отдают нисходящему проектированию, но часто используют и смешанное.

Неопределенность и нечеткость исходных данных при нисходящем проектировании (так как еще не спроектированы компоненты) или исходных требований при восходящем проектировании (поскольку техническое задание имеется на всю систему, а не на ее части) обусловливают необходимость прогнозирования недостающих данных с последующим их уточнением, т. е. последовательного приближения к окончательному решению (итерационность проектирования).

Наряду с декомпозицией описаний на иерархические уровни применяют разделение представлений о проектируемых объектах на аспекты.

Аспект описания (страта) – описание системы или ее части с некоторой оговоренной точки зрения, определяемой функциональными, физическими или иного типа отношениями между свойствами и элементами.

Различают ***функциональный***, ***информационный***, ***структурный*** и ***поведенческий*** (процессный) ***аспекты***.

Функциональное описание относят к функциям системы и чаще всего представляют его функциональными схемами.

Информационное описание включает в себя основные понятия предметной области (сущности), словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов, а также описание связей между этими понятиями и характеристиками. Информационные модели можно представлять графически (графы, диаграммы *сущность – отношение*), в виде таблиц или списков.

Структурное описание относится к морфологии системы, характеризует составные части системы и их межсоединения и может быть представлено структурными схемами, а также различного рода конструкторской документацией.

Поведенческое описание характеризует процессы функционирования (алгоритмы) системы и (или) технологические процессы создания системы.

Иногда аспекты описаний связывают с подсистемами, функционирование которых основано на различных физических процессах.

Отметим, что в общем случае выделение страт может быть неоднозначным. Так, помимо указанного подхода очевидна целесообразность выделения таких аспектов проектирования, как *функциональное* (разработка принципов действия, структурных, функциональных, принципиальных схем), *конструкторское* (определение форм и пространственного расположения компонентов изделий), *алгоритмическое* (разработка алгоритмов и программного обеспечения) и *технологическое* (разработка технологических процессов) проектирование систем. Примерами страт в случае САПР могут служить также рассматриваемые далее виды обеспечения автоматизированного проектирования.

Структурный подход к проектированию требует синтезацию вариантов системы из компонентов (блоков, модулей) и оценку этих вариантов (предварительно спрогнозировав характеристики компонентов). Он основан на идее алгоритмической декомпозиции (по методу «сверху-вниз»), где каждый блок (модуль) системы выполняет один из этапов общего процесса проектирования. Таким образом, представление о проектируемой системе расчленяется на отдельные блоки (модули), являющиеся частями алгоритма функционирования системы.

Структурный подход включает в себя создание структуры проектируемой системы и расчет ее параметров. Эти две части подхода называют *структурным и параметрическим синтезом* системы (как это было сказано в лекции 1). Задачи структурного синтеза относятся к задачам проектирования, наиболее сложным с точки зрения возможности их формализации.

Результатом структурного синтеза должны быть или перечень типов элементов вместе с таблицей соединений, или схема расположения элементов с указанием их типа, или эскизный чертеж, или схема алгоритма и т. п. Структурный синтез обычно осуществляется по блочно-иерархическому принципу. Это означает, что синтезируется не вся сложная система целиком, а на каждом уровне проектирования синтезируется определенный уровень системы – структурная схема (элементы изображения устройств), далее функциональная схема и конструкции устройств (элементы, блоки), затем более мелкие функциональные и конструктивные единицы. Такой подход существенно упрощает решение задачи синтеза.

Параметрический синтез систем обычно реализуют с помощью методов и алгоритмов оптимизации. Однако для непрерывных систем (когда управляемые параметры непрерывны и могут принимать любые значения в пределах непрерывной допускаемой области) и для дискретных систем (с дискретными внутренними параметрами) методы оптимизации имеют существенное отличие. Задачи дискретной оптимизации относятся к задачам дискретного математического программирования.

Задачи дискретного программирования считаются более трудными для решения, чем задачи математического программирования с непрерывными параметрами.

Сложность решения задач синтеза систем естественно отождествлять со сложностью производственных систем. Для поддержки концептуального проектирования сложных плохо структурированных систем наиболее перспективными являются генетические методы оптимизации, экспертные системы и CASE-системы, которые будут рассмотрены в последующих лекциях.

Объектно-ориентированный подход рассматривает сложную систему как совокупность взаимодействующих друг с другом объектов, каждый из которых является экземпляром отдельного класса. Такой подход наиболее перспективен при проектировании и моделировании сложных систем.

При структурном подходе жизненный цикл разработки сложной системы складывается из этапов анализа, проектирования, программирования, тестирования и сопровождения, которые выполняются последовательно. Главным недостатком такого подхода является последовательность выполнения этапов. Например, программирование можно начать только по завершении анализа и проектирования. Это приводит к большим потерям времени, не позволяет быстро разрабатывать прототипы программной системы. Этот подход не согласуется с интерактивным характером разработки программной системы, поскольку на последних этапах может выясниться необходимость внесения изменений в решения, принятые на предыдущих этапах (см. лекцию 1).

В целом структурному подходу присущи следующие недостатки [6]:

– трудоемкость внесения изменений;

– большой объем документации по проекту;

– серьезные ограничения возможностей сборки системы из готовых компонентов;

– сложность переноса на другие платформы.

Стремление избавиться от недостатков структурного подхода, базирующегося на системном анализе, привело к возникновению объектно-ориентированного анализа (ООА). В ООА такие понятия, как система, структура, состояние, иерархия, событие,

сущность, пришедшие из системотехники, были дополнены новыми понятиями, такими как *домен, класс, объект, атрибут, наследственность, инкапсуляция, полиморфизм* и др.

Долгое время объектно-ориентированный подход (ООП) (на базе ООА) развивался почти исключительно программистами, хотя в начале он предназначался для моделирования (проектирования) сложных систем и использовался в языке моделирования Simula-67. Своеобразным итогом многолетнего развития объектно-ориентированного программирования можно считать появление «унифицированного языка моделирования» UML (Unified Modeling Language).

Только в последние годы ООП стал востребованным в своей первоначальной области – моделировании. Для его реализации наиболее известны пакеты Simulink и Stateflow, работающие вместе с Matlab.

Рассмотрим несколько основополагающих понятий объектно-ориентированного анализа (ООА): ***сущность, связь, атрибут***.

Под *сущностью* (entity) понимается произвольное множество реальных или абстрактных объектов, каждый из которых обладает одинаковыми свойствами и характеристиками. В этом случае каждый рассматриваемый объект может являться экземпляром одной и только одной сущности, должен иметь уникальное имя или идентификатор, а также отличаться от других экземпляров данной сущности. Примерами сущностей могут быть: предприятие, фирма, цех, банк, клиент банка, технология, компьютер, рейс. Каждая из сущностей может рассматриваться с различной степенью детализации, что определяется конкретной постановкой задачи.

Связь (relationship) определяется как отношение или некоторая ассоциация между отдельными сущностями. Примером связей могут быть родственные отношения типа «отец – сын» или производственные отношения «начальник – подчиненный». Другой тип связей задается отношениями «иметь в собственности», «обладать свойством» или «быть частью».

Атрибут – это каждая отдельная характеристика, которая является общей для всех возможных экземпляров объекта.

Атрибутами являются такие характеристики, как высота, температура, регистрационный номер или положение предметов в реальном мире.

Чтобы обратиться к атрибуту, пишут <имя объекта>, <имя атрибута>, как например:

– самолет, размах крыла;

– листопрокатный стан, 1500;

– аудитория, лекционная.

Фундаментальными понятиями объектно-ориентированного подхода являются понятия *объекта*, *класса*, *домена*. *Объекты* – конкретные предметы, а также абстрактные и реальные сущности в реальном мире, а точнее, в интересующей разработчика предметной области. Например, объектами могут быть: студент, кафедра, университет. Объект обладает индивидуальностью и поведением, имеет атрибуты, значение которых определяют его состояние. Так, конкретный студент, сдавая экзамен, может оказаться в состоянии, когда его ответы не удовлетворяют экзаменатора, а его «поведение» в этом случае заключается в «дополнительной подготовке к экзамену».

Класс – это абстрактная совокупность объектов, которые имеют общий набор свойств и обладают одинаковым поведением. Понятие класса впервые было введено в язык UML. Объекты и классы обладают характерными свойствами, которые активно используются при объектно-ориентированном подходе и во многом определяют его преимущество. К важной особенности классов относится возможность их организации в виде некоторой иерархической структуры.

Домен – отдельная предметная область, «населенная» набором объектов, которые ведут себя в соответствии с правилами домена. Большие домены разбивают на подсистемы.

Основными принципами объектно-ориентированного подхода являются: *наследование*, *инкапсуляция* и *полиморфизм*.

Наследование – первый принцип, в соответствии с которым знание о более общей категории разрешается применять для более частной категории. Наследование тесно связано с иерархией классов, которая определяет, какие классы следует считать

наиболее абстрактными и общими по отношению к другим классам. При этом если родительский класс (предок) обладает фиксированным набором свойств и поведением, то производный от него класс (потомок) должен содержать этот же набор свойств и поведение, а также дополнительные свойства, которые будут характеризовать уникальность полученного таким образом класса. В качестве примера можно привести общий класс «Автомобиль», а в качестве производных классов рассмотреть «Легковой автомобиль», «Легковой автомобиль производства BMW», «Конкретную модель BMW». Наследование, позволяющее создавать иерархию классов, является эффективным средством внесения изменений и дополнений в программы проектируемых систем.

Инкапсуляция – это сокрытие отдельных деталей внутреннего устройства классов от внешних по отношению к нему объектов или пользователей. Объекты можно считать самостоятельными сущностями, отделенными от внешнего мира. Для того чтобы объект произвел некоторое действие, ему извне необходимо послать сообщение, которое инициирует выполнение нужного действия. Инкапсуляция позволяет изменять реализацию любого класса объектов без опасения, что это вызовет нежелательные побочные эффекты в программной системе. Тем самым упрощается процесс исправления ошибок и модификацию программ.

Полиморфизм – это свойство некоторых объектов принимать различные внешние формы в зависимости от обстоятельств. Применительно к объектно-ориентированному программированию (ООП) полиморфизм означает, что действия, выполняемые одноименными методами, могут отличаться в зависимости от того, к какому из классов относится тот или иной метод [7]. Рассмотрим, например, три объекта соответствующих классов: «Студент», «Водитель», «Фигурист». Для каждого из них можно определить операцию учиться. Однако результат выполнения этой операции будет отличаться для каждого из рассмотренных объектов.

Методология ООП оказала влияние на процесс разработки программ. *Процедурно-ориентированная декомпозиция* программ уступила место *объектно-ориентированной декомпозиции*, при которой отдельными структурными единицами программы стали

являться не процедуры и функции, а классы и объекты с соответствующими свойствами и методами (действиями). Программа стала *событийно-управляемой* и перестала быть последовательностью предопределенных на этапе кодирования действий. При разработке современных приложений каждая программа представляет собой бесконечный цикл ожидания некоторых заранее определенных событий. При этом инициаторами событий могут быть другие программы или пользователи.

При использовании методологии ООП написание программного кода может быть отделено от процесса проектирования структуры программы. До начала программирования классов, их свойств и методов необходимо определить, чем же являются сами эти классы. Более того, нужно дать ответы на такие вопросы, как: сколько и каких классов необходимо определить для решения поставленной задачи, какие свойства и методы необходимы для придания классам необходимого поведения, а также установить взаимодействие между классами. Таким образом, анализ предметной области решаемой задачи необходимо проводить до начала написания программы.

Жизненный цикл объектно-ориентированной разработки программных систем содержит несколько этапов, но в отличие от структурного подхода в нем нет строгой последовательности их выполнения. Процесс носит принципиально итерационный характер, что значительно упрощает написание программ [6].

Разработка начинается с этапа исследования (объектно-ориентированного анализа). Здесь предъявляются требования к системе. Затем осуществляется анализ предметной области, в ходе которого определяются классы и объекты, которые составляют словарь предметной области.

После исследования начинается объектно-ориентированное проектирование, в ходе которого детализируются классы и объекты, полученные на этапе анализа. При этом могут вводиться новые классы и объекты, если это потребуется. В результате проектирования должна быть создана детальная модель системы, составлены спецификации объектов, классов и отношений, достаточных для программирования.

Для разработки программных систем используются инструментальные средства CASE-систем, такие как SADT – Structured Analysis and Design Technique, IDEF – Integrated DEFinition и UML. Эти средства будут рассмотрены в последующих лекциях.

В отличие от процедурно-ориентированного подхода к программированию, в объектно-ориентированном подходе к моделированию и проектированию реальных физических систем различного назначения полиморфизмом называется возможность использования вместо объектов одного декларированного класса объектов другого класса, называемого замещающим, совместного с первым. Совместимость классов означает, что либо замещающий класс является потомком декларированного класса, либо декларирован интерфейс, а замещающий класс реализует этот интерфейс. Таким образом, можно выделить «совместимость по наследованию» и «совместимость по интерфейсу». Под интерфейсом в объектно-ориентированном моделировании (ООМ) следует понимать некоторую совокупность видимых компонентов объекта, т. е. для блока (на структурной схеме объекта) – это внешние переменные и видимые извне процедуры и функции. Таким образом, если блок (замещающего класса) содержит совокупность видимых компонентов с теми же именами, что в декларации интерфейса, и с совместимыми типами, то блок реализует этот интерфейс. Каждый блок неявно задает определенный интерфейс – совокупность всех своих внешних компонентов [8].

Особенность процесса разработки современных сложных систем состоит в том, что центр тяжести работ смещается от программирования к более ранним этапам – анализу и проектированию.

Рассмотрим основные преимущества объектно-ориентированного подхода [6]:

– *распараллеливание работ* (программирование и тестирование отдельных компонентов системы возможно до завершения проектирования, возможность внесения изменений и дополнений без переработки проекта);

– *гибкость архитектуры и переносимость* (в клиент-серверной системе объекты могут размещаться как на местах клиента,

так и на сервере. Возможность реализации классов на компьютерах различного типа, а фиксированный интерфейс каждого класса обеспечивает правильность функционирования системы);

– *возможность повторного использования программных компонентов* (библиотеки классов позволяют значительно снизить объем программирования новых приложений);

– *естественность описания* (использования естественного языка описания предметной области, легко выделяются объекты и связи между ними) [6].

Основные недостатки объектно-ориентированного подхода [6]:

– объектно-ориентированная декомпозиция заметно отличается от алгоритмической, что влечет за собой необходимость преодоления психологических трудностей и дополнительные расходы на обучение новой методике и языку программирования;

– основные недостатки объектно-ориентированного подхода лежат в области программирования: активное динамическое создание и удаление новых объектов (что широко используется в объектно-ориентированных языках);

– многочисленность методов и их излишние вызовы (для доступа к многим атрибутам объектов используются специальные методы).

Однако надо иметь в виду, что при использовании традиционных технологий некоторые результаты можно получить и при сравнительно небольших затратах, но на определенной стадии наступает насыщение, когда даже значительные дополнительные затраты не приводят к существенному повышению эффективности.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «проектирование».

2. Дайте развернутую характеристику подходов к проектированию сложных технических систем.

3. Сформулируйте основные принципы проектирования.

4. Опишите укрупненную схему процесса проектирования сложных систем.

5. Назовите основные стадии и процедуры процесса проектирования.

6. Прокомментируйте содержание основных стадий процесса проектирования.

7. Прокомментируйте содержание основных процедур процесса проектирования.

8. Опишите назначение и порядок проведения предпроектной стадии проектирования.

9. Опишите блочно-иерархический подход к проектированию сложных систем (стили проектирования, аспекты описания).

10. Дайте характеристику структурному подходу к проектированию сложных систем (две части структурного подхода).

11. Укажите основные недостатки структурного подхода к проектированию.

12. Сформулируйте основные принципы необходимости объектно-ориентированного подхода к проектированию сложных систем.

13. Рассмотрите основные понятия объектно-ориентированного анализа (ООА).

14. Опишите фундаментальные понятия объектно-ориентированного подхода.

15. Сформулируйте основные принципы объектно-ориентированного подхода.

16. Укажите основные преимущества и недостатки объектно-ориентированного подхода.

Лекция 4
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В лекции 1 (п. 1.1) было сказано, что в состав развитых машиностроительных систем автоматизированного проектирования (САПР) на этапах проектирования и подготовки производства входят в качестве составляющих системы CAD, CAE и CAM.

4.1. Общая характеристика систем автоматизированного проектирования

Рассмотрим основные функции автоматизированных систем CAD, CAE и CAM на этапах проектирования и подготовки производства.

CAD – автоматизированное проектирование – представляет собой компьютерную технологию для облегчения создания, изменения, анализа и оптимизации проектов. Наиболее важным компонентом CAD являются системы автоматизированной разработки рабочих чертежей и системы геометрического моделирования. Кроме того, CAD используется для оптимизации и анализа, имеет программы для анализа допусков, расчета массинерциальных свойств, моделирования методом конечных элементов и визуализации результатов анализа.

CAM – автоматизированное производство – это компьютерная технология для планирования, управления и контроля операций производства через прямой и косвенный интерфейс с производственными ресурсами предприятия. CAM используется для числового программирования управления станками с ЧПУ

и роботами, работающими на гибких автоматизированных участках. В задачах планирования производства CAM стыкуется с автоматизированной системой *MRP* и *ERP* через систему *PDM* (*MRP – material requirement planning* – планирование технических требований к материалам).

CAE – автоматизированное конструирование – это компьютерная технология для анализа геометрии деталей, моделирования и изучения поведения изделий для усовершенствования и оптимизации их конструкций. Средства CAE могут осуществлять множество различных вариантов анализа (кинематические расчеты, динамический анализ, расчет напряжений методом конечных элементов – *FEM – finite-element method*). Метод FEM рассчитывает теплообмен, распределение магнитных полей, потоков жидкости и другие задачи с непрерывными средами. Для применения метода FEM необходима аналитическая модель объекта подходящего уровня.

CAE наиболее эффективно используется на стадии анализа и оптимизации конструкции.

Функции CAD-систем

Функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на функции двумерного и трехмерного проектирования. К функциям *2D* относят черчение, оформление конструкторской документации; к функциям *3D* – получение трехмерных геометрических моделей, метрические расчеты, реалистичную визуализацию, взаимное преобразование *2D*- и *3D*-моделей. В ряде систем предусмотрено также выполнение процедур, называемых процедурами позиционирования. К ним относят компоновку и размещение оборудования, проведение соединительных трасс.

Среди CAD-систем различают системы нижнего, среднего и верхнего уровней. Первые из них иногда называют «легкими» системами, они ориентированы преимущественно на *2D*-графику, сравнительно дешевы, основной аппаратной платформой для их использования являются персональные ЭВМ. Системы верхнего уровня, называемые также «тяжелыми», дороги,

более универсальны, ориентированы на геометрическое твердотельное и поверхностное *3D*-моделирование, оформление чертежной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трехмерных геометрических моделей. Системы среднего уровня по своим возможностям занимают промежуточное положение между «легкими» и «тяжелыми».

К важным характеристикам CAD-систем относятся параметризация и ассоциативность. Параметризация подразумевает использование геометрических моделей в параметрической форме, т. е. при представлении части или всех параметров объекта не константами, а переменными. Параметрическая модель, находящаяся в базе данных, легко адаптируется к разным конкретным реализациям и поэтому может использоваться во многих конкретных проектах. При этом появляется возможность включения параметрической модели детали в модель сборочного узла с автоматическим определением размеров детали, диктуемых пространственными ограничениями. Эти ограничения в виде математических зависимостей между частью параметров сборки отражают ассоциативность моделей.

Параметризация и ассоциативность играют важную роль при проектировании конструкций узлов и блоков, состоящих из большого числа деталей. Действительно, изменение размеров одних деталей оказывает влияние на размеры и расположение других. Благодаря параметризации и ассоциативности изменения, сделанные конструктором в одной части сборки, автоматически переносятся в другие части, вызывая изменения соответствующих геометрических параметров в этих частях.

CAD-системы геометрического моделирования делятся на *каркасные*, *поверхностные*, *твердотельные* и *немногообразные* [9].

Каркасное моделирование (wireframe modeling systems) представляют форму тела в виде набора характеризующих ее линий и конечных точек. Визуальная модель представляет собой каркасный чертеж формы, а соответствующее математическое описание представляет набор уравнений кривых, координат точек и сведений о связности кривых и точек (принадлежность точек

к конкретным кривым, а также пересечение кривых друг другом). Однако эта модель не содержит сведений о внутренних и внешних поверхностях объекта, что не позволяет рассчитать массу объекта.

В *системах поверхностного моделирования* (surface modeling systems) математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точек, как в каркасном моделировании, но и данные о поверхностях. При работе с отображаемой на экране моделью изменяются уравнения поверхностей, кривых и координат конечных точек. Существует три стандартных метода создания поверхностей в системах поверхностного моделирования:

– интерполяция входных точек;
– интерполяция криволинейных сеток;
– трансляция и вращение заданной кривой.

Системы твердотельного моделирования (solid modeling systems) предназначены для работы с объектами, состоящими из замкнутого объема или монолита (solid). Системы линий и поверхностей должны образовывать замкнутый объем, т. е. объем тела полностью заполнен материалом. Математическое описание объекта, созданного в системе твердотельного моделирования, содержит сведения, по которым система может определить, где находится какая-либо точка: внутри объекта, снаружи него или на его границе.

Немногообразные системы моделирования (nonmanifold modeling systems) позволяют использовать каркасные, поверхностные, твердотельные и сотовые (а также другие немногообразные) модели одновременно в одной и той же системе моделирования, расширяя диапазон доступных моделей сверх возможностей любой из упомянутых систем. К сожалению, обычные системы геометрического моделирования (каркасные, поверхностные, твердотельные) не поддерживают моделирование немногообразных моделей.

Более подробно системы геометрического моделирования описаны в [9].

Функции CAM-систем

Основные функции CAM-систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчет норм времени обработки.

Другая важная функция CAM – программирование роботов, которые могут работать в гибких производственных системах и на автоматизированных участках. Еще одна важная функция CAM состоит в автоматизации *технологической подготовки производства* (Computer Aided Process Planning – CAPP). Автоматизация технологической подготовки производства связывает проектирование и производство и позволяет достигнуть полную интеграцию CAD и CAM.

CAPP составляет основу CAM и выполняет синтез технологических процессов и программ для оборудования с ЧПУ, а также выбор оборудования, оснастки, инструмента, расчет норм времени и т. п.

Технология подготовки производства (CAPP) заключается в выборе технологических процессов и их параметров, а также оборудования для реализации этих процессов. Технологическую подготовку можно определить также, как составление подробных технологических инструкций для станка или сборщика агрегата, изделий.

Автоматизированный подход к подготовке производства реализуется в виде *модифицированного подхода* (variant approach) или *генеративного подхода* (generative approach).

Модифицированный подход называется так потому, что он является модификацией неавтоматизированного (традиционного) планирования производства, выполняемого вручную: технолог пользуется не только своей памятью, но и памятью компьютера. Другими словами, рабочий журнал технолога хранится в компьютерном файле.

Типичный технологический план производства подобной детали может автоматически извлекаться из такого файла после описания анализируемой детали в соответствии с определенной системой кодирования. Выбранный план производства может редактироваться в интерактивном режиме; в него вносятся поправки, соответствующие специфике конкретной детали. Таким образом, модифицированный подход требует наличия базы данных со стандартными планами производства для каждого семейства деталей. Такой план должен содержать все инструкции, которые будут входить в план производства любой детали из данного семейства. Детали классифицируются по семействам на основании концепции групповой технологии. Согласно этой концепции каждой детали присваивается код, зависящий от ее элементов, после чего детали группируются в семейства в соответствии с присвоенными кодами. О групповой технологии будет рассказано в другом разделе.

Итак, модифицированный подход к разработке плана производства выражается в следующем. Технологическая подготовка производства новой детали начинается с кодирования ее особенностей, что эквивалентно описанию детали на языке группой технологии. Затем деталь может быть отнесена к какому-либо семейству на основании ее кода, после чего из базы данных извлекается стандартный план производства для деталей этого семейства. В плане содержатся общие инструкции по производству любых деталей семейства, поэтому может потребоваться его редактирование для получения плана нужной детали.

Редактирование осуществляется средствами компьютерной системы. Часто изменения оказываются незначительными, потому что новый план представляет собой лишь небольшую модификацию стандартного. Благодаря этому на этапе подготовки плана экономится время, а готовые планы оказываются гораздо более последовательными, чем разрабатываемые вручную.

Если деталь нельзя отнести к одному из существующих семейств, технолог может разработать новый стандартный план производства в интерактивном режиме.

Генеративный подход (generative approach) состоит в том, что технологический план вырабатывается автоматически на основании технических требований к детали. В технические требования должны включаться подробные сведения о материале, особенностях обработки и предлагаемых методиках проверки, а также графическое изображение формы детали.

На первом этапе разработки плана производства новой детали при генеративном подходе технические требования вводятся в компьютерную систему. В идеале они должны считываться непосредственно из базы данных САПР. Для этого необходимо, чтобы автоматизированная система технологической подготовки могла распознавать элементы детали, требующие машинной обработки, такие как отверстия, пазы и выемки.

Реализация первого этапа значительно упрощается, если при моделировании детали используется объектно-ориентированный подход. Однако даже конструктивные элементы, используемые в системе объектно-ориентированного моделирования, могут потребовать преобразования к элементам, которые могут быть изготовлены машинной обработкой.

Некоторые конструктивные элементы однозначно сопоставляются с технологическими, тогда как преобразования других представляют собой не совсем обычную процедуру. Кроме того, информации об элементах, вообще говоря, недостаточно для технологической подготовки производства. Например, большинство моделей CAD не содержат сведений о допусках и материалах, и их приходится вводить вручную. При этом схема кодирования должна определять все геометрические элементы и их параметры, в частности положение, размеры и допуски. Закодированные данные сопровождаются информацией в текстовом формате. Наконец, система должна иметь сведения о форме заготовки.

На втором этапе закодированные данные и текстовая информация преобразуются в подробный технологический план производства детали. На этом этапе определяется оптимальная последовательность операций и условия их выполнения. К условиям относятся используемые инструменты, крепления, измерительные приборы, зажимы, схемы подачи и скорости обработки. Для

построения столь подробного плана производства детали произвольной сложности требуется большая база данных и сложная логическая система.

Этап технологической подготовки производства в основном сводится к решению следующих задач [1]:

– разработка технологий изготовления изделий, инструментов, приспособлений и т. д. на основе их геометрических моделей, полученных на этапе проектирования (CAD);

– подготовка программ для технологического оборудования (станков, прессов, прокатных станов и др.) с ЧПУ по спроектированным технологиям.

Программные среды, с помощью которых решаются задачи этого этапа, можно объединить в две группы. К первой из них следует отнести программные комплексы, специально разработанные для выполнения всего цикла или определенных процедур технологической подготовки производства. Среди данной группы программного обеспечения можно выделить ADEM, ArtCAM, EdgeCAM и некоторые разработки российских фирм: КОМПАС, АВТОПРОЕКТ (Аскон) – проектирование технологических процессов механообработки, штамповки, сборки, термообработки; FLEX ТехноПро (Топ Системы) – проектирование технологии механообработки, сборки, сварки, пайки, нанесения покрытий, штамповки, ковки, термообработки; СИТЕП ЛШ – листовая штамповка; TECHCARD (Интермех) – комплексная система автоматизации технологической подготовки производства; ТехноПро (Вектор) – универсальная система автоматизации технологического проектирования; SprutCAM, СПРУТ-ТП (СПРУТ-Технологии) – система автоматизированного проектирования технологических процессов и др.

Другую группу программного обеспечения составляют программные системы сквозного проектирования и технологической подготовки производства: CATIA, EUCLID3, Unigraphics, Pro/Engineer, CADDS и др.

Контроль качества управляющих программ выполняют специальные программы, например такие, как NC Simul, NC Formater и др.

В производстве машиностроительных и части приборостроительных изделий используют технологии, в основе которых лежат различные физические процессы: механообработка, электроэрозионная обработка, литье металлов и пластмасс и др.

В автоматизированных системах сквозного проектирования и подготовки производства наиболее часто реализованы следующие виды механообработки: 2,5-, 3- и 5-координатное фрезерование, токарная обработка, сверление, нарезание резьбы и др.; имеется возможность моделировать движение инструмента и снятие материала во время черновой и чистовой обработки поверхности изделия. Например, в простейшем варианте 2- и 2,5-координатной обработки поверхностей: контурная обработка, фрезерование призм и тел вращения, выборка карманов с возможностью движения «в одну сторону», зигзаг, спираль, а также нарезание резьбы и снятие фасок. В модулях 3- и 5-координатного фрезерования программных систем сквозного проектирования и технологической подготовки производства реализованы практически все возможные способы обработки поверхностей изделий, например такие, как фрезерование поверхности с управлением угла наклона инструмента, шлифующее резание с возможностью обдувки и др.

При выполнении различных видов механообработки используется общая база данных для поддержки связи между геометрической моделью обрабатываемой детали и управляющей программой для станка с ЧПУ, где проходы инструмента создают по геометрии модели. Изменение геометрии отражается в управляющей программе. Траектория движения инструмента создается интерактивно по поверхности модели изделия, благодаря чему технологи получают возможность визуально наблюдать на экране монитора имитацию процесса удаления стружки, контролировать зарезы и быстро вносить изменения в циклы обработки.

С помощью специальных функций автоматически вычисляется объем, который необходимо удалить из заготовки при обработке изделия.

В системах сквозного проектирования и технологической подготовки производства различных фирм-разработчиков реализо-

ваны свои подходы к организации программ, свои алгоритмы и методы. Более подробно эти подходы реализованы в системах верхнего уровня САПР, например в системе EUCLID3 фирмы EADS MATRA DATA VISION (Франция), которая воплотила многолетний опыт специалистов различных отраслей и считается одной из лучших в мире. В [1] описаны основные положения проектирования технологий фрезерной и токарной обработки.

Практика показывает, что предприятия по-разному подходят к созданию своих интегрированных информационных систем, предназначенных для комплексного решения задач автоматизации конструирования, инженерного анализа и технологической подготовки производства. Во многих случаях на рабочих местах конструкторов и технологов устанавливаются программные среды различных фирм-разработчиков. В этих условиях вопросы организации обмена информацией становятся актуальными. Известно, что обмен без потерь информации достигается при наличии единой базы данных для различных подсистем. Этим выгодно отличаются комплексные системы сквозного проектирования и подготовки производства верхнего уровня. В тех случаях, когда на рабочих местах устанавливаются программные среды различных фирм, организация обмена информацией ложится на самих пользователей. Поэтому важно, чтобы для таких программ были разработаны соответствующие интерфейсы с необходимой полнотой реализации форматов (CALS-технологии).

При подготовке производства также широко используется *групповая технология проектирования и подготовки производства*.

Групповая технология – это группировка задач, в основном подобных друг другу, позволяющая найти общее их решение, сэкономив тем самым время и усилия.

Это всеобъемлющее определение можно конкретизировать, определив область его применения. Суть групповой технологии состоит в создании базы данных подобных деталей, проектов и технологий и использовании этой базы для внедрения общей процедуры проектирования и производства таких деталей. Детали объединяются в семейства по конструктивному подобию

(например, по схожести форм) и по технологическому подобию (например, по необходимым операциям, таким как фрезерование или сверление).

Групповая технология широко используется для упрощения продвижения продуктов на производстве. Выделение деталей с общими технологическими параметрами позволяет разработать эффективные планы производства, выделяя для каждого семейства одну ячейку плана. Таким образом, упрощаются технологические маршруты, сокращаются временные затраты на передачу материалов между станками и длительность производственных циклов.

Более того, поскольку подобные детали производятся на одних и тех же станках, часто сокращаются и временные затраты на настройку станков. Может использоваться специальное технологическое оснащение. В предыдущем разделе отмечалось, что коды групповой технологии используются для выбора существующих планов в автоматизированной технологической подготовке производства.

Инженерам-технологам не приходится разрабатывать планы с нуля для каждой новой детали – вместо этого они могут обращаться к планам производства аналогичных деталей и изменять их в соответствии с техническими требованиями к новым деталям.

Концепция групповой технологии дает преимущества и на этапе проектирования. С ее помощью часто удается устранить избыточное разнообразие деталей, предоставив конструкторам возможность осуществлять поиск по семействам деталей. Часто конструкторы просто не знают о наличии аналогичных проектов среди текущих разработок. Обычно это бывает связано с тем, что система нумерации деталей не дает им достаточной информации. В таких случаях возникает тенденция к дублированию деталей с незначительными изменениями, не имеющими отношения к назначению деталей. Избыток деталей приводит к быстрому увеличению количества бумаг, а также к расходам заготовок.

В процессе разработки технических изделий широкое применение находят их физические прототипы [9].

Быстрое прототипирование и изготовление (БПИ) – это способ физического моделирования для получения физического прототипа конструкции, например детали (физический объект), – широко используется на стадии анализа проекта (детали) по окончании концептуального проектирования.

В своей основе процессы быстрого прототипирования и изготовления (БПИ) (*rapid prototyping and manufacturing*) состоят из трех шагов: формирование поперечных сечений изготовляемого объекта из полимерных материалов (или за счет спекания твердых частиц и порошка лучом лазера); послойное наложение этих сечений и комбинация слоев. Поэтому для создания физического объекта требуются только данные о его поперечных сечениях. Процессы БПИ являются безынструментальными – позволяют создавать физический объект без использования инструментов (по сравнению, например, со станками с ЧПУ).

Данные о поперечных сечениях изделия можно получить, используя объемные 3*D*-чертежи деталей, полученных методами геометрического (например, твердотельного) моделирования.

Методы БПИ [9, с. 379–412]

1. Стереолитография.
2. Отверждение на твердом основании.
3. Избирательное лазерное спекание.
4. Трехмерная печать.
5. Ламинирование.
6. Моделирование методом наплавления.

Кратко рассмотрим все перечисленные методы.

Стереолитография. Метод основан на избирательном отверждении поверхностного слоя фотополимера и построении трехмерных объектов из последовательно наложенных слоев.

Процесс изготовления детали протекает и следующим образом (рис. 4.1):

1. Фоточувствительный полимер, затвердевающий на свету, поддерживается в жидком состоянии.

2. На толщину одного слоя ниже поверхности жидкого полимера помещается платформа, способная двигаться в вертикальном направлении.

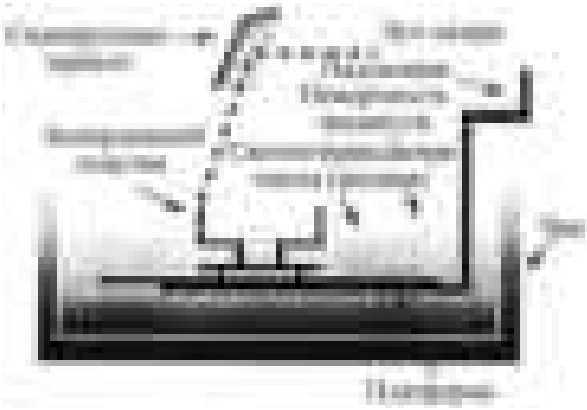


Рис. 4.1. Процесс стереолитографии

3. Ультрафиолетовый лазер сканирует слой полимера над платформой, отверждая полимер по форме соответствующего поперечного сечения. Обратите внимание, что этот процесс начинается с нижнего поперечного сечения детали.

4. Платформа опускается в ванну с полимером на толщину одного слоя, давая полимеру растечься по поверхности детали для начала нового слоя.

5. Шаги 3 и 4 повторяются до тех пор, пока не будет наращен верхний слой детали.

6. Для полного затвердевания детали выполняется окончательное отверждение. Этот шаг необходим, поскольку в каждом слое могут еще оставаться жидкие участки. Так как лазерный луч имеет конечные размеры, сканирование каждого слоя аналогично закрашиванию некоторой фигуры тонкой цветной ручкой.

Габаритные размеры ванн 500×500×500 мм. Толщина слоев составляет 50…150 мкм. Точность моделей 0,1 мм.

Отверждение на твердом основании (*solid ground curing* – SGC). В этом случае каждый слой отверждается путем экспонирования ультрафиолетовой лампой, а не сканирования лазерным лучом. Таким образом, все точки слоя затвердевают одновременно и окончательного отверждения не требуется. Типичный

процесс отверждения на твердом основании имеет место в системе *Solider* от *Cubatal Israel*, работа которой происходит следующим образом:

1. По данным геометрической модели детали и желаемой толщине слоя рассчитывается поперечное сечение каждого слоя.

2. Для каждого слоя изготавливается оптическая маска по форме соответствующего поперечного сечения.

3. После выравнивания (рис. 4.2, *а*) платформа покрывается тонким слоем жидкого фотополимера (рис. 4.2, *б*).

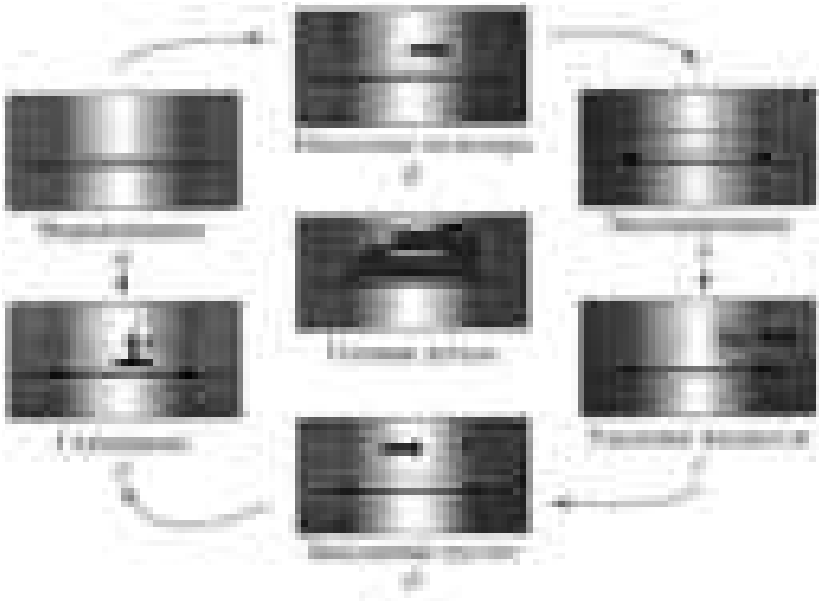


Рис. 4.2. Система Solider

4. Над поверхностью жидкой пластмассы помещается маска, соответствующая текущему слою, и пластмасса экспонируется светом мощной ультрафиолетовой лампы (рис. 4.2, *в*). Обратите внимание, что процесс начинается с маски, соответствующей нижнему слою.

5. Оставшаяся жидкость удаляется с изделия аэродинамическим *wiper* [ˈwaipə] – очистителем (рис. 4.2, *г*).

6. Изделие покрывается слоем жидкого воска, который заполняет пустоты (рис. 4.2, *д*). Затем к воску прикладывается холодная пластина, и он затвердевает.

7. Слой стачивается до желаемой толщины с помощью шлифовального диска (рис. 4.2, *е*).

8. Готовая часть изделия покрывается тонким слоем жидкого полимера, и шаги 4–7 повторяются для каждого последующего слоя, пока не будет обработан самый верхний слой.

9. Воск расплавляется и удаляется из готовой детали.

Главным преимуществом метода отверждения на твердом основании по сравнению с методом стереолитографии является отсутствие необходимости в поддерживающих структурах. Это обусловлено тем, что пустоты заполняются воском. Кроме того, благодаря использованию света лампы вместо лазерного луча, исключается операция окончательного отверждения. Хотя отверждение на твердом основании позволяет изготавливать детали с большей точностью, чем стереолитография, процесс этот весьма сложен.

Избирательное лазерное спекание. Процесс изготовления детали путем избирательного лазерного спекания, разработанный фирмой DTM (США), протекает следующим образом (рис. 4.3):

1. Цилиндрическая заготовка помещается на высоте, необходимой для того, чтобы на нее можно было осадить слой порошкового материала желаемой толщины. Порошковый материал, используемый для изготовления прототипа, поступает из подающего цилиндра и наносится выравнивающим валиком.

2. Слой порошка избирательно сканируется и нагревается лучом лазера, вследствие чего частицы слипаются между собой. Просканированные частицы порошка образуют требуемое поперечное сечение. Обратите внимание, что этот процесс начинается с нижнего поперечного сечения детали.

3. Цилиндрическая заготовка опускается на толщину одного слоя для нанесения нового слоя порошка.

4. Луч лазера сканирует новый слой порошка, склеивая его с предыдущим и формируя следующее поперечное сечение.

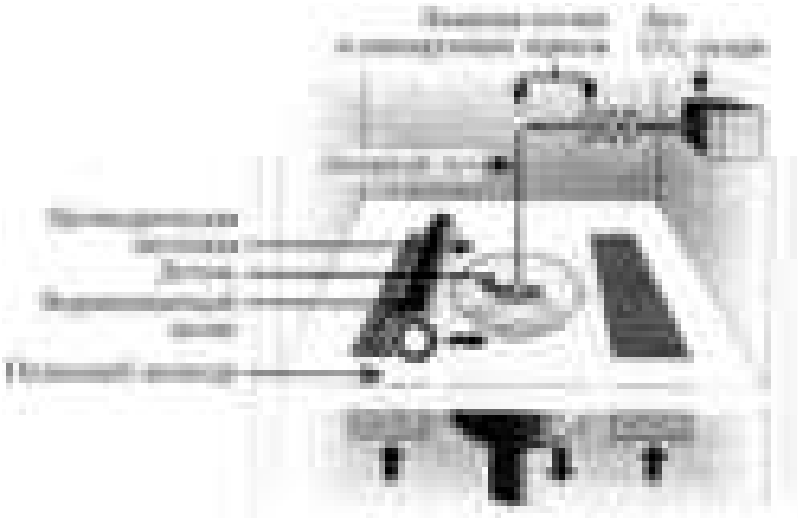


Рис. 4.3. Избирательное лазерное спекание

5. Шаги 3 и 4 повторяются до тех пор, пока не будет создан самый верхний слой детали.

6. Для некоторых материалов может понадобиться окончательное отверждение.

Поддерживающая структура не требуется, потому что пустоты каждого слоя заполняются необработанным порошком. Более того, в качестве материала для процесса избирательного спекания потенциально может использоваться любой плавкий порошок, даже металлический, если лазер обладает достаточной мощностью.

На практике для металлических порошков, частицы которых покрыты термопластическим связующим материалом, используется косвенное спекание. Под лучом лазера связующий материал расправляется и свободно связывает частицы металлического порошка, образуя желаемую форму, которая называется *зеленой деталью* (*green part*). В этом случае достаточно, чтобы мощности лазера хватало для расплавления связующего материала.

Затем зеленая часть подвергается обработке в печи, в ходе которой связующий материал выжигается, а частицы металлического

порошка связываются за счет обычных механизмов спекания. Получившаяся деталь носит название *коричневой детали* (*brown part*). Без дальнейшей обработки деталь будет довольно пористой из-за наличия пустот, которые ранее занимали частицы связующего материала. Чтобы снизить пористость, в печь помещается еще один материал – инфильтрант. Этот металл расплавляется при рабочей температуре печи и проникает в поры детали за счет капиллярного эффекта. Данный метод используется для изготовления форм для литья непосредственно по их геометрическим моделям. Ресурса таких форм достаточно для изготовления от 2 500 до 10 000 деталей-прототипов.

Трехмерная печать. Разработанный в Массачусетском технологическом институте процесс трехмерной печати был назван так из-за своей схожести с печатью на струйном принтере. В трехмерной печати вместо чернил используется жидкое связующее вещество. Процесс трехмерной печати происходит следующим образом (рис. 4.4):

1. Платформа располагается на высоте, необходимой для того, чтобы можно было нанести на нее слой керамического порошка надлежащей толщины.

2. Нанесенный слой керамического порошка избирательно сканируется печатающей головкой, из которой поступает жидкое связующее вещество, вызывающее прилипание частиц друг к другу. Отсканированные печатающей головкой частицы образуют требуемую форму поперечного сечения. Обратите внимание, что этот шаг начинается с нижнего поперечного сечения.

3. Платформа опускается на одну толщину слоя, позволяя нанести следующий слой порошка.

4. Новый слой сканируется, образуя следующее поперечное сечение и склеиваясь с предыдущим слоем.

5. Шаги 3 и 4 повторяются, пока не будет создан верхний слой детали.

6. Для отверждения детали проводится последующая тепловая обработка.

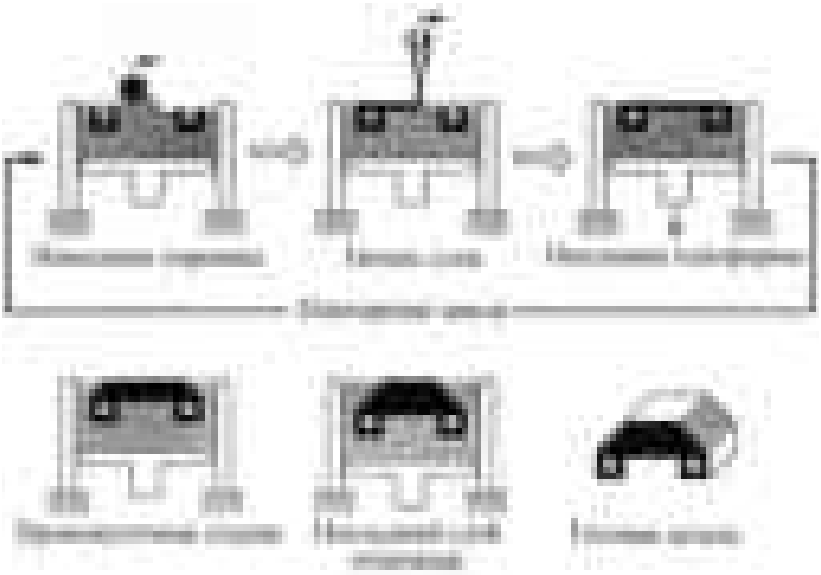


Рис. 4.4. Трехмерная печать

С помощью трехмерной печати было бы удобно изготавливать формы для литья, поскольку форма изготавливается как цельная деталь, состоящая из оболочки и полостей, и положение полостей относительно оболочки можно было бы задавать точно. Однако формы для литья, изготовленные путем современной трехмерной печати, имеют невысокое качество поверхности.

Ламинирование (*laminated object manufacturing* – LOM). Коммерциализированной фирмой *Helisys* деталь изготавливается путем ламинирования и лазерной резки материалов, поступающих в листовом виде. Слипание листов происходит за счет наличия термоадгезивного покрытия. Процесс протекает следующим образом (рис. 4.5):

1. Каждый лист приклеивается к заготовке с помощью нагрева и давления, образуя очередной слой. Листовой материал подается в виде непрерывного рулона с одной стороны машины и принимается с противоположной стороны. Температуру и давление,

необходимые для ламинирования, обеспечивает нагретый валик. Обратите внимание на то, что, когда к стопке приклеивается следующий лист, платформа опускается на толщину одного листа.

2. После того как слой (лист) приклеен, он сканируется лазером вдоль контура текущего поперечного сечения. Обычно для этой цели используется лазер на углекислом газе мощностью 25 или 50 Вт. Как и в других процессах, этот шаг начинается с нижнего поперечного сечения. Обратите внимание, что здесь сканирование производится только по контурам. Это делает данный процесс более эффективным, чем процессы, требующие растрового сканирования.

3. Области слоя, выходящие за пределы контуров, штрихуются лазером, т. е. рассекаются на маленькие кусочки, называемые *черепичками* (*tiles*), для последующего удаления, когда деталь будет закончена.

4. Шаги 1–3 повторяются до тех пор, пока не будет наклеен и вырезан верхний слой детали.

5. После того как все слои будут готовы, внутри блока поддерживающего материала окажется готовая деталь. Этот материал затем разматывается на кусочки вдоль линий лазерной штриховки.

6. Готовую деталь можно покрыть герметиком, чтобы предохранить ее от влажности.

Наличие поддерживающего материала вокруг детали имеет свои преимущества и недостатки. Прежде всего, оно исключает необходимость во внешних поддерживающих структурах. При изготовлении детали внутри блока поддерживающего материала, имеющего определенную форму, геометрия всей структуры стабилизирована и соответственно ей не грозит перекос под собственным весом. Более того, нам не приходится беспокоиться об изолированных «островках», которые часто образуются, когда твердое тело, спроектированное в CAD-системе, рассекается на слои.

Иными словами, ламинирование позволяет избежать создания специальных подпорок, которые точно фиксировали бы эти «островки» в пространстве, пока в процессе изготовления не будут созданы «мосты» к оставшимся частям детали. Однако удаление лишнего материала по окончании изготовления детали является непростой задачей.

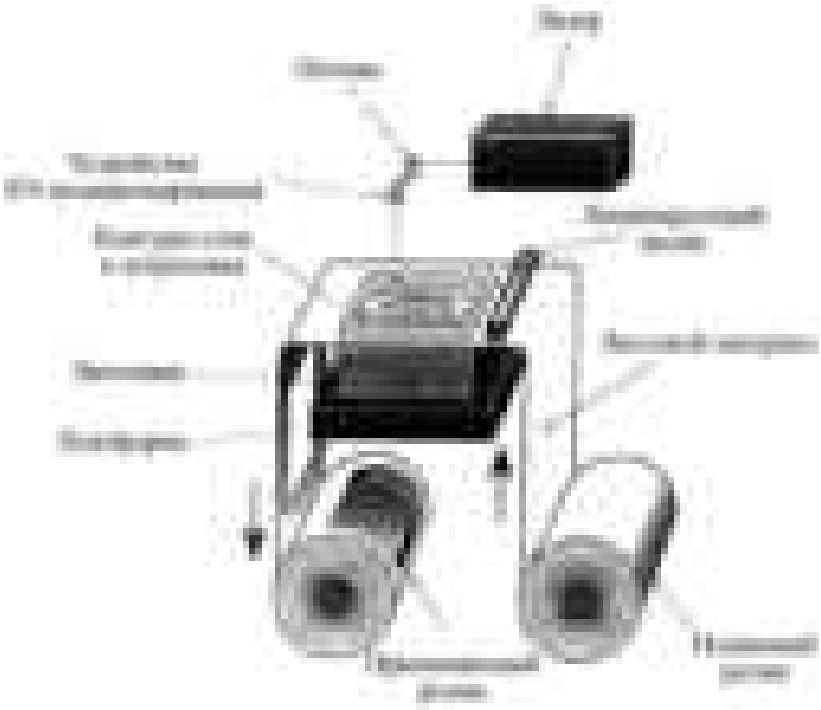


Рис. 4.5. Процесс ламинирования

Чтобы удалить только излишки, а хрупкие части детали при этом не сломать, необходимо бережно очистить ее вручную. Кроме того, полую структуру с замкнутыми поверхностями невозможно изготовить в виде единой части, поскольку в этом случае излишки материала невозможно будет извлечь изнутри. Сложность удаления ненужного материала характерна для любой части с узкими перемычками, внутренними полостями с ограниченным доступом, слепыми отверстиями и т. п. Далее большая часть материала, расходуемая при ламинировании, идет не на саму деталь, а остается неиспользованной в рулоне или образует поддерживающие структуры, которые будут удалены после изготовления. Это может быть весьма расточительно, если применяются более дорогостоящие материалы, чем бумага.

Помимо преимуществ и недостатков процесс ламинирования имеет следующие характеристики:

Это субтрактивный, а не аддитивный процесс, т. е. для создания слоя с требуемым поперечным сечением материал удаляется, а не добавляется. Во всех прочих процессах БПИ слои образуются путем добавления материала. Таким образом, потенциально ламинирование является самой быстрой технологией изготовления деталей с большим отношением объема к площади поверхности.

Детали образуются перемежающимися слоями материала и клейкого вещества. Соответственно, многие из их физических свойств являются неоднородными и анизотропным.

Потенциальная точность процесса изготовления ламинированных объектов высока. В нем может использоваться сколь угодно тонкий листовой материал, что позволяет достичь хорошей разрешающей способности в направлении наращивания деталей. В действительности изготовить тонкий однородный листовой материал несложно, и усадка при ламинировании не представляет проблемы, поскольку контуры вырезаются после того, как происходит усадка.

Хотя процесс потенциально применим ко многим материалам, включая пластики, композиты и металлы, наиболее популярным на сегодняшний день является бумажное ламинирование.

Габариты изделия достигают размера 800 × 560 × 500 мм. Масса до 20 кг. Температура горячего валика – 70…400 °С. Сила прижатия валика до 180 кН. Толщина материала 0,076…0,2 мм.

Моделирование методом наплавления (*fused-deposition modeling* – FDM). В процессе наплавления коммерциализированной фирмой *Stratasys* каждый слой формируется путем выдавливания термопластичного материала, находящегося в жидком состоянии (рис. 4.6). Температура выдавливаемого материала незначительно превышает его температуру затвердевания (аналогичная ситуация при создании надписей на торте шоколадным кремом). Деталь изготавливается путем последовательного наплавления слоев. Этот процесс относительно прост, но его применение ограничено термопластичными материалами.

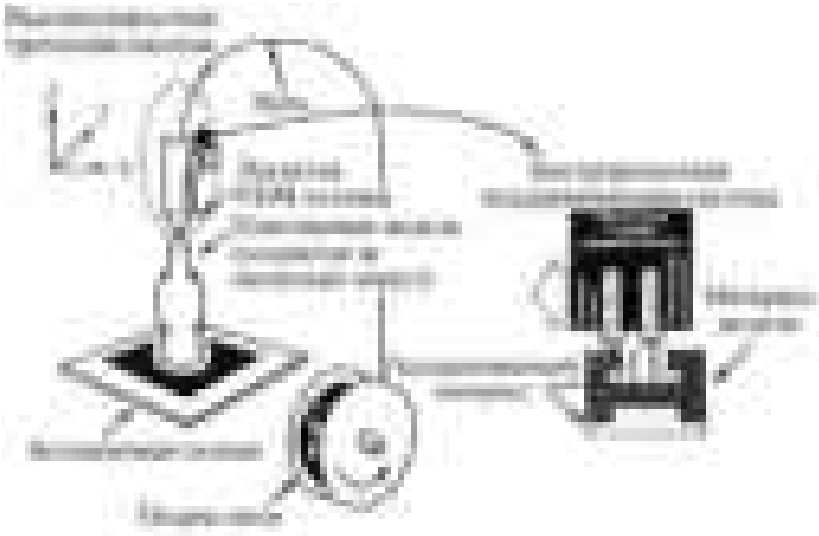


Рис. 4.6. Моделирование методом наплавления
(с разрешения Stratasys, Inc.)

Функции CAE-систем

CAE-системы наиболее эффективно используются на стадии анализа и оптимизации конструкций и технологических процессов.

Функции CAE-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. В состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для выполнения следующих процедур:

– моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего выполняется в соответствии с МКЭ;

– расчет состояний моделируемых объектов и переходных процессов в них средствами макроуровня;

– имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор.

Библиотеки конечных элементов содержат их модели – матрицы жесткости. Очевидно, что модели конечных элементов будут различными для разных задач (анализ упругих или пластических деформаций, моделирование полей температур, электрических потенциалов и т. п.), разных форм конечных элементов (например, в двумерном случае – треугольные или четырехугольные элементы), разных наборов координатных функций.

Исходные данные для препроцессора – геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования. Основная функция препроцессора – представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде, т. е. в виде множества конечных элементов.

Решатель – программа, которая ассемблирует (собирает) модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решений в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР это графическая форма. Пользователь может видеть исходную (до нагружения) и деформированную формы детали, в которых палитра цветов или интенсивность свечения характеризуют значения фазовой переменной.

CAE-системы позволили создать новые методы визуализации результатов компьютерного моделирования отдельных прототипов и целых производств [9].

Дело в том, что прогресс автоматизированной разработки привнес новую парадигму в проектирование и анализ. Прежде всего, системы геометрического моделирования настолько продвинулись вперед за последнее десятилетие, что современные CAD-системы способны обрабатывать модели деталей и агрегатов самой сложной геометрии и конструкции. Агрегат можно отображать, оценивать и модифицировать как единое целое, а его движение имитировать так же, как это делается с физическим прототипом.

Еще одно достижение – это анализ по методу конечных элементов. Он мог бы стать средством виртуальной оценки надежности и технических характеристик продукта, если бы его вычислительную эффективность можно было улучшить до такой степени, чтобы выводить результаты в реальном времени. С его помощью можно было бы предсказывать механические свойства и характеристики (напряжения, прогиб, вибрация, температура, давление в сложных деталях) так, как если бы они измерялись посредством различных экспериментов.

Более того, производители CAD-систем в настоящий момент пытаются объединить геометрическое моделирование с методом конечных элементов. Такая интеграция обеспечила бы непрерывное течение цикла проектирования и анализа. Метод конечных элементов использовался бы изначально в процессе проектирования для принятия конструкторских решений, что позволило бы сэкономить время и затраты, связанные с перепроектированием.

Все эти тенденции привели к возникновению новой инженерной дисциплины – *виртуальная инженерия* (*virtual engineering*).

Виртуальная инженерия – это имитационный метод, помогающий инженерам в принятии решений и управлении. Виртуальная среда представляет собой вычислительную структуру, позволяющую точно имитировать геометрические и физические свойства реальных систем. Виртуальная инженерия включает в себя имитацию различных видов инженерной деятельности, таких, как машинная обработка, сборка, управление производственными линиями, осмотр и оценка, а также процесс проектирования.

Таким образом, виртуальная инженерия может охватывать весь цикл разработки и производства продукта. После того как смоделирована деталь, имитируется ее машинная обработка и сборка. Затем, также с помощью имитации, собранный прототип тестируется, и в его конструкцию вносятся необходимые изменения. Когда прототип одобрен, имитируется производственная система и ее функционирование. Прогнозируется также себестоимость и график поставок. В результате этих имитаций

получается оптимизированный конечный прототип и производственные процедуры, на основе которых затем реализуется физическая система.

Виртуальная инженерия дает совершенно новый подход к инженерным задачам. Использование имитации устранит необходимость в дорогостоящих физических прототипах и физических экспериментах. Время разработки коренным образом сократится, появится возможность проверить большее количество альтернативных вариантов конструкции, повысится качество конечного продукта. Виртуальная инженерия обеспечит также превосходный интерфейс для клиента, позволяя ему заранее увидеть трехмерную модель продукта и запросить конструктивные изменения. Можно будет построить прототип продукта, который недоступен, слишком опасен или слишком дорог для того, чтобы создавать его в реальности. Такая возможность будет неоценима в автомобильной и авиационной промышленности, где физические макеты стоят дорого, время разработки велико, продукты крайне сложны и требуется глубокая обратная связь от клиентов.

Основными компонентами виртуальной инженерии являются: *виртуальное проектирование, цифровая имитация, виртуальное прототипирование* и *виртуальный завод*. Виртуальное проектирование выполняется с помощью устройств виртуальной реальности. Цифровая имитация позволяет проверять и оценивать работу продукта без использования физических прототипов. В процессе виртуального прототипирования строится компьютерный прототип, имеющий ту же геометрию и физическое поведение, что и реальный продукт. Виртуальный завод – это имитация заводской производственной линии. Ниже следует описание каждой из этих составляющих.

Виртуальное проектирование выполняется в виртуальной среде с использованием технологий виртуальной реальности. Виртуальное проектирование сосредоточивается на альтернативном пользовательском интерфейсе для процесса проектирования. Используя технологии виртуальной реальности, конструкторы могут погрузиться в виртуальную среду, создавать компоненты, модифицировать их, управлять различными

устройствами и взаимодействовать с виртуальными объектами в процессе конструкторской деятельности. Конструкторы могут видеть стереоскопическое изображение виртуальных объектов и слышать пространственный реалистичный звук. Эти изображения и звук возникают, когда рука конструктора движет виртуальной рукой и пальцем. Прикосновение к виртуальному объекту ощущается конструктором в виде обратной связи. Тем самым замысел конструктора эффективно воплощается в проекте и проверяется функциональное поведение конструкции.

Основная цель виртуального проектирования – позволить конструктору действовать интуитивным и естественным образом. В системах геометрического моделирования, даже при том что современные CAD-системы предоставляют изощренные средства моделирования, взаимодействие конструктора с моделью небезгранично. Возможности обзора ограничиваются изображением, спроектированным на монитор, а возможности ввода информации от конструктора – точечными манипуляциями с мышью.

Таким образом, в рамках CAD-технологии сегодняшнего дня конструктор является «одноглазым и однопалым». Более естественное взаимодействие, обеспечиваемое технологиями виртуальной реальности, дало бы конструктору большую свободу и позволило бы ему повысить креативность при создании модели. Вторая цель виртуального проектирования – на ранних стадиях проектирования учесть точку зрения потенциального пользователя продукции.

В процессе проектирования могут быть в полной мере оценены такие качества, как доступность и управляемость. Третья цель – учесть при проектировании опыт экспертов в сборке или манипулировании деталями. Этот опыт сложен и трудно формализуем, но система виртуального проектирования может пролить свет на положение пользователя, его взаимодействие с объектами и последовательность операций сборки.

Виртуальное проектирование потребует совершенно иного подхода к моделированию трехмерной геометрии. Например, меню и кнопки можно заменить технологией распознавания речи

или жестов. Если конструктор захочет изменить размеры модели, то, вместо того чтобы указать на нее, конструктор сможет взять ее в руки и растянуть. В связи с процессом виртуального проектирования непременно возникнут новые методы проектирования и схемы моделирования.

Цифровая имитация используется для проверки процессов, так как машинные операции необходимо тщательно проверить, прежде чем начинать реальную работу. Если в управляющем коде имеется ошибка, это может привести к серьезной поломке станка. Используя цифровую имитацию, пользователь перед началом работы имеет возможность проверить траекторию перемещения инструмента станка с ЧПУ, щупа координатно-измерительной машины или руки робота. Например, процессом машинной обработки можно управлять графически, как если бы это делалось на реальном станке: виртуальный станок с ЧПУ, читая стандартные инструкции, будет выполнять всю обработку в реальном времени, включая перемещение инструментов, принадлежностей, укладчиков и деталей. Непрерывный контроль за снятием материала позволяет пользователю выявлять ситуации, приводящие к вибрации и поломке инструмента, появлению выбоин и зарубок. С помощью имитации пользователь может также спрогнозировать столкновения между инструментом и приспособлением или деталью.

Визуализация также помогает инженерам лучше понять систему. Она позволяет легко уяснить идею конструкции и заранее проверить ее эксплуатационные качества. В настоящее время для этой цели используется главным образом кинематическая имитация твердых тел. Имитация моделей более высокого уровня – жидкостей, человеческих существ и сложных сред – требует моделирования физических эффектов, включая эффекты динамики, вибрации, акустики и деформации. Однако сложные имитации с использованием виртуальных прототипов могут осуществить проверку рабочих характеристик системы быстрее и с меньшими затратами.

Виртуальным прототипированием (*virtual prototyping*) называют построение прототипа агрегата из геометрических моделей его отдельных частей. Виртуальный прототип называют

иногда *цифровым макетом* (*digital mockup*) или *предварительной цифровой сборкой* (*digital preassembly*). Системы цифрового прототипирования позволяют визуализировать процесс сборки и проверять осуществимость предлагаемых агрегатов в рамках имеющихся производственных ограничений. Путем сборки виртуального прототипа можно выявить конструктивные просчеты и внести изменения в проект, чтобы реальную сборку можно было выполнить с первой попытки.

Основная функция виртуального прототипирования заключается в том, чтобы установить, осуществима ли операция сборки. Система проверяет сопряжение деталей в контексте сборочных ограничений и требований к допускам. Функции обнаружения столкновений указывают на мешающие друг другу детали. Проверяется также последовательность сборки и траектории движения деталей. Кроме того, можно определить оптимальные траектории сборки. Передовые системы позволяют также проводить структурный и функциональный анализ виртуального прототипа, используя встроенное аналитическое программное обеспечение. Часто выполняется кинематическая и динамическая имитация прототипа.

Инженеры смогут основывать конструкторские решения на виртуальных прототипах. Оптимизация конструкции будет достигаться путем последовательного уточнения виртуального прототипа. С увеличением степени детальности виртуального прототипирования станет возможной более точная структурная и функциональная имитация. Идеальной ситуация станет тогда, когда виртуальный прототип будет иметь всю совокупность характеристик физического прототипа. Таким образом, со временем виртуальное прототипирование устранит необходимость в дорогих и трудоемких физических прототипах.

Виртуальный завод (*virtual factory*) – это смоделированная на компьютере полная производственная система. Виртуальный завод имитирует конструкции производственных участков, производственные процессы и складские системы. Кроме того, для него можно программировать автоматизированное заводское оборудование – роботы, конвейеры и станки.

Система моделирует и имитирует такие компоненты, как конвейеры, накопители, доки, производственные участки и процессы. Кроме того, система моделирует процедуры – маршруты, последовательности и слияния. После этого модель производства анализируется в терминах затрат на рабочую силу, инвентаризации, эксплуатационных расходов, затрат на обработку и длительностей цикла.

Такие возможности позволяют использовать виртуальный завод для планирования производства, включая оценку проектов производственных систем и сравнение альтернативных способов производства. Когда эта технология достигнет зрелости, с помощью виртуального завода можно будет сымитировать всю цепочку поставок, что позволит оценивать и оптимизировать весь процесс управления ресурсами и производством.

Итак, методы виртуальной инженерии предлагают совершенно новый подход к процессу проектирования, который позволяет оценить возможность производства различных вариантов конструкции (включая оценку качества сборки или эксплуатационную характеристику продукта) и оптимизировать производственный процесс (методом цифровой имитации), легко настроить продукт под требования заказчика, эффективно накопить обширную базу знаний, обеспечить основу для коллективной разработки проектов.

Рассмотрим аппаратуру, которая используется виртуальной инженерией. Виртуальная инженерия – чисто программная технология, и поэтому сама по себе не требует какого-либо специального оборудования. Однако для взаимодействия с пользователем необходимо оборудование виртуальной реальности. Это оборудование включает в себя устройства как ввода, так и вывода. Устройства вывода дают пользователю ощущения от виртуальной среды. Поскольку самый эффективный способ сенсорного восприятия – это зрение, главными компонентами систем виртуальной реальности являются устройства отображения. Эти устройства должны обеспечивать пользователю стереоскопический обзор.

Доступное в настоящий момент оборудование включает в себя головные дисплеи, бинокулярные всенаправленные мониторы,

дисплеи пространственного погружения и специальные очки. Звук и осязание обогащают ощущения от виртуальной реальности, когда они используются в совокупности со зрительной системой. Типичным примером звуковой аппаратуры могут служить наушники с пространственно расширенной звуковой системой. Аппаратура осязания – это приборы с силовой обратной связью. Популярными устройствами ввода являются системы распознавания речи, следящие системы и информационные перчатки.

Головные дисплеи. Головной дисплей – это устройство отображения с полным погружением. Шлем полностью закрывает глаза и позволяет смотреть только прямо перед собой. Небольшой экран, смонтированный перед глазом пользователя, дает стереоскопическое изображение. Прибор имеет встроенную следящую систему, благодаря которой изображение на дисплее меняется при изменении положения и ориентации головы пользователя. В настоящее время доступно более 40 моделей головных дисплеев. Среди них можно упомянуть FOHMD от CAE-Electronics и Looking Glass от Polhemus Lab.

Бинокулярные всенаправленные мониторы. Бинокулярный всенаправленный монитор – это механическая версия головного дисплея. Он состоит из дисплейной коробки, которая сбалансирована по весу на многозвенной стреле. Пользователь смотрит на дисплей, а движение его головы отслеживается через систему механических звеньев. Основным преимуществом бинокулярных всенаправленных мониторов перед головными дисплеями является быстрое и точное слежение. В продаже имеются бинокулярные всенаправленные мониторы *BOOM-2C* от *Fake Space Labs* (http://www.fakespace.com) и *Cyberface3* от LEEP.

Дисплеи пространственного погружения. В дисплеях пространственного погружения используется панорамный видеоэкран, окружающий пользователя, так что пользователь чувствует себя погруженным в виртуальную среду. Дисплеи пространственного погружения обеспечивают большое поле зрения и свободу передвижения в виртуальной среде. В университете штата Иллинойс (Чикаго) разработана четырехстенная система пространственного погружения *CAVE*. Приобрести систему

CAVE можно через фирму *Pyramid System*. Существуют большие куполообразные дисплеи пространственного погружения, такие как *Visionarium Graphics*, имеющий 8 м в диаметре. Фирма *Spitz Electrihorizen* построила дисплей пространственного погружения диаметром 8,5 м.

Шторные очки. Шторные очки – это недорогое устройство отображения. Пользователь надевает устройство, напоминающее очки, которое попеременно закрывает обзор то одному, то другому глазу. Монитор или другое устройство отображения, синхронизированное с очками, имеет в два раза большую частоту обновления и попеременно показывает картинку для левого и для правого глаза. В результате на экране монитора пользователь видит стереоскопическое изображение. Данное устройство может использоваться вместе с выпускаемыми в настоящий момент дисплеями, поэтому оно экономически выгодно. Однако оно не обеспечивает достаточного погружения для того, чтобы пользователь увидел реальную среду, так как поле зрения ограничено размерами монитора. В продаже имеются шторные очки *Crystal Eyes* от *Stereographics* и *SGS* от *Tektronicx*.

Устройства осязания. Устройство осязания дает ощущение физического прикосновения. Такое устройство позволяет пользователям почувствовать реальный объект через систему силовой обратной связи, создающую иллюзию работы с реальным материалом. Примером устройства осязания является джойстик с силовой обратной связью, через который пользователь ощущает силу реакции на рабочей руке. В продаже имеются джойстики *Haptic Mater* от *Nissho Electronics* и *BSP Joystick* от *AEA Technologies*.

Прибор *Phantom* фирмы *SensAble Technology* – это устройство осязания на базе карандаша, имеющее шесть степеней свободы. Более передовым типом устройства осязания является экзоскелет – сложная система механических звеньев, окружающая всю руку так, что каждый палец и сустав независимо получают силовую обратную связь. Он объединяет в себе информационную перчатку и устройство осязания. Примерами экзескелетов являются *The Exoskeletal Hand Master* от *Sarcos* и *Force ArmMaster* от *Exos*.

Следящие системы. Следящие устройства используют электромагнитную, ультразвуковую, оптическую или механическую систему для определения положения и ориентации отслеживаемого объекта. Следящее устройство может быть встроено в головной дисплей для отслеживания направления взгляда и положения головы или в информационную перчатку – для отслеживания положения руки. Следящее устройство можно также прикрепить на любую часть тела. В продаже имеются такие следящие системы, как *Flock of Birds* от *Ascension* и *ISOTRAK II* от *Polhemus* (http://www/polhemus.com).

Типичным примером следящих устройств с использованием ультразвуковой технологии могут служить *Head-tracker* от *Logitech* (http://www.logitech.com) и *GAMS* от *Transition State Corporation*. Механичекая система используется в устройствах *GyroEngine* от *Gyration*, *ADL-1* от *Shooting Star Technology* и *Wrightrack* от *Vidtronics*. Наконец, к устройствам с использованием оптической технологии относятся *GRD-1010* от *GEC Ferranti*, *DynaSight* от *Origin Instruments* и *RtPM* от *Spatial Positioning Systems*.

Информационные перчатки. Информационная перчатка имеет на каждом суставе пальцев руки датчики, измеряющие изгиб пальца. Положение руки в целом определяется следящей системой, прикрепленной к перчатке. Обычно информация, получаемая с перчатки, преобразуется в виртуальной среде снова в изображение, форма и положение которого динамически изменяются, следуя за движениями руки пользователя. В продаже имеются информационные перчатки *Dexterous Hand master* от *Exos*, *CyberGlove GG1801* от *Virex* и *DataGlove* от *Greenleaf Medical Systems*.

Примеры промышленного применения виртуальной инженерии

Самолет Boeing 777. Boeing 777 – это первый коммерческий самолет, успешно спроектированный безбумажным методом. Для разработки модели 777 корпорация *Boeing* организовала 238 межфункциональных групп проектирования и изготовления,

ответственных за конкретные продукты. Компания *Boeing* использовала CAD-систему *CATIA* от *Dassault/IBM* и разработала собственную систему предварительной компьютерной сборки *EPIC* (*Electronic Preassembly in Computer*). Перед сборкой первого самолета не было изготовлено ни одного физического прототипа, кроме макета носовой части (для проверки критической проводки). Виртуальное прототипирование позволило компании *Boeing* вовлечь в процесс проектирования самолета заказчиков и операторов (до линейных механиков). Виртуальное прототипирование было настолько успешным, что несоосность при монтаже левого крыла составила всего 0,03 мм.

Виртуальный прототип локомотивного двигателя фирмы GM. Подразделение *Electro-Motive* фирмы *General Motors* разработало локомотивный двигатель *GM16V265H* мощностью 6 300 л. с. путем так называемой «виртуальной разработки продукта» в сотрудничестве с *Unigraphics Solutions*. Все детали были представлены в виде трехмерных моделей, и последующий анализ, оптимизация конструкции и программирование станков с ЧПУ и приспособлений проводились для этих моделей. Моделирование позволило обеспечить поставку продукта в сжатые сроки: первый двигатель был построен через 18 месяцев после начала программы, в то время как обычно подобный процесс занимает более 36 месяцев. Это позволило также гораздо быстрее провести тесты надежности, что дало GM возможность удовлетворить более жесткие требования к надежности.

Дизайн интерьера салона автомобиля фирмы Chrysler. Дизайн интерьера салона автомобиля *Dodge Durango* 1998 г. был разработан методом виртуального проектирования. Член дизайнерской группы сидит в упрощенном макете салона автомобиля, состоящем только из сиденья, руля и педалей. Дизайнер, на котором надеты головной дисплей системы виртуальной реальности, информационные перчатки и датчики движений, рассматривает виртуальный прототип интерьера автомобиля (приборная доска, органы управления радиоприемника, бардачок и окна) и взаимодействует с ним. Виртуальный прототип позволяет легко вносить изменения в дизайн и оценивать обзор, доступность и эстетику.

Этот метод дает возможность быстро проверять различные варианты дизайна.

Поезд Metrocar 2000 в Стокгольме. *Metrocar* 2000 – это новая система общественного транспорта в Стокгольме, разработанная компанией *Adtranz Sweden*. Используя программу *dVISE* от *Division*, *Adtranz* сконструировала виртуальные прототипы поездов, включая полностью оснащенные интерьеры с текстурными сидениями, полами, рекламными плакатами и индикаторной панелью машиниста. Глядя на виртуальный прототип, зрители могут получить представление о масштабе, пространственных отношениях и эстетике дизайна. Это позволяет заказчику и инженеру на ранних стадиях проектирования знакомиться с дизайном продукта и вносить в него изменения.

Проектирование кораблей для Королевского военно-морского флота Великобритании. Морской директорат перспективных проектов Великобритании внедрил виртуальное проектирование в рамках своей новой программы разработки кораблей. С помощью программы *ENVISION* от *Deneb Robotics* методом имитации в интерактивном режиме был разработан квартердек для нового корабля. Имитация включала движение корабля (с шестью степенями свободы) и его влияние на работающее оборудование, людей на борту и условия освещения в каютах. Это моделирование позволило инженерам оценить проект и внести в него необходимые изменения.

В заключение отметим, что виртуальная инженерия – зарождающаяся технология. Она обладает достаточным потенциалом для того, чтобы стать значительной составляющей деятельности инженера, однако на сегодняшний день функциональность и возможности применения систем виртуальной инженерии ограничены. Чтобы виртуальная инженерия превратилась в развитую технологию, необходимо получить возможность полностью отразить функциональное поведение физических систем посредством компьютерной имитации. Обсудим некоторые связанные с этим проблемы.

Новые средства проектирования. Виртуальное проектирование представляет принципиальное иную среду для разработки.

В ней зрение является стереоскопическим, а взаимодействие с моделью конструкции осуществляется с помощью нескольких органов чувств. Эта новая среда открывает возможности для появления новых методов проектирования и подходов к моделированию. В ближайшем будущем конструктор будет иметь возможность взять объект в руки и растянуть его или создать и изменить модель с помощью одного только голоса. Новый подход к моделированию обеспечит более естественные и интуитивные способы создания моделей.

Моделирование процессов и физических объектов. В настоящее время возможности имитации сводятся главным образом к кинематике. Моделирование динамических, деформируемых и жидких систем обычно требует анализа методом конечных элементов, отнимающего большое количество вычислительных ресурсов. Чтобы это имело какую-то ценность в качестве средства виртуального проектирования, данный анализ необходимо производить в реальном времени, а чтобы стала возможной имитация в реальном времени, необходимо компактное и точное моделирование. Более того, модели должны содержать в себе информацию о своих физических свойствах и экспериментальные данные, демонстрирующие их физическое поведение.

Мера возможности производства. Производственные процессы различны, каждый имеет свои собственные уникальные характеристики. Таким образом, найти какую-то общую методику, определяющую возможности производства различных продуктов, представляется трудной задачей. Необходимы исследования определений возможности производства и методологии ее оценки. Помимо простого решения типа «да/нет» необходимо определить количественную меру возможности производства. Кроме того, оценку возможности производства необходимо трансформировать в оценку продолжительности производственных процессов и затрат.

Быстродействие системы. В настоящий момент качество визуализации и имитации сильно ограничивается недостаточным быстродействием системы. Благодаря экспоненциальному росту скорости обработки и прогрессу технологии распределенных

вычислений качество имитации улучшается. Однако быстродействие системы остается все еще слишком низким для полноценного виртуального проектирования. Для визуализации требуется детализированное трехмерное отображение и анимация с высокой частотой кадров. Оценка проекта включает в себя анализ динамических систем и оптимизации, требующих больших вычислительных ресурсов. Кроме того, для обеспечения коллективной разработки необходимо повысить скорость работы сетей, расширить полосу пропускания и увеличить число каналов.

Стандарт интерфейса данных. Виртуальное проектирование включает в себя взаимодействие различных пакетов прикладных программ. Моделирование детали обычно производится в CAD-системе, анализ – в программе анализа по методу конечных элементов, а компьютерная имитация – в интерактивной системе имитации производства. Для коллективной разработки необходимо, чтобы эти различные системы работали вместе. Стандартные интерфейсы баз данных и программного обеспечения являются ключом к виртуальному проектированию.

Открытая архитектура. Открытая архитектура придает системе масштабируемость. Системы виртуального проектирования необходимо объединять с имеющимися в настоящий момент инженерными системами для получения дополнительной функциональности или решения разнотипных задач. Открытая архитектура позволяет системе задействовать большой резерв инженерных ресурсов и находить разнообразные формы применения.

4.2. Структура и разновидности систем автоматизированного проектирования

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного

моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения *CASE (Computer Aided Software Engineering),* обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Структурирование САПР по различным аспектам обусловливает появление *видов обеспечения* САПР. Принято выделять семь видов обеспечения САПР:

– *техническое (ТО),* включающее различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);

– *математическое (МО),* объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования;

– *программное*, представляемое компьютерными программами САПР;

– *информационное*, состоящее из базы данных, СУБД, а также включающее другие данные, используемые при проектировании (отметим, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется информационным фондом САПР, а база данных вместе с СУБД носит название банка данных);

– *лингвистическое*, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;

– *методическое*, включающее различные методики проектирования; иногда к нему относят также математическое обеспечение;

– *организационное*, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, регламентирующими работу проектного предприятия.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам

(комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы – ядра САПР.

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

1. САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами *MCAD (Mechanical CAD)*.

2. САПР для радиоэлектроники: системы *ECAD (Electronic CAD)* или *EDA (Electronic Design Automation)*.

3. САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь в классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем (БИС), САПР летательных аппаратов, САПР электрических машин и т. п.

По целевому назначению различают САПР, обеспечивающие разные аспекты (страты) проектирования. Так, в составе MCAD появляются рассмотренные выше CAE/CAD/CAM-системы.

По масштабам различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (*software*), но и технического (*hardware*) обеспечения.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т. е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.

В настоящее время широко используются унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра *Parasolid* фирмы *EDS Unigrafics* и *ACIS* фирмы *Integraph*).

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах прорабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например при проектировании бизнес-планов, но они имеются также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые ПМК, например имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т. п. Часто такие САПР относятся к системам CAE. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий. Для управления столь сложными системами применяются специализированные *системные среды*.

4.3. Программные системы проектирования (примеры программ) [3]

К числу мировых лидеров в области CAD/CAM/CAE-систем верхнего уровня относятся системы *Unigrafics* (компания *EDS*), *CATIA* (*Dessault Systems*), *Pro/Engineer* (*PTC*). Продолжают использоваться также системы *I-DEAS* (*EDS*), *CADDS5* (*PTC*) и *EUCLID3* (*Matra Datavision*).

Вначале рассмотрим структуру ПО САПР и его функциональные возможности на примере комплекса программ *Pro/Engineer*.

Комплекс насчитывает несколько десятков программ (модулей), которые подразделены на группы программ конструкторского проектирования механических объектов, промышленного дизайна, функционального моделирования, технологического проектирования, обмена данными.

Базовые модули конструкторского проектирования (подсистема CAD) предназначены для твердотельного и поверхностного моделирования, синтеза конструкций из базовых элементов формы (БЭФ), поддержки параметризации и ассоциативности, проекционного черчения и разработки чертежей с простановкой размеров и допусков. Пользователь может пополнять библиотеку БЭФ оригинальными моделями. Синтез трехмерных модулей сложной формы возможен вытягиванием плоского контура по нормали к его плоскости, его протягиванием вдоль произвольной пространственной кривой, вращением контура вокруг заданной оси, натягиванием между несколькими заданными сечениями. Синтез сборок выполняется вызовом или ссылкой на библиотечные элементы, их модификацией, разработкой новых деталей. Детали сборки можно нужным образом ориентировать в пространстве. Далее следует ввести ассоциативные (сопрягающие) связи. Дополнительные модели конструкторского проектирования имеют более конкретную, но узкую специализацию. Примерами таких модулей могут служить модули конструирования панелей из композиционных материалов, разработки штампов и литейных пресс-форм, трубопроводных систем, сварных конструкций, разводки электрических кабелей и жгутов.

Модули функционального моделирования (подсистема CAE) используются как препроцессоры и постпроцессоры в программах конечно-элементного анализа (нанесение сетки конечных элементов, визуализация результатов анализа), для анализа теплового состояния конструкций, оценки виброустойчивости и др.

Основные модули технологического проектирования (подсистема CAM) служат для моделирования технологических процессов фрезерной, токарной, электроэрозионной обработки и для разработки постпроцессоров для систем управления оборудованием с ЧПУ.

Модули обмена данными (конверторы форматов данных) должны обеспечивать возможности импорта и экспорта данных в другие CAE/CAD/CAM-системы.

Система Unigraphics – универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчетов и подготовки конструкторской документации. Система многомодульная.

В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твердотельного конструирования, геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3*D*-модели, проектирования сборок (в том числе с сотнями и тысячами компонентов) с учетом ассоциативности, анализа допусков и др.

В технологической части (подсистема CAM) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и электроэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента при фрезерной трех- и пятикоординатной обработке, при проектировании пресс-форм, штампов и др. Для инженерного анализа (подсистема CAE) в систему включены модели прочностного анализа с использованием МКЭ с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений, анализа процессов литья пластических масс.

Другая система верхнего уровня CATIA позволяет заказчику генерировать собственный вариант САПР сквозного проектирования – от создания концепции изделия до технологической поддержки производства и планирования производственных ресурсов. В системе реализовано поверхностное и твердотельное 3*D*-моделирование и оптимизация характеристик изделий. Возможны фотореалистичная визуализация, восстановление математической модели из материального макета. Система масштабируема. Предлагаются типовые конфигурации, в том числе варианты для полнофункционального сквозного проектирования сложных изделий и проектирования комплектующих на небольших и средних предприятиях. Аналогичные возможности реализованы и в других тяжелых САПР.

Значительно дешевле обходится приобретение САПР среднего уровня. В России получили распространение системы компаний *Autodesk, Solid Works Corporation, Топ Системы, Аскон, Интермех, Bee-Pitron* и некоторых других. Все эти системы ориентированы в первую очередь на платформу *Wintel*, как правило, имеют подсистемы: конструкторско-чертежную 2*D*, твердотельного 3*D*-моделирования, технологического проектирования, управления проектными данными, ряд подсистем инженерного анализа и расчета отдельных видов машиностроительных изделий, а также библиотеки типовых конструктивных решений. Широкое распространение в России и за рубежом получило ПО машиностроительных САПР компании *Autodesk*.

Линия современных программных систем конструкторского проектирования фирмы *Autodesk* включает ряд систем, среди которых наиболее развитыми следует считать системы *AutoCAD, Mechanical Desktop* и *Inventor*.

Система *Mechanical Desktop (MDT)* предназначена для параметрического 3*D*-моделирования, ассоциативного конструирования, распределенного проектирования в сети Интернет, оформления 2*D*-документации. Построена на графическом ядре *ACIS*. *Имеется управляющая программа CAD-менеджер со средствами настройки, конфигурирования и управления рабочими группами.*

Система *Inventor* предназначена для твердотельного параметрического проектирования, ориентирована на разработку больших сборок с сотнями и тысячами деталей, имеет развитую библиотеку стандартных элементов. В основе системы также лежит графическое ядро *ACIS*. Построение 3*D*-моделей возможно выдавливанием, вращением, по сечениям, по траекториям. Из 3*D*-модели можно получить 2*D*-чертежи и спецификации материалов. Поддерживается коллективная работа над проектом, в том числе в пределах одной и той же сборки. Предусмотрена автоматическая проверка кинематики, размеров детали с учетом положения соседних деталей в сборке. *Значительные удобства работы конструкторов обусловлены тем, что ассоциативные связи задаются не путем описания операций с параметрами и уравнений, а непосредственно определением формы и положения компонентов*.

В число продуктов *Autodesk* входит ряд других программ автоматизированного проектирования, в том числе *Autodesk Data Exchange* – набор конверторов для взаимного преобразования данных из форматов *DXF* и *SAT* (формат ядра *ACIS*) в такие форматы, как *STEP, IGES, VDA-FS*.

Ряд продуктов, интегрированных с программами проектирования компании *Autodesk*, создан компаниями, входящими в ассоциацию *Mechanical Applications Initiative* производителей прикладного ПО. Среди них следует отметить программу *Dynamic Designer Motion* (компания *Mechanical Dynamic*), предназначенную для расчетов динамики и кинематики механизмов (в том числе трехмерных). Элементами являются модели шарниров, пружин, сухого трения, ударных нагрузок.

Программа *Dynamic Designer Motion* имеет связи с группой программ конечно-элементного анализа *Cosmos*. Например, можно использовать программу *Cosmos/DesignSTAR* как автономно, так и в связке с программами *Inventor Solid Edge*, а программу *Cosmos/Works* – с программой *Solid Works*. С помощью этих программ проводят анализ деформированного состояния деталей, стационарных и нестационарных тепловых процессов, динамики жидкостей и газов, низкочастотных электромагнитных полей, определяют собственные частоты колебания конструкций.

Система твердотельного параметрического моделирования механических конструкций *Solid Works* (компания *Solid Works Corporation*) построена на графическом ядре *Parasolid*, разработанном в *Unigfaphics Solution*. Синтез конструкции начинается с построения опорного тела с помощью операций типа выдавливания, протягивания или вращения контура с последующим добавлением и (или) вычитанием тех или иных тел. Используется технология граничного моделирования (*B-representation*) с аналитическим или сплайновым описанием поверхностей. При проектировании сборок на основе БЭФ можно задавать различные условия взаимного расположения деталей, автоматически контролировать зазоры и отсутствие взаимопересечения деталей. Предусмотрены *IGES, DXF, DWG*-интерфейсы с другими системами.

Среди САПР среднего уровня наряду с продуктами зарубежных фирм неплохо зарекомендовали себя системы отечественных разработчиков – это, прежде всего, системы *Компас* (компания *Аскон*) и *T-Flex CAD* (*Топ Системы*).

В системе *Компас* для трехмерного твердотельного моделирования используется оригинальное графическое ядро. Синтез конструкций выполняется с помощью булевых операций над объемными примитивами, модели деталей формируются путем выдавливания или вращения контуров, построением по заданным сечениям. Возможно задание зависимостей между параметрами конструкции, расчет масс-инерционных характеристик. Разработка проектно-конструкторской документации, в том числе различных спецификаций, выполняется подсистемой *Компас-График*.

Имеются библиотеки с данными о типовых деталях и с графическими изображениями, а также программы специального назначения (проектирование тел вращения, пружин, металлоконструкций, трубопроводной арматуры, штамповой оснастки, выбора подшипников качения, раскроя листового материала и др.). Проектирование технологических процессов выполняется с помощью подсистемы *Компас-Автопроект*, программирование объемной обработки на станках с ЧПУ – с помощью подсистемы *ГЕММА-3D*. Ряд необходимых функций управления проектными данными возложено на подсистему *Компас-Менеджер*.

Подсистема трехмерного твердотельного моделирования *T-Flex CAD* 3*D* в САПР *T-Flex CAD* построена на базе ядра *Parasolid*. Реализована двунаправленная ассоциативность, т. е. изменение параметров чертежа автоматически вызывает изменение параметров модели, и наоборот. При проектировании сборок изменение размеров или положения одной детали ведет к корректировке положения других. Модель 3*D* может быть получена непосредственно по имеющемуся чертежу, или с помощью булевых операций, или путем выталкивания, протягивания, вращения профиля, лофтинга и т. п. Предусмотрен расчет масс-инерционных параметров.

В то же время можно по видам и разрезам трехмерной модели получить чертеж, для чего используется подсистема *T-Flex CAD*

3D SE. Для параметрического проектирования и оформления конструкторско-технологической документации служит подсистема *T-Flex CAD 2D*, для управления проектами и документооборотом – подсистема *T-Flex DOCs*. В подсистеме технологического проектирования *T-Flex/ТехноПро* выполняются синтез технологических процессов, расчет технологических размеров, выбор режущего и вспомогательного инструмента, формирование технологической документации, в том числе операционных и маршрутных технологических карт, ведомостей оснастки и материалов, карт контроля. Подготовка программ для станков с ЧПУ осуществляется в подсистеме *T-FlexЧПУ*. Кроме названных основных подсистем в состав *T-Flex CAD* включен ряд программ для инженерных расчетов деталей, проектирования штампов и пресс-форм.

В САПР *Cadmech 2000* белорусской компании *Интермех* входят программы *AVS* для выпуска конструкторской документации, *Techcard* для технологической подготовки производства, *LCAD* для планирования производственных цехов и участков и др. Для собственно конструкторского 3*D*-проектирования *Интермех* использует программы компании *Autodesk*.

Разработкой продуктов для САПР литейного производства занимается компания *Moldflow*, ее программы *Part Adviser* и *Mold Advisor* предназначены для моделирования процессов литья пластмасс.

Важное место в конструкторско-технологических САПР занимают программы технологической подготовки производства. Компания *Consistent Software* предлагает систему *TechnologiCS* для технологической подготовки дискретного производства. Эта система выполняет функции составления спецификаций, ведения дерева проекта и библиотеки чертежей, синтеза технологических процессов, выбора инструмента, расчета режимов резания, нормирования расхода материалов, ведения технологической документации. Система *SolidCAM* (*CADTech*), построенная, как и *Mechanical Desktop*, на ядре *ACIS*, служит для получения управляющих программ для токарной, 2,5- и 3-осевой фрезерной обработки на станках с ЧПУ. Система *ТЕХТРАН*

(*НИП «Информатика»*) включает модули токарной, фрезерной, электроэрозионной обработки.

Мировыми лидерами среди программ конечно-элементного анализа являются программно-методические комплексы *Nastran* и *Patran* (компания *MSC Software Corporation*) и *Ansys* (компания *Ansys Inc.*). Как правило, эти комплексы включают в себя ряд программ, родственных по математическому обеспечению, интерфейсам, общности некоторых используемых модулей. Эти программы различаются ориентацией на разные приложения, степенью специализации, ценой или выполняемой обслуживающей функцией. Например, в комплексе *Ansys* основные решающие модули позволяют выполнять анализ механической прочности, теплопроводности, динамики жидкостей и газов, акустических и электромагнитных полей. Во все варианты программ входят пре- и постпроцессоры, а также интерфейс с базой данных. Предусмотрен экспорт (импорт) данных между *Ansys* и ведущими комплексами геометрического моделирования и машинной графики.

Мировой лидер среди средств моделирования механических процессов на макроуровне путем решения СОДУ – программа *Adams*, а примером отечественных систем подобного назначения следует назвать программы *ПА*7 и *ПА*9. В САПР крупных предприятий обычно используют программы разных уровней. Связано это с тем, что более 80 % всех процедур конструирования можно выполнить на CAD-системах нижнего и среднего уровней, кроме того, «тяжелые» системы дороги. Поэтому предприятие приобретает лишь ограниченное число экземпляров (лицензий) программы верхнего уровня, а большинство клиентских рабочих мест обеспечивается экземплярами программ нижнего или среднего уровней. При этом возникает проблема обмена информацией между разнотипными CAD-системами. Она решается путем использования языков и форматов, принятых в *CALS*-технологиях, хотя для неискаженной передачи геометрических данных с помощью промежуточных унифицированных языков приходится преодолевать определенные трудности.

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику автоматизированным системам CAD/CAM/CAE.

2. Опишите функции CAD-систем (характеристики параметризации и ассоциативности, геометрическое моделирование).

3. Дайте характеристику основным функциям CAM-систем, включая автоматизацию технологической подготовки производства (CAPP).

4. Опишите модифицированный и генеративный подходы к CAPP.

5. Опишите групповую технологию проектирования и подготовки производства.

6. Обоснуйте необходимость физического моделирования в процессах проектирования (включая технологию быстрого прототипирования).

7. Дайте общую характеристику методам быстрого прототипирования и изготовления (БПИ).

8. Опишите методы стереолитографии, отверждения на твердом основании, избирательного лазерного спекания.

9. Опишите методы трехмерной печати, ламинирования, моделирования методом наплавки.

10. Дайте характеристику основным функциям CAE-систем и перспектив их развития применительно к разработке методов виртуальной инженерии.

11. Опишите структуру и функции виртуальной инженерии.

12. Укажите и опишите основные компоненты виртуальной инженерии.

13. Опишите основное оборудование виртуальной реальности (устройства ввода и вывода информации).

14. Опишите структуру и классификацию существующих САПР.

15. Дайте характеристику системам САПР верхнего уровня Unigrafics, CATIA, Pro/Engineer.

16. Дайте сравнительный анализ системам САПР среднего уровня.

Лекция 5
ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Наибольший успех при разработке сложных (мехатронных) систем может быть достигнут только в случае полной интеграции отдельных подсистем САПР. Поэтому в последние годы получили широкое распространение универсальные интегрированные CAD/CAM/CAE-системы, которые предназначены для комплексной автоматизации процессов проектирования, конструирования и производства различной продукции. Они входят в состав современных САПР. На практике применяется большое число интегрированных систем различных версий и конфигураций для решения конкретных задач проектирования. Такая ситуация порождает большие издержки проектирования, особенно если речь идет об участии большого количества исполнителей при проектировании сложных производственных систем.

Кроме того, в связи с большим объемом технических данных по мере разработки проекта возникает проблема переноса данных из одной системы в другую. Поэтому современные системы должны включать в свой состав программные пакеты, называемые системами управления данных в продуктах – PDM (product data management). Использование такой системы улучшает взаимодействие и повышает эффективность управления проектами. Универсальные CAD/CAM/CAE/PDM-системы обеспечивают следующие функции проектирования:

– трехмерное графическое моделирование;

– различные виды анализа и инженерных расчетов с использованием метода конечных элементов (МКЭ), моделирование кинематики и динамики механизмов и процессов;

– автоматизацию технологической подготовки производства;

– собственные или коммерческие СУБД;

– создание прикладных приложений концептуального проектирования и программного обеспечения сложных систем;

– управление данными проекта;

– обмен данными в различных графических форматах.

В качестве примера интегрированных САПР можно указать системы верхнего уровня: Catia, Unifraphics, Pro/Engineer, SolidWorks.

Далее рассмотрим программное обеспечение, позволяющее создавать и поддерживать интегрированные информационные среды для промышленных автоматизированных систем.

5.1. Системы PDM

Системы PDM предназначены преимущественно для информационного обеспечения проектирования – упорядочения информации о проекте, управление документами и документооборотом (включая спецификации и другие виды представления данных), обеспечения доступа к данным по различным атрибутам, навигации по иерархической структуре проекта. В ряде систем PDM поддерживают информационные связи не только внутри САПР, но и с производственной и маркетинговой документацией [1].

Если рассматривать ситуацию в динамике, то маркетинговые концепции должны передаваться в отдел планирования продуктов и в группу проектирования, которая взаимодействует с производственным отделом и группой поддержки. Сведения об обнаруженных проблемах возвращаются в отделы проектирования и производства. Сведения о продажах и проектах передаются поставщикам и партнерам. Данные о расходах обрабатывает бухгалтерия. Все эти виды деятельности тесно связаны друг с другом, поэтому изменения в содержании или состоянии проекта должны быть доступны всем участникам во избежание дорогостоящих ошибок.

Рассмотрим типичные для систем PDM основные функции [1, 3]:

1) поддержка интерактивной работы пользователя при создании моделей изделий (процессов), структурирование описаний

проектируемых объектов, предъявление пользователю этой иерархической структуры вместе с возможностями навигации по структуре (дереву изделия, проекта) и получение нужной информации по каждой указанной пользователем структурной компоненте;

2) управление конфигурацией изделия (процесса), ведение состава и контроль изменения изделия, сохранение истории проекта, классификация и кодификация изделий;

3) обеспечение целостности проектных данных при управлении версиями проекта и внесение изменений в проект (при изменении версии проекта сначала создается новая версия проекта, а изменения вносятся уже в эту новую версию; одна версия каждого объекта является текущей или активной версией; нельзя одновременно вносить изменения в один и тот же проект разным разработчикам);

4) управление документами и документооборотом, электронным архивом, поддержка классификаторов и справочников, автоматизированное составление спецификаций (в интегрированных САПР в документооборот входит большое число документов, связанных с процедурами маркетинга, планирования, администрирования и т. п.);

5) Использование полнофункциональных систем делопроизводства, разработанных независимо от конкретных PDM (ввод в оборот документов с помощью средств их автоматического распознавания и атрибутирования, поиск нужных данных, поддержка групповой работы над документами, разграничение прав доступа к документам, подготовка отчетов, маршрутизация документов, учет их движения, контроль исполнения предписанных документами действий, автоматическое уведомление соответствующих лиц, планирование работ, связанных с прохождением документов);

6) управление проектами (процессом проектирования) включает распределение основных и вспомогательных заданий и контроль их выполнения, выполнение проектных операций и процедур, пересылку документов и файлов конкретным пользователям, изменение статуса объекта, просмотр и утверждение инженерных проектов, внесение в них изменений и т. п.;

7) визуализация структуры изделия (проекта) в виде дерева, многооконное представление трехмерных изображений;

8) возможность подключения внешних систем;

9) использование криптографических средств и средств электронной подписи.

Интеграция данных на ранних этапах развития PDM связывалась только с организацией сквозного (параллельного) проектирования изделий и систем в рамках конкретной САПР. В настоящее время (как отмечалось выше) основным содержанием проблемы интеграции стало обеспечение интерфейса САПР с другими автоматизированными системами. Проблема решается с помощью поддержки типовых форматов, например путем конвертации данных из общепринятых форматов во внутренние представления конкретных САПР.

Примеры PDM

Первые известные PDM, созданные фирмами, разрабатывающими САПР или АСУП:

– iMAN (Unigrphics Solutions);
– Euclib Design Manager (Matra DataVision);
– Smar Team (Smart Solutions, Dessault Sysytems);
– Baan PDM (BAAN);
– Optegra и ProPDM (PTC);
– ENOVIA (IBM, Dessault Sysytems).

Дополнительные преимущества получены за счет совместного использования CATIA (Dessault Sysytems) и ENOVIA.

На роль PDM претендует система ведения архива технической документации и управления проектными данными Search (Интермех).

Другие примеры PDM:

– STEP Suite;
– Outdo CS PDM (Consistent Software);
– PartY Plus (Лоция Софт);
– Omega Production (СИКОР) может служить основой для интеграции САПР и АСУП.

5.2. Метод обмена данными

Когда две или более CAD/CAM/CAE-системы объединяются и связываются в единое приложение для совместного использования данных, часто возникает проблема обмена данными. Фактически всегда существует проблема (потребность) связать воедино несколько систем либо внутри одной организации, либо внешне, как в случае со смежниками (по проекту) или поставщиками компонентов. Для решения этой коммуникационной проблемы необходима возможность преобразовать данные технических требований одной системы в форму, понятную для других систем, и наоборот. Чтобы облегчить преобразование и не разрабатывать программы-конверторы для всех возможных пар САПР, было предложено несколько стандартных форматов для хранения данных технических требований. Вкратце рассмотрим типичные стандартные форматы.

Различные CAD/CAM/CAE-системы хранят данные технических требований в структурах разного вида, поэтому для переноса данных необходимо преобразовать данные технических требований одной системы в формат другой. Еще один конвертор (преобразователь) необходим для переноса данных между двумя системами в противоположном направлении. Следовательно, для каждой пары систем необходимо иметь два конвертора. Двунаправленные стрелки для каждой пары систем (рис. 5.1, *а*) предполагают наличие двух конверторов. Эти конверторы для каждой конкретной пары систем называются *прямыми конверторами* (*direct translators*). Если у нас есть n различных систем, нам необходимо разработать $n(n - 1)$ конверторов, поскольку количество пар систем равно $n(n - 1)/2$. Например, для обмена данными между 10 системами придется разработать 90 конверторов. Таким образом, метод прямого конвертирования непрактичен, так как требует разработки слишком большого количества конверторов при необходимости работать с множеством систем. Более того, добавление одной системы к n уже имеющимся потребует написания $2n$ дополнительных конверторов.

а) *б*)

Рис. 5.1. Два метода обмена данными между двумя различными системами

Однако обмен данными можно обеспечить, введя нейтральную структуру базы данных, называемую *нейтральным файлом* (*neutral file*), которая была бы независима от существующих САПР. Эта структура будет действовать как промежуточная точка коммуникации между различными структурами баз данных САПР (рис. 5.1, *б*).

Таким образом, в каждой системе будет своя пара конверторов для экспорта и импорта данных в этот нейтральный формат. Конвертор, преобразующий данные из собственного формата данной системы в нейтральный формат, называется *препроцессором* (*pre-processor*), а конвертор, выполняющий обратное преобразование, – *постпроцессором* (*post-processor*) (рис. 5.2). Соответственно в этом случае для обмена данными между *n* системами потребуется 2*n* конверторов и лишь два дополнительных конвертора необходимо будет добавить при введении новой системы.

Иными словами, этот косвенный метод свободен от присущего прямому методу недостатка, когда требовалось писать всевозрастающее количество программ. Это основная причина, по которой косвенный метод принят в качестве главного метода обмена данными между различными системами, несмотря на то что в сравнении с прямым методом у него имеются некоторые недостатки. В частности, прямые конверторы работают быстрее косвенных, и создаваемые ими файлы данных обычно имеют

меньший размер, чем нейтральные файлы, генерируемые косвенными конверторами. Файл данных в собственном формате конкретной системы обычно также оказывается меньше нейтрального файла из-за обобщенной природы последнего. Когда мы переносим данные технических требований через нейтральный файл, некоторая информация, как правило, теряется, особенно информация о топологическом дереве и ограничениях в системах параметрического моделирования.

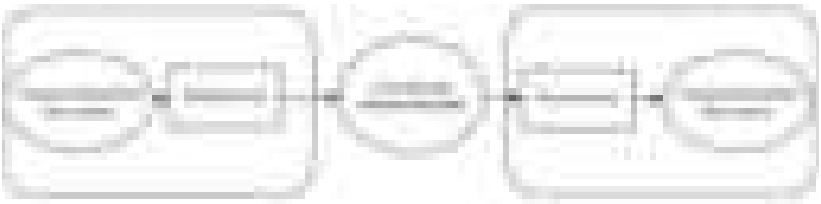


Рис. 5.2. Обмен данными с использованием нейтрального файла

Известны три типичных формата нейтрального файла: IGES (*Initial Graphics Exchange Specification* – первоначальная спецификация обмена графическими данными), DXF (*Drawing Interchange Format* – формат обмена чертежами) и STEP (*Standard for Exchange of Product model data* – стандарт обмена данными о модели продукта). В настоящее время IGES является самым популярным форматом нейтрального файла, а формат DXF используется главным образом для обмена данными чертежей. STEP – это стандартный формат данных, используемый для хранения полной информации обо всем жизненном цикле продукта, включая проектирование, анализ, производство, контроль качества, испытания и обслуживание помимо обычных данных технических требований. В настоящее время CAD-системы, поддерживавшие формат IGES, ориентированы на переход к формату STEP.

В лекции 7 будут рассмотрены и другие способы организации информационных обменов.

5.3. Тенденции в развитии интегрированных систем [10, 11]

Сегодня информационная поддержка проектирования, конструирования и технологической подготовки сложных (мехатронных) производств, как правило, осуществляется с использованием преимущественно САПР верхнего уровня. Их выбор определяется способностью конкретных САПР решать поставленные перед производителем задачи.

Интегрированная CAD/CAM/CAE-система, дополненная средствами трехмерного проектирования и анализа, способными работать в распределенной компьютерной сети и удовлетворяющими принципам параллельного проектирования, определяет основную тенденцию ее развития.

Для дальнейшего развития интегрированных систем необходимо не только расширение функциональных возможностей системы проектирования, но и кардинального повышения производительности труда разработчиков, которая снижается в связи с возрастающим объемом обмена информацией между группами проектировщиков. Кроме того, требует решения еще одна проблема, связанная со сложностью переноса систем на другие платформы (например, с UNIX-платформы на платформу Wintel). Еще одна трудность возникает при необходимости ввести новый элемент в группу деталей, сохраненных в базе данных системы. Для этого соответствующая программная библиотека должна быть расширена, а затем перекомпилирована. Когда изменяются задачи проектирования, то проектировщики должны создавать новые прикладные подсистемы, не имея возможности применить разработанный ранее аппарат, аккумулирующий их «ноу-хау».

Поэтому предложенные в новых поколениях интегрированных систем их открытость и использование объектно-ориентированного проектирования (см. п. 3.3) направлены на преодоление некоторых указанных выше недостатков и ограничений.

Объектно-ориентированная модель определяется как электронная модель реального физического объекта, а не только как

представление его геометрии, и содержит не только геометрию объекта, но и все негеометрические его параметры, атрибуты и связи. Например, описание гидравлического пресса в виде «объекта» проектирования кроме размеров его конструктивных элементов будет содержать еще такие атрибуты, как «максимальное усилие», «величина давления в гидросистеме», «производительность» и «дата установки». В описание «объекта» также будут входить возможности его модификации, а также его отдельные компоненты, которые можно исследовать на прочность и надежность функционирования при различных эксплуатационных условиях.

Построенная на основе объектно-ориентированных моделей система CAD/CAM позволяет вводить описание объектов нового вида как подкласс более общего класса. Новый объект сможет наследовать не только атрибуты, но и методы преобразования уже известных объектов, что заодно существенно упрощает расширение базы данных конкретной системы и сокращает время проектирования объекта. В системы CAD/CAM/CAE закладываются возможности многократного повторного применения в разных проектах одних и тех же элементов конструкций и процессов.

Новая объектно-ориентированная архитектура открыта и обеспечивает широкое участие в совместном проектировании специалистов различных групп от заказчиков поставщиков комплектующих, до аналитиков и технологов.

Учитывая, что данные проекта – это самая ценная часть системы, то особенно тщательно должны быть разработаны все средства доступа к проектным данным и их обработки, обеспечивающие максимально высокую степень их непротиворечивости, защищенности и сохранности.

Возможность и направленность дальнейшего развития CAD/CAM/CAE-систем будут рассмотрены в лекции 7 «Информационная поддержка жизненного цикла мехатронных систем».

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику интегрированного подхода к разработке мехатронных систем.

2. Определите основное назначение систем PDM.

3. Опишите три первые (1–3) типичные функции PDM.

4. Опишите три следующие (4–6) типичные функции PDM.

5. Опишите три последние (7–9) типичные функции PDM.

6. Приведите примеры PDM.

7. Обоснуйте необходимость обмена данными между разными САПР.

8. Опишите метод прямого конвертирования обмена данными.

9. Опишите метод с использованием нейтрального файла обмена данными (косвенный метод).

10. Проведите сравнительный анализ двух методов обмена данными.

11. Опишите три типичных формата нейтрального файла.

12. Проведите сравнительный анализ трех типичных форматов нейтрального файла.

13. Опишите схему обмена данными с использованием нейтрального файла.

14. Перечислите дополнительные средства, необходимые для расширения функциональных возможностей CAD/CAM/CAE-систем.

15. Перечислите проблемы, которые необходимо решить для дальнейшего развития интегрированных CAD/CAM/CAE-систем.

16. Объяснить, почему открытость интегрированных систем и использование объектно-ориентированного проектирования направлены на дальнейшее развитие интегрированных систем.

Лекция 6
КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

6.1. Основные положения

Следуя [12], отметим, что проектирование – сложная итерационная процедура, содержащая множество неформальных решений. И тем не менее существует определенная последовательность проектных действий.

Первым этапом (часто говорят верхним уровнем) проектирования является разработка концепции изделия (концептуальное проектирование). Концепция изделия (процесса) – это система взглядов на будущее изделие (производственного процесса).

Концептуальное проектирование выполняют в процессе предпроектных исследований (см. рис. 3.2), когда формируется техническое задание (ТЗ), технические предложения и эскизный проект будущего изделия (производственного процесса).

Все выше сказанное относится и к процедуре модернизации (реинжинирингу) деятельности предприятия, на котором реализуется производственный процесс.

Предпроектные исследования предприятий, на которых создаются или модернизируются производственные процессы, проходят путем обследования этих предприятий. На основе результатов обследования строят модель, отражающую деятельность предприятия на данный момент (до модернизации). Такую модель называют «AsIs' (как есть). В процессе проектирования нового производственного процесса в качестве модели «AsIs' принимается ее ближайший прототип.

Далее путем изменения модели «AsIs' разрабатывают новую модель производственного процесса, которую называют моделью «ToBe» (как должно быть). Модель «ToBe» – это сложная модель, которая имеет несколько аспектов описания. В ее состав входят *функциональные*, *информационные*, *поведенческие* и *структурные* модели.

Функциональная модель системы описывает совокупность выполняемых системой функций. Она должна отвечать на следующие вопросы [12]: «Какие функции выполняет система?», «Какова структура функций?», «Что есть вход и выход функций?», «Что обеспечивает управление функцией?», «Как связаны функции и компоненты системы?», «Как избежать дублирования функций?». В функциональную структуру должны войти, как минимум, все функции, приведенные в ТЗ на систему.

Информационная модель отражает структуры данных – их состав и взаимосвязи.

Поведенческая модель описывает функционирование системы (процессов) как упорядоченную последовательность событий с одновременным описанием объектов, имеющих непосредственное отношение к процессу. В ней фигурируют такие категории, как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условия перехода, последовательность событий. Если функциональная модель позволяет ответить на вопрос: «Что делает система?», то поведенческая модель объясняет «Как система это делает». В основе поведенческого моделирования лежат модели имитационного моделирования систем массового обслуживания, сети Петри, методы конечного автомата.

Структурная модель характеризует совокупность элементов системы и их взаимосвязь, описывает морфологию (построение) системы.

Концептуально современный подход к созданию и информационному обеспечению сложных (мехатронных) производственных процессов и систем базируется на следующих общих положениях:

1. Основой разработки мехатронных систем служат методы *совмещенного* (*параллельного*) проектирования, предполагающие

совмещение во времени некоторых этапов проектирования, выполняемых последовательно при традиционном проектировании (например, последовательно выполняется разработка механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы с последующей разработкой интерфейсных блоков).

2. Синергетический характер мехатронных систем проявляется в том, что составные части системы не просто дополняют друг друга, но объединяются таким образом, что образованная ими система начинает обладать новыми свойствами. При этом мехатронные системы, в отличие от традиционных, обладают меньшей структурной избыточностью и большей степенью интеграции. В результате повышается конструктивная компактность системы (вплоть до миниатюризации в микромашинах), улучшаются массогабаритные и динамические характеристики машин, упрощаются кинематические цепи. Возникают дополнительные возможности при проектировании мехатронных систем, наилучшим образом отвечающие требованиям заказчика. Функциональное, структурное и конструктивное объединение разных по физической природе элементов, связанных между собой аппаратными и программными интерфейсами – основа мехатронного подхода к процессу проектирования производственных процессов и систем.

3. Интегрированные мехатронные элементы выбираются разработчиком уже на стадии проектирования машины, а затем обеспечивается необходимая инженерная и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации машины. В этом радикальное отличие мехатронных машин от традиционных, когда зачастую пользователь был вынужден самостоятельно объединять в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства различных изготовителей. Именно поэтому многие сложные комплексы (например, некоторые гибкие производственные системы в отечественном машиностроении) показали на практике низкую надежность и невысокую технико-экономическую эффективность.

4. Проектирование мехатронных систем базируется на идеях модульного конструирования, при котором из отдельных

многофункциональных модулей (механической, электронной, компьютерной частей системы) компонуются гибкие сложные системы модульной архитектуры.

5. В мехатронных системах наблюдается перераспределение функциональной нагрузки от аппаратных (например, электромеханических) модулей к информационным (компьютерным) модулям. При этом исключается многоступенчатое преобразование энергии и информации.

6. При проектировании мехатронных систем широко применяются методы *визуализации динамических процессов*, протекающих в системах, вплоть до использования систем *виртуальной реальности* при проектировании сложных технических систем.

7. Высокий уровень интеллектуализации мехатронных систем диктует необходимость проектирования интеллектуальных систем управления (для борьбы с неопределенностями, сопутствующими функционированию сложных динамических систем). При этом необходим обоснованный выбор интеллектуальных технологий при проектировании многоуровневых иерархических систем управления.

8. Использование концепции АКУ (аппарат конфигурируемого управления), у которой маневренность является приоритетной функцией. Ранее при создании машины сначала выполняли базовое проектирование (с точки зрения физики и механики), а затем в качестве подсистемы разрабатывали систему управления. Но оказалось, что можно спроектировать более эффективную машину, если еще на этапе базового проектирования заложить основы системы управления, используя принципы АКУ. При этом машина может реализовать свои функции только благодаря существованию системы управления. Таким способом можно добиться максимальной динамичности системы (машины). Устойчивость достигается благодаря наличию контуров управления. Концепция АКУ широко используется в самолетостроении.

9. Широкое использование «встроенных» систем (внедрение цифровых электронных блоков и микропроцессоров в мехатронные узлы машин и систем).

10. Бессенсорное управление – перенос функциональной нагрузки на интеллектуальные устройства мехатронных систем.

Практическое воплощение данных принципов требует привлечения всех современных методов проектирования и поддержки функционирования сложных (мехатронных) систем.

6.2. Инструментальные средства концептуального проектирования и модернизации систем

В современных информационных технологиях важное место отводится инструментальным средствам и средам разработки и модернизации мехатронных систем (производственных процессов и систем). Эти технологии и среды образуют системы, называемые CASE-технологиями (или CASE-системами).

CASE-технологии [3, 11]

Аббревиатура CASE имеет двойное толкование, соответствующее двум направлениям использования CASE-технологий. Первое из них Computer Aided Software Engineering, что переводится как «автоматизированное проектирование программного обеспечения». Соответствующие CASE-технологии называют инструментальными средами разработки программного обеспечения (ПО). В этом случае CASE-технологии часто отождествляют с инструментальными средами разработки ПО, называемыми средами быстрой разработки приложений (RAD – Rapid Application Development). Примерами широко известных инструментальных сред RAD являются Delphi, Borland, C++, PowerSoft, СУБД (Oracle). Кроме того, используются специализированные средства (Tools). Эти текстовые и графические редакторы, электронные таблицы, User-пакеты и языки для создания приложений в составе CAD/CAM-систем и т. п. Наряду с самостоятельными

RAD-системами имеются и RAD-системы в составе САПР. Это прежде всего системы CAS.CADE фирмы Matra Datavision.

Второе направление, в котором используются CASE-технологии, – это поддержка концептуального проектирования сложных, слабоструктурированных систем – Computer Aided System Engineering. Далее CASE-технологии этого направления будем называть *системами CASE для концептуального проектирования*.

Среди систем CASE для концептуального проектирования различаются, описанные выше системы *функционального*, *информационного* и *поведенческого* проектирования. Наиболее известной методикой функционального проектирования сложных систем является методика SADT (Structured Analysis and Design Technique), предложенная в 1973 г. Р. Россом и впоследствии ставшая основой стандарта IDEF0 (Integrated DEFinition 0) – язык функционального проектирования. Для информационного моделирования использована методика инфологического (информационного) проектирования баз данных IDEF1X. Для поведенческого (динамического) моделирования используется методика IDEF3.

Процесс построения функциональных, информационных и поведенческих моделей автоматизируется за счет применения поддерживающих методологию IDEFсистем – BPWin, ERWin, OOWin, Design/IDEF и др. При этом в начале методом CASE-технологий строится модель процесса (As Is) – «как есть», а затем, после ее анализа и оптимизации с учетом использования современных интегрированных CAD/CAM/CAE/PDM-систем и вновь предложенных компонентов, – модель (To Be) – «как нужно».

Подсистему CASE в составе системной среды САПР можно рассматривать как специализированную САПР, в которой объектом проектирования являются новые версии подсистем САПР, в частности версии, адаптированные к требованиям конкретного заказчика.

Методика IDEF0, IDEF1X, IDEF3 [1, 3]

Рассмотрим кратко методологию SADT. Подход SADT относится к классу формальных методов, используемых при анализе

и разработке модели системы. SADT-модель предназначена для полного, точного и адекватного описания системы, имеющей конкретное назначение. Это назначение, называемое целью модели, вытекает из формального определения модели в SADT: «*М моделирует А, если М отвечает на вопросы относительно А*». Разработку SADT-модели начинают с формулировки вопросов, на которые модель должна дать ответы, т. е. формулируется цель моделирования. Далее дается точное определение границ моделируемой системы (модель точно устанавливает, что является и что не является субъектом моделирования). Ограничивая субъект, SADT-модель помогает сконцентрировать внимание на описываемой системе и позволяет избежать включение посторонних субъектов. Таким образом, SADT-модель должна иметь единственный субъект. Кроме того, SADT требует, чтобы модель рассматривалась все время с одной той же позиции. Эта позиция называется «точкой зрения» данной модели и однозначно определяет цель и субъект, например, конкретного технологического (производственного) процесса. Иногда только одна из множества возможных точек зрения может дать описание, удовлетворяющее цели модели. Например, для создания согласованной модели производственного процесса нужно встать на точку зрения главного инженера предприятия.

После того как определены субъект, цель и точка зрения модели, начинается первая интеграция процесса моделирования по методике SADT. Субъект определяет, что включить в модель, а что исключить из нее. Точка зрения диктует автору модели выбор нужной информации о субъекте и форму ее подачи. Цель становится критерием окончания моделирования. Конечным результатом этого процесса является набор тщательно взаимосвязанных описаний, начиная с описания самого верхнего уровня всей системы и заканчивая подробным описанием технологических операций производственного процесса.

Каждое из таких взаимосвязанных описаний называется диаграммой. Модель SADT можно представить в виде древовидной структуры диаграмм, где верхняя диаграмма является наиболее общей, а самые нижние наиболее детализированы. Ниже будут приведены примеры таких диаграмм.

Министерство обороны США (DoD) использовало методику SADT в качестве части своей программы ICAM–$5ntegrated Computer Aided Manufacturing (интеграция компьютерных и промышленных технологий) и назвала ее IDEF0 (Integrated DEFinition 0) – язык функционального моделирования.

IDEF0 – это более строгая реализация ранее предложенной методики SADT (*Structured Analysis and Design Technique*). Начиная с момента создания первой версии, методика успешно применялась для проектирования телефонных сетей, систем управления воздушными перевозками, производственных предприятий и др.

Описание объектов и процессов в IDEF0 выполняется в виде совокупности взаимосвязанных блоков (рис. 6.1), называемых блоками ICOM (*Input – Control – Output – Mechanism*), где *I* –вход, *C* – управление, *O* – выход, *M* –механизм.

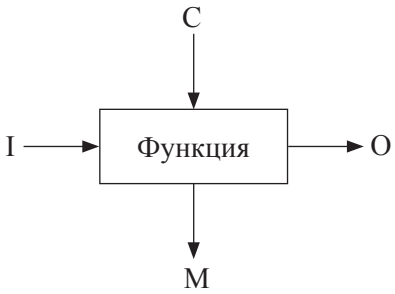


Рис. 6.1. Блок ICOM

Блоки представляют функции (работы), их названия выражаются глаголами или отглагольными существительными. Типичные примеры функций: планировать, разработать, классифицировать, измерить, изготовить, отредактировать, рассчитать, продать (или планирование, разработка, классификация, измерение, изготовление, редактирование, расчет, продажа). Число блоков на одном уровне иерархии – не более 6, иначе восприятие диаграмм будет затруднено. Число уровней иерархии не ограничено, но обычно – не более 5. Блоки в диаграммах IDEF0 связаны

дугами (стрелками), которые отображают множества объектов (данных). Управление (*control*) определяет условия выполнения. Примеры управления: требования, чертеж, стандарт, указания, план. Механизм (*mechanism*) выражает используемые средства, например: компьютер, САПР, оснастка, заказчик, фирма. Входы и выходы могут быть любыми объектами.

Пример диаграммы IDEF0 показан на рис. 6.2, где представлены функции, выполняемые на начальных этапах процесса реинжиниринга предприятия. На диаграмме показаны четыре этапа подготовки к реинжинирингу.

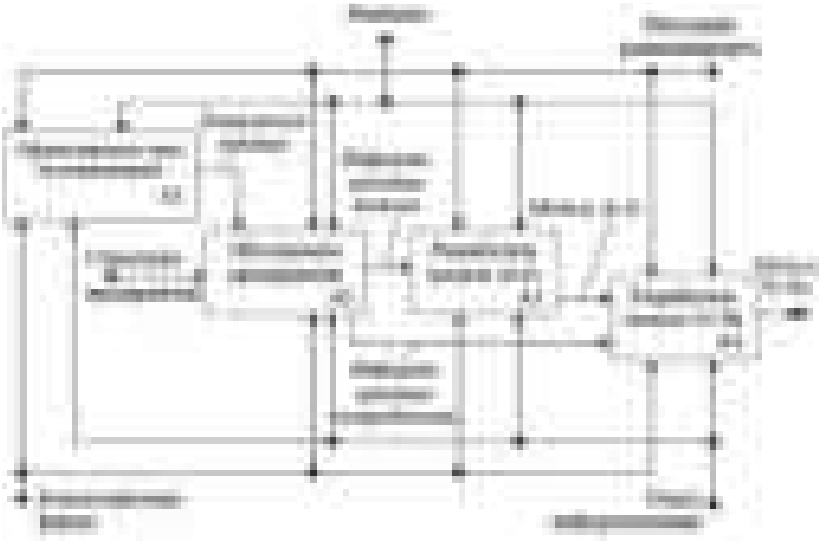


Рис. 6.2. Пример IDEF0-диаграммы

После формулировки заказа на перестройку процессов функционирования на базе информатизации управления производится обследование предприятия, выявляются его структура, информационные потоки между подразделениями, внешние информационные связи, степень компьютеризации, наличие вычислительной сети и т. п. На основании полученных данных составляется функциональная модель As Is и разрабатывается

модель To Be. Эта модель верхнего уровня далее конкретизируется, каждая из функций раскрывается более подробно на диаграммах следующих уровней.

Методика информационного проектирования приложений IDEF1X основана на построении информационных моделей приложений в виде диаграмм «сущность – связь». Для описания сущностей и отношений используется язык диаграмм.

Сущности в IDEF1X-диаграммах изображаются в виде прямоугольников, отношения – в виде стрелок. Отношения между сущностями в IDEF1X являются бинарными. Выделяют *идентифицирующие отношения* – связи типа «родитель – потомок», в которых потомок (зависимая сущность) однозначно определяется своей связью с родителем, и *неидентифицирующие отношения*, означающие, что у связанного этим отношением экземпляра одной сущности может быть (а может и не быть) соответствующий экземпляр второй сущности. Идентифицирующее отношение изображают на диаграмме сплошной линией между прямоугольниками связанных сущностей, неидентифицирующее – пунктирной линией. На дочернем конце линии должно быть утолщение (жирная точка). Мощность k связи – число экземпляров зависимой сущности, соответствующее одному экземпляру родительской сущности. Известное значение мощности может быть указано около утолщенного конца линии связи. При этом символ p означает $k \geq 1$, а символу z соответствует $k = 0$ или 1. Отсутствие символа интерпретируется как $k \geq 0$.

Различают также специфические и неспецифические отношения. *Неспецифические отношения* – это связи типа «многие ко многим», они обозначаются сплошной линией с утолщениями на обоих концах.

В отношениях «родитель – потомок» возможно наличие у потомка единственного родителя или нескольких родителей (ассоциативная связь). Выделяют также отношения категоризации (наследования), отражающие связи между некоторой общей сущностью и вариантами ее реализации (категориями). Примером категориальной связи является отношение «тип прибора – альтернативные варианты этого прибора».

Среди атрибутов различают ключевые и неключевые. Значение *ключевого атрибута* (*ключа*) однозначно идентифицирует экземпляр сущности. *Внешний ключ* – это атрибут (или атрибуты), входящий в ключ родителя и наследуемый потомком. На IDEF1X-диаграммах ключи записываются в верхней части прямоугольника сущности, причем внешние ключи помечают меткой FK (*Foreign Key*), неключевые атрибуты помещают в нижнюю часть прямоугольников. В идентифицирующих отношениях все ключи родителя входят и в ключи потомка, в неидентифицирующих – ключи родителя относятся к неключевым атрибутам потомка.

Между IDEF0 и IDEF1X-моделями одного и того же приложения существуют определенные связи. Так, стрелкам на IDEF0-диаграммах соответствуют атрибуты некоторых сущностей в IDEF1X-моделях, что нужно учитывать при построении информационных моделей.

Поведенческие аспекты приложений отражает методика IDEF3. Если методика IDEF0 связана с функциональными аспектами и позволяет отвечать на вопросы «Что делает система?», то в IDEF3 детализируются и конкретизируются IDEF0-функции и IDEF3-модель отвечает на вопросы «Как система это делает?». Язык IDEF3 – язык диаграмм, помогающий разработчику моделей наглядно представить моделируемые процессы. В IDEF3 входят два типа описаний: 1) процессно-ориентированные в виде последовательности операций; 2) объектно-ориентированные, выражаемые диаграммами перехода, характерными для конечно-автоматных моделей [3]. Программный продукт ProSim реализует методику IDEF3.

В заключение этого раздела рассмотрим все семейство стандартов IDEF. Применяемые в CASE-средствах разные методики и модели описывают различные свойства систем, важные, например, с точки зрения их автоматизации, а также позволяющие количественно оценить параметры проектов. Следует отметить, что спектр свойств систем различного назначения очень широк, и не все они к настоящему времени отражены в адекватных моделях. В то же время для класса информационных систем

организационного типа (*Management Information Systems* – MIS) адекватные модели разработаны и поддерживаются соответствующими средствами автоматизации.

Взаимная совокупность методик и моделей концептуального проектирования IDEF (*Integrated DEFinition*) разработана в США по программе *Integrated Computer Aided Manufacturing*. В настоящее время имеются методики функционального, информационного и поведенческого моделирования и проектирования, в которые входят IDEF-модели, приведенные ниже.

Название	**Назначение**
IDEF0	Функциональное моделирование *Function Modeling Method*
IDEF1 и **IDEF1X**	Информационное моделирование *Information and Data Modeling Method*
IDEF2	Поведенческое моделирование *Simulation Modeling Method*
IDEF3	Моделирование деятельности *Process Flow and Object Stale Description Capture Method*
IDEF4	Объектно-ориентированное проектирование *Object-oriented Design Method*
IDEF5	Систематизация объектов приложения *Ontology Description Capture Method*
IDEF6	Использование рационального опыта проектирования *Design Rational Capture Method*
IDEF8	Взаимодействие человека и системы *Human-System Interaction Design*
IDEF9	Учет условий и ограничений *Business Constraint Discovery*
IDEF14	Моделирование вычислительных сетей *Network Design*

IDEF0 реализует методику функционального моделирования сложных систем. Наиболее известной реализацией IDEF0 является методология SADT (*Structured Analysis and Design Technique*), предложенная в 1973 г. Д. Россом и впоследствии ставшая осно-

вой стандарта IDEF0. Эта методика рекомендуется для начальных стадий проектирования.

IDEF1X и **IDEF1** реализуют методики инфологического проектирования баз данных. В IDEF1X имеется ясный графический язык для описания объектов и отношений в приложениях, так называемый язык диаграмм «сущность – связь» (ERD – *Entry-Relations Diagrams*). Разработка информационной модели по IDEF1X выполняется в несколько этапов:

– выясняются цели проекта, составляется план сбора информации, при этом обычно исходные положения для информационной модели следуют из IDEF0-модели;

– выявляются и определяются основные сущности – элементы базы данных, в которых будут храниться эти системы;

– выявляются и определяются основные отношения, результаты представляются графически в виде так называемых ER-диаграмм;

– детализируются нестандартные отношения, определяются ключевые атрибуты сущностей; детализация отношений заключается в замене связей «многие ко многим» на связи «многие к одному» и «один ко многим»;

– определяются атрибуты сущностей.

IDEF2 и **IDEF3** реализуют поведенческое моделирование. Если методика IDEF0 связана с функциональными аспектами и позволяет отвечать на вопрос «Что делает система?», то в этих методиках детализируется ответ «Как система это делает». В основе поведенческого моделирования лежат модели и методы имитационного моделирования систем массового обслуживания, сети Петри, возможно применение модели конечного автомата, описывающей поведение системы как последовательности смен состояний.

Перечисленные методики относятся к так называемым структурным методам.

IDEF4 реализует объектно-ориентированный анализ больших систем. Он предоставляет пользователю графический язык для изображения классов, диаграмм наследования, таксономии методов.

IDEF5 направлен на представление онтологической информации приложения в удобном для пользователя виде. Для этого используются символические обозначения (дескрипторы) объектов, их ассоциаций, ситуаций и схемный язык описания отношений классификации, «часть-целое», перехода и т. п. В методике имеются правила связывания объектов (термов) в предложения и аксиомы интерпретации термов.

IDEF6 направлен на сохранение рационального опыта проектирования информационных систем, что способствует предотвращению структурных ошибок.

IDEF8 предназначен для проектирования диалогов человека и технической системы.

IDEF9 используется для анализа имеющихся условий и ограничений (в том числе физических, юридических, политических) и их влияния на принимаемые решения в процессе реинжиниринга.

IDEF14 предназначен для представления и анализа данных при проектировании вычислительных сетей на графическом языке с описанием конфигураций, очередей, сетевых компонентов, требований к надежности и т. п.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «концептуальное проектирование» (модели «As Is» и «To Be»).

2. Опишите функциональную и информационную модели производственного процесса (модели «To Be»).

3. Опишите поведенческую и структурную модели производственной системы.

4. Перечислите общие положения, на которых концептуально базируется современный подход к созданию и информационному обеспечению сложных процессов и систем.

5. Раскройте понятие «совмещенное (параллельное)» проектирование. Приведите пример.

6. В чем проявляется синергетический характер мехатронных систем?

7. Объясните причины широкого применения методов визуализации и использования «встроенных» систем при проектировании сложных систем.

8. Чем объясняется необходимость проектирования интеллектуальных систем управления сложными системами?

9. Раскройте двойное толкование аббревиатуры CASE.

10. Рассмотрите кратко методологию SADT.

11. Укажите основное назначение методик IDEF0, IDEF1X, IDEF3.

12. Опишите процесс построения функциональных моделей в процессе проектирования сложных систем (с использованием IDEF0-методики).

13. В чем состоит суть методики информационного проектирования сложных систем (приложений) IDEF1X?

14. Какие аспекты проектирования отражает методика IDEF3?

15. Охарактеризуйте все семейство стандартов IDEF.

16. Перечислите методики IDEF, относящиеся к структурным методам проектирования.

Лекция 7
ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Описанные выше методы IDEF задают единообразный подход к моделированию приложений, но не затрагивают проблем единообразного представления данных в процессах информационного обмена между разными компьютерными системами и приложениями. Необходимость решения этих проблем в интегрированных CAD/CAM/CAE-системах привела к появлению ряда унифицированных форматов представления данных в межкомпьютерных обменах, среди которых наиболее известными в машиностроении являются форматы IGES, DXF (см. раздел 5.2), EDIF в электронике и другие. Ограниченные возможности этих стандартов обусловили развитие работ в направлении полной информации обо всем жизненном цикле продукта, включая проектирование, анализ производства, контроль качества, испытание и обслуживание, помимо обычных данных технических требований, и привели к появлению формата STEP (Standard for Exchange jf Product data – стандарт обмена данными о модели продукта) в составе CALS-технологий.

7.1. CALS-технологии (основные понятия) [1, 3]

В настоящее время термин CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) как «Непрерывное сопровождение и информационная поддержка всех этапов жизненного цикла изделий (ЖЦ)». На русском языке понятию CALS соответствует ИПИ (информационная поддержка изделий) или КСПИ (компьютерное сопровождение и поддержка изделий).

Из этих определений следует, что CALS-технологиями называются технологии комплексной компьютеризации всех сфер промышленного производства, цель которых – унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла (см. рис. 1.1). Основные спецификации представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой и эксплуатационной документацией. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте.

Стратегия CALS предполагает создание единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников ЖЦ изделия. ЕИП предполагает представление всей информации об изделии в электронном виде и организацию совместного использования информации для всех участников ЖЦ изделия (в соответствии с правилами доступа).

Основные свойства ЕИП:

– информация предоставляется в электронном виде;

– охватывается вся информация об изделии, созданная всеми исполнителями на любом этапе ЖЦ;

– ЕИП выступает основным источником данных для исполнителей, предоставляя (в соответствии с правами доступа) нужную информацию в нужное время и в нужном виде;

– для интеграции информации в ЕИП используются только международные и отраслевые стандарты, поддерживаемые подавляющим большинством производителей прикладных систем;

– для создания ЕИП используются существующие на предприятиях программно-аппаратные средства; необходима адаптация этих систем к работе в рамках ЕИП.

Стратегия CALS предусматривает два этапа при переходе к ЕИП:

– автоматизация отдельных процессов (или этапов) ЖЦ изделия и представление данных на них в электронном виде;

– интеграция автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, уже представленных в электронном виде, в рамках ЕИП.

CALS-технологии – это набор методов реализации стратегии CALS:

– технологии реинжиниринга бизнес-процессов – набор методов реструктуризации бизнес-процессов в целях повышения их эффективности;

– технологии представления данных об изделии в электронном виде – набор методов для представления в электронном виде данных об изделии, относящихся к отдельным процессам ЖЦ изделия. Эти данные являются информационными моделями, обеспечивающими автоматизацию отдельных процессов ЖЦ изделия. Технологии представления данных включают в себя также технологии перевода данных из бумажного в электронный вид (*E-commerce* – *E*-бизнес). Рассматриваемая группа CALS-технологий состоит из известных методов, реализованных в соответствующих автоматизированных системах;

– технологии интеграции данных об изделии в рамках ЕИП – набор методов для интеграции автоматизированных процессов ЖЦ и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде, в рамках ЕИП; эти технологии реализуются с помощью класса автоматизированных систем, называемых системами управления данными об изделии (проектными данными) – PDM (*Product data Management*). Для реализации технологии PDM существуют специализированные программные средства, называемые PDM-системами. Пользователями PDM-систем являются конструкторы, технологи, а также сотрудники, работающие в других сферах производства и обслуживания – продажи, маркетинга, снабжения, финансов, сервиса, эксплуатации и т. п.

Главная задача создания и внедрения CALS-технологий – обеспечение единообразных описаний и интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и применяющих разные системы CAE/CAD/CAM. Одна и та же

конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация – адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

CALS-технологии не отвергают существующие автоматизированные системы проектирования и управления, а являются средством их эффективного взаимодействия. Поэтому интеграция автоматизированных систем на современных предприятиях должна быть основана на CALS-технологиях. Внедрение их требует освоения имеющихся технологий и CALS-стандартов, развития моделей, методов и программ автоматизированного проектирования и управления. Важные проблемы, требующие решения при создании CALS-систем, – управление сложностью проектов и интеграция программного обеспечения, включая вопросы декомпозиции проектов, распараллеливания проектных работ, целостности данных, межпрограммных интерфейсов и др.

CALS-технологии зародились в 1980-е гг. в недрах военно-промышленного комплекса США в связи с их планами в области стратегической оборонной инициативы (СОИ). Поэтому не удивительно, что среди имеющихся CALS-стандартов фигурирует большое число стандартов и рекомендаций DoD (Министерства обороны США). Для реализации планов СОИ требовались совместные усилия многих промышленных компаний и предприятий в проектировании, производстве и логистической поддержке сложных изделий, а это означало необходимость унификации представления данных об изделиях. Было осознано, что для взаимодействия автоматизированных систем разных предприятий нужна унификация не только формы, но и содержания (семантики) проектной, технологической, эксплуатационной и другой информации о совместно производимой продукции. Другими словами, требовалось создание единой информационной среды взаимодействия всех крупнейших фирм американского военно-промышленного комплекса.

Оказалось, что это чрезвычайно сложная проблема, решение которой требует длительной и многосторонней проработки в масштабах, выходящих за пределы одной страны. Выяснилось также, что создание единой информационной среды требуется не только для уникальных программ типа СОИ, но и для производства любых сложных систем, в первую очередь военной техники, если ее производство основано на взаимодействии многих предприятий.

В связи с возникшими практическими потребностями рядом комиссий и комитетов в рамках международных организаций были начаты работы по созданию информационных технологий и взаимодействию предприятий и выражающих их международных стандартов. Например, в Международной организации стандартизации (*International Standard Organization* – ISO) этими вопросами ведает подкомитет SC4 комитета TC184. В SC4 имеется несколько рабочих групп, занимающихся конкретными сериями стандартов. В настоящее время в ведущих индустриальных странах мира созданы национальные органы, координирующие работу в области CALS-технологий. В международном масштабе развитием CALS помимо ISO занимаются и такие организации, как ICC (*International CALS-Congress*), EIA (*Electronics Industry Association*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) и др. В России в рамках Госстандарта создан технический комитет № 431 «CALS-технологии».

В 1990-х гг. разработан и к настоящему времени принят ряд серий международных стандартов, представляющих CALS-технологии, среди которых наиболее значимы стандарты ISO 10303 STEP (*Standard for Exchange of Product Data*). В контрактах, заключаемых на поставку зарубежным заказчикам военной техники, требования к изделиям и документации на них, как правило, формулируются с позиций международных CALS-стандартов и стандартов DoD (последние имеют префикс MIL).

Развитие CALS-технологий стимулирует образование виртуальных производств, при которых процесс создания спецификаций с информацией для программного управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия,

может быть распределен во времени и пространстве между многими организационно автономными проектными организациями.

Ожидается, что успех на рынках сложной технической продукции будет немыслим вне CALS-технологий. Так, уже сегодня фирмы, предлагающие военную технику без электронной документации, выполненной в соответствии с CALS-стандартами, не имеют никаких шансов на успех в конкурентной борьбе.

Итак, CALS-технологии призваны, в конечном счете, повысить эффективность создания и использования сложной техники (в том числе мехатронных систем). В чем выражается повышение эффективности?

Во-первых, улучшается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений. Так, обоснованность решений, принимаемых в автоматизированной системе управления предприятием (АСУП), будет выше, если лицо, принимающее решение, и соответствующие программы АСУП имеют оперативный доступ не только к базе данных АСУП, но и к базам данных других автоматизированных систем – системам автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированной системе технологической подготовки производства (АСТПП) и автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП), и, следовательно, могут оптимизировать планы работ, содержание заявок, распределение исполнителей, выделение финансов и т. п. При этом под оперативным доступом необходимо понимать не просто возможность считывания данных из баз данных, но и легкость их правильной интерпретации, т. е. согласованность по синтаксису и семантике с протоколами, принятыми в АСУП. То же относится и к другим системам, например, технологические подсистемы должны с необходимостью воспринимать и правильно интерпретировать данные, поступающие от подсистем автоматизированного конструирования. Последнего не так легко добиться, если основное предприятие и организации-смежники работают с разными автоматизированными системами.

Во-вторых, сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление изделий. Применение

CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю CALS-технологий. Доступность опять же обеспечивается согласованностью форматов, способов, руководств в разных частях общей интегрированной системы. Кроме того, появляются более широкие возможности для специализации предприятий, вплоть до создания виртуальных предприятий, что также способствует снижению затрат.

В-третьих, значительно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки. Существенно облегчается решение проблем ремонтопригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т. п.

По аналогии с САПР для CALS-технологий разработаны различные виды обеспечения их применения: *лингвистическое*, *информационное*, *программное*, *математическое*, *методическое*, *техническое* и *организационное*.

К ***лингвистическому обеспечению*** относятся языки и форматы данных о промышленных изделиях и процессах, используемые для представления и обмена информацией на этапах жизненного цикла изделий.

Информационное обеспечение составляют базы данных, в которых имеются сведения о промышленных изделиях, используемые разными системами в процессе проектирования, производства, эксплуатации и утилизации продукции. В состав информационного обеспечения входят также серии международных и национальных CALS-стандартов и спецификаций.

Программное обеспечение CALS представлено программными комплексами, предназначенными для поддержки единого информационного пространства этапов жизненного цикла изделий. Это, прежде всего, системы управления документами и документооборотом, управления проектными данными (PDM), взаимодействия предприятий в совместном электронном бизнесе

(CPC), подготовки интерактивных электронных технических руководств и некоторые другие.

Математическое обеспечение CALS включает методы и алгоритмы создания и использования моделей взаимодействия различных систем в CALS-технологиях. Среди этих методов в первую очередь следует назвать методы имитационного моделирования сложных систем, методы планирования процессов и распределения ресурсов.

Методическое обеспечение CALS представлено методиками выполнения таких процессов, как параллельное (совмещенное) проектирование и производство, структурирование сложных объектов, их функциональное и информационное моделирование, объектно-ориентированное проектирование, создание антологий приложений.

К ***техническому обеспечению*** CALS относят аппаратные средства получения, хранения, обработки и визуализации данных при информационном сопровождении изделий. Взаимодействие частей виртуальных предприятий, систем, поддерживающих разные этапы жизненного цикла изделий, происходит через линии передачи данных и сетевое коммутирующее оборудование. Однако используемые технические средства не являются специфическими для CALS, и поэтому вопросы технического обеспечения не рассматриваются.

Наконец, организационное обеспечение ***организационное обеспечение*** CALS представлено различного рода документами, совокупностью соглашений и инструкций, регламентирующих роли и обязанности участников жизненного цикла промышленных изделий.

За последний год появился целый ряд предприятий, которые активно занимаются изучением и применением CALS-технологий для решения конкретных производственных задач повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции. К таким организациям относятся АВПК «Сухой», АНТК им. Туполева, ОАО «Туламашзавод», Конструкторское бюро приборостроения (г. Тула), корпорация «Компомаш», корпорация «Метран» и др. Разработкой конкретных применений CALS-технологий для

ряда областей промышленности занимается МГТУ «Станкин». Решением координационного совета РАН по техническим наукам от 12 февраля 2002 г. Институту конструкторско-технологической информатики РАН поручена координация работ по CALS (ИПИ)-технологиям.

7.2. STEP-стандарты [5]

Выше было отмечено, что для реализации CALS-технологий необходимо обеспечить единообразное описание и интерпретацию данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Это единообразие достигается за счет разработки системы CALS-стандартов, созданных под эгидой ISO (*International Standard Organization*) – международной организации стандартизации.

Центральное место в системе CALS-стандартов занимает ISO 10303 под названием STEP (*Standard for Exchange of Product Data* – стандарт для обмена данными о промышленных изделиях), определяющий средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех стадиях их ЖЦ. Для этого был разработан инвариантный к приложениям язык Express, введенный в STEP. Совокупность стандартов STEP составляет основу CALS-технологий.

В STEP используются следующие важные понятия:

AAM – *Application Activity Model* – функциональная модель IDEFO для определенного приложения;

ARM – *Application Requirements Model* – модель, представляющая данные с точки зрения пользователя. В частности, в этой модели данные могут быть выражены как средствами, типичными для приложения, так и с использованием синтаксиса языка Express;

AIM – *Application Interpreted Model* – ARM-модель, переведенная в STEP-представление с использованием ряда унифицированных в STEP-понятий, закрепленных в интегрированных ресурсах;

AP – *Application Protocol* – STEP-стандарт, отражающий специфику конкретного приложения;

SDAI – *Standard Data Access Interface* – программный интерфейс к источникам данных (репозиториям) прикладных систем (в том числе к библиотекам моделей систем CAD/CAM) с переводом моделей в STEP- файлы; используется в STEP-средах для организации обменов между приложениями через общую базу данных STEP.

STEP – это совокупность стандартов, состоящих из нескольких томов. Тома имеют свои номера и обозначаются как «часть №» или ISO 10303-№. К настоящему времени разработано более сотни томов. Стандарты ISO 10303 определяют средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех этапах их ЖЦ.

Том 1 (ISO 10303-1) – вводный стандарт, выполняющий роль аннотаций всей совокупности томов. В этом стандарте вводится ряд терминов, используемых в других стандартах, например таких, как продукт (*product*), приложение (*application*), проектные данные (*product data*), модель (*model*), модели AAM, AIM, ARM, прикладной протокол (AP), интегрированный ресурс (*integrated resource*), элемент функциональности (*unit of functionality* – UoF).

Тома 11–14 – методы описания (*description methods*).

Тома 21–29 – методы реализации (*implementation methods*).

Тома 31–35 – основы тестирования моделей (*conformance testing methodology and framework*).

Тома 41–50 – интегрированные основные ресурсы (*integrated generic resources*).

Тома 101–108 – интегрированные прикладные ресурсы (*integrated application resources*).

Тома 201–236 – прикладные протоколы (*application protocols*).

Тома 301–332 – абстрактные тестовые наборы (*abstract test suites*).

Тома 501–520 – прикладные компоненты (*application interpreted constructs*).

Ряд томов переведен на русский язык и представлен в виде национальных стандартов России. Это, например, ГОСТ Р ИСО 10303-1–99, посвященный обзору и основополагающим принципам STEP, ГОСТ Р ИСО 10303-11–99 – справочное руководство по языку Express, ГОСТ Р ИСО 10303-21–99 – то же по обменному файлу, ГОСТ Р ИСО 10303-41–99 – описание интегрированных

родовых ресурсов. Перечисленные документы соответствуют стандартам ISO 10303-1, ISO 10303-11, ISO 10303-21, ISO 10303-41. Подготовлены к утверждению ГОСТы, соответствующие томам 43, 44, 203 стандарта ISO 10303.

Таким образом, в томах STEP описаны основные принципы обмена данными, изложены правила языка Express, даны методы его реализации. Модели, методы тестирования моделей, ресурсы как общие для приложений, так и некоторые специальные (например, геометрические и топологические модели, описание материалов, процедуры черчения, конечно-элементного анализа и т. п.), введены прикладные протоколы, отражающие специфику моделей в конкретных предметных областях. Вопросам взаимодействия АС в STEP уделяется основное внимание – выделена подгруппа томов, посвященных способам обмена данными между разными системами, созданными в рамках STEP-технологий.

Развитие CALS-технологий находит выражение также в разработке серий стандартов ISO13584 *Parts Library* (сокращенно *P_Lib*), ISO 14959 *Parametrics*, ISO15531 *Manufacturing Management Data* (*Mandate*), ISO 18876 *Integration of Industrial Data for Exchange, Access, and Sharing* (*IIDEAS*), ISO 8879 *Standard Generalized Markup Language* (*SGML*) (см. т. 107, 108).

Более подробно со структурой STEP-стандартов (методами описания диалектов языка Express № 11–19, методами реализации межпрограммного информационного обмена между прикладными системами в STEP-среде № 21–29, прикладными протоколами № 201–236, интегрированными ресурсами и прикладными компонентами № 41–50 и № 101–108, № 501–520) можно познакомиться в работе [5, с. 166–180].

7.3. Организация в STEP информационных обменов [1]

Возможны обмены через обменный файл, описанный выше (см. п. 5.2), и через базу данных SDAI (Standard Data Access Interface) – интерфейс к данным, представленным в соответствии с CALS-стандартами.

Обменный файл используется при связи моделей *A* и *B*, имеющих общие данные с различными обозначениями. Пользователь должен написать перекодировщик (например, на языке Express-X), с помощью которого отождествляются идентификаторы одних и тех же сущностей, имевших разные обозначения в моделях *A* и *B* (рис. 7.1).

Рис. 7.1. Взаимодействие Express-приложений через обменный файл

Связь через интерфейс SDAI отличается от предыдущего способа обмена тем, что в SDAI имеет место не просто обмен, а разделение данных многими пользователями, и SDAI фактически выступает в роли метамодели для разных САПР. Другими словами, SDAI представляет собой интерфейс, содержащий набор функций на языках C++ и C, для доступа к разделяемым моделям, которые могут быть представлены в виде обменного файла (рис. 7.2).

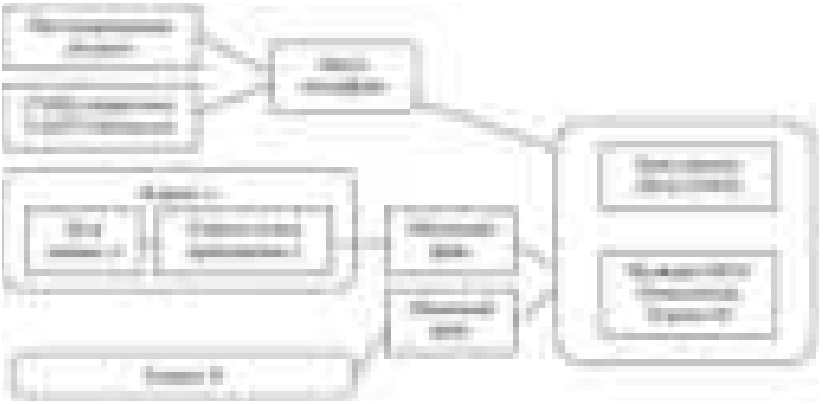


Рис. 7.2. Взаимодействие Express-приложений через базу данных SDAI

В CALS-технологиях рассматриваются не только вопросы представления данных и организации информационных обменов, но и вопросы моделирования приложений и проектирования сложных систем на базе концептуального проектирования.

В заключение данной лекции рассмотрим проблемы практического использования CALS-технологий.

7.4. Проблемы практического использования CALS-технологий

Проблема внедрения CALS-технологий в практику работы промышленных предприятий имеет организационный, технологический, кадровый аспекты.

В организационном плане прежде всего необходима убежденность руководителей предприятий в целесообразности (а в ряде случаев и в неизбежности) перехода к CALS-технологиям, что позволит сконцентрировать усилия на разработке и реализации планов реинжиниринга предприятий с постепенным внедрением элементов CALS-технологий. Эти планы направлены на создание корпоративной автоматизированной системы (КАС), интегрирующей системы автоматизации проектирования, управления и технологической подготовки производства. Особую важность вопросы создания КАС на базе CALS-технологий имеют для производственных объединений, включающих несколько предприятий.

Автономно функционирующие системы САПР, АСУП, АСУТП уже имеются на многих предприятиях. Очевидно, что при их интеграции на основе CALS-технологий собственно задача замены уже используемых систем какими-либо другими не ставится, поскольку замена – процедура дорогостоящая, длительная и болезненная, требующая переучивания специалистов. Замена может быть вызвана не особенностями CALS, а лишь выявленной недостаточной функциональностью используемых систем (например, невозможностью проектирования сборок с тысячами компонентов).

Что в этом случае подразумевается под «единой электронной моделью изделия»? Ответ заключается в следующем: единая электронная модель изделия имеет место, если любая подсистема или пользователь КАС (с соответствующими полномочиями) может, обратившись к базе данных системы, получить нужное подмножество данных об изделии, причем это подмножество будет согласовано с подмножествами, запрашиваемыми другими подсистемами или пользователями. Очевидно, что подмножества данных (профили), запрашиваемые конструкторскими, технологическими, управленческими и другими подсистемами и службами, включают как специфические, так и общие атрибуты, причем общие атрибуты будут иметь одинаковые значения в каждом подмножестве.

Если на предприятии автоматизация была развита слабо, то создание на нем КАС нужно начинать с обследования деятельности предприятия. Перед обследованием формируются и в процессе его проведения уточняются цели обследования – определение возможностей и ресурсов для повышения эффективности функционирования предприятия на основе автоматизации процессов управления, проектирования, документооборота и т. п. Содержание обследования – выявление структуры предприятия, выполняемых функций, информационных потоков, имеющихся опыта и средств автоматизации. Обследование проводят системные аналитики (системные интеграторы) совместно с представителями организации-заказчика.

На основе анализа результатов обследования строят модель, отражающую деятельность предприятия на данный момент. Такую модель называют As Is – «как есть». Далее разрабатывают исходную концепцию КАС. Эта концепция включает в себя предложения по изменению структуры предприятия, взаимодействию подразделений, информационным потокам, что выражается в модели To Be – «как должно быть».

Результаты анализа конкретизируются в техническом задании на создание КАС. В нем указывают потоки входной информации, типы выходных документов и предоставляемых услуг, уровень защиты информации, требования к производительности

(пропускной способности) и т. п. Техническое задание направляют заказчику для обсуждения и окончательного согласования.

Перевод документов в электронную форму – одна из первых задач внедрения CALS-технологий. Для создаваемого электронного архива документов нужно в соответствии со спецификациями MIL-PRF-2800x выбрать единые форматы представления чертежной и текстовой информации. Далее необходимы разработка проекта корпоративной вычислительной сети и его реализация, выбор, приобретение и установка системы PDM, обучение сотрудников предприятия работе в КАС.

Для успешного внедрения и использования CALS-технологий предприятие должно располагать инженерными кадрами, знающими методы и умеющими использовать средства автоматизированного проектирования, поскольку CALS-технологии развиваются прежде всего на базе САПР. В настоящее время в технических вузах страны студенты изучают такие разделы САПР, как геометрическое моделирование и машинная графика, математическое моделирование, оптимизация проектных решений. Целесообразно дополнить учебные программы соответствующих курсов, включив в них изучение вопросов CALS-технологий.

Так, вопросы геометрического моделирования, изучаемые в курсах инженерной графики, основ САПР или в специальном курсе «Вычислительная геометрия», полезно дополнить фрагментами соответствующих прикладных протоколов STEP. В разделах, посвященных математическому моделированию, нужно знакомить студентов с возможностями многоаспектного моделирования, в том числе на базе языка VHDL-AMS. Студенты должны быть знакомы с методиками концептуального проектирования IDEF0, IDEF1X и объектно-ориентированного проектирования на базе языка UML. Эти вопросы, так же как структура стандартов STEP и основы языка Express, могут быть предметом изучения в отдельном курсе «CALS-технологии» или в курсе «Основы автоматизированного проектирования». В раздел оптимизации проектных решений нужно включить методы оптимального планирования и распределения ресурсов. Наконец, следует предусмотреть знакомство студентов с основами Internet-технологий,

в том числе с представлением документов с помощью языков разметки.

Естественно, что преподавание вопросов CALS-технологий требует развития лабораторной базы. В составе программного обеспечения, поддерживающего лабораторные циклы по САПР и CALS, необходимо иметь по крайней мере один из пакетов MCAD (с модулями CAD и CAM), программы моделирования (например, типа ПА9), пакеты поддержки методик функционального и информационного моделирования (например, BPWin и ERWin), XML-редактор, желательно приобретение PDM. Циклы дисциплин радиоэлектронного профиля должны поддерживаться программным обеспечением сквозного проектирования радиоэлектронной аппаратуры и в первую очередь программами разработки схем на базе ПЛИС и проектирования печатных плат.

Более глубоко с отдельными разделами CALS-технологий: обзор CALS-стандартов, математическое, лингвистическое и программное обеспечение – можно ознакомиться в [1, 3, 7, 12].

Контрольные вопросы

1. Дайте обоснование необходимости появления формата STEP обмена данными.
2. Дайте общее определение термина CALS-технологии.
3. Сформулируйте суть стратегии CALS.
4. Перечислите основные свойства единого информационного пространства (ЕИП).
5. Опишите два этапа перехода к ЕИП.
6. Перечислите методы реализации стратегии CALS.
7. Сформулируйте главную задачу создания и внедрения CALS-технологий.
8. Опишите историю зарождения CALS-технологий.
9. Укажите причины повышения эффективности создания и применения сложной техники при использовании CALS-технологий.
10. Опишите различные виды обеспечения CALS-технологий.

11. Укажите условия, необходимые для реализации CALS-технологий.

12. Сформулируйте основное назначение стандарта ISO 10303 (STEP-стандарт).

13. Дайте общую характеристику совокупности стандартов ISO 10303 (содержание томов, входящих в стандарты).

14. Опишите два способа организации в STEP информационных обменов.

15. Опишите порядок внедрения CALS-технологий в практику работы промышленных предприятий.

16. Опишите методику преподавания CALS-технологий для обучения инженерных кадров.

Лекция 8
ОСНОВНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

8.1. Формирование общих проектных решений [3, 12, 13]

Исторически сложилось, что при традиционном проектировании управляемых машин и процессов разработка механической, электронной, информационной и компьютерной частей ведется последовательно и независимо друг от друга (рис. 8.1).

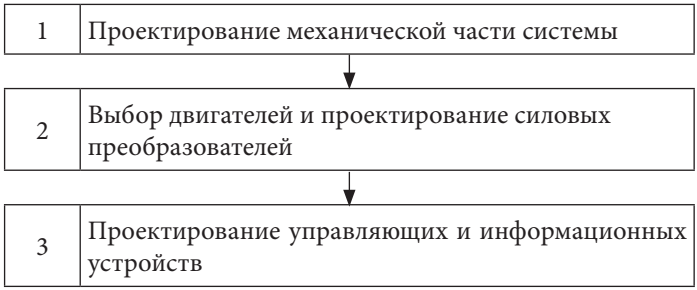


Рис. 8.1. Традиционный алгоритм проектирования

При этом возможности разработчика системы управления крайне ограничены, так как основные конструкторские решения уже приняты на предыдущих этапах, выбор двигателей и силовых преобразователей завершен и не подлежит корректировке при разработке электронной и управляющей частей системы. Кроме

того, при традиционном проектировании многочисленные интерфейсы, связывающие в мехатронной машине (производственном процессе) устройства различной физической природы (механические, электронные, информационные), предопределяют их конструктивную и аппаратно-программную сложность. Опыт эксплуатации сложных систем показывает, что до 70 % проблем их функционирования связаны с надежностью связей и соединений. Поэтому была предложена новая методологическая основа проектирования мехатронных систем – методы параллельного проектирования. Суть методологии параллельного проектирования заключается в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех устройств мехатронной системы уже на этапах проектирования и изготовления интегрированных модулей системы.

Следуя [13], можно выделить следующие уровни интеграции в мехатронных системах: первый уровень образуют мехатронные (технологические) устройства и составляющие их элементы, второй – включает интегрированные мехатронные модули, третий – предполагает компоновку из мехатронных модулей, четвертый – предполагает построение на единой интеграционной платформе производственных систем (реконфигурируемых производств).

Описанные выше методы параллельного проектирования и выделения уровней интеграции в мехатронных системах позволяют определить направление и глубину интеграционных процессов при проектировании сложных систем.

Использование гибких технологий при проектировании и изготовлении мехатронных систем определяет два направления проектных и конструкторских работ:

1) собственно проектирование производственных процессов на предприятиях на базе готовых программных и аппаратных (технологических) компонентов с помощью специальных инструментальных средств разработки приложений (например, CASE-средств);

2) проектирование упомянутых компонентов и инструментальных средств, ориентированных на многократное применение при разработке многих производственных процессов (систем).

Первое направление базируется на системотехнике, информационных технологиях и программных продуктах, инструментальных средствах разработки приложений (см. лекции 6, 7).

Второе направление в большей мере относится к области разработки математического и программного обеспечения (МО, ПО), методов анализа и синтеза проектных решений, технологий программирования на базе знаний и т. п.

В дальнейшем в лекции основное внимание будет уделено первому направлению работ – собственно проектированию машинных комплексов и производственных процессов на предприятиях.

Проектирование любой сложной системы начинается с формулирования целей, видения будущей системы и исходных технических требований. Затем согласно теории системного проектирования сложных систем выполняются:

– функционально-структурный анализ системы;

– синтез структуры системы;

– структурный анализ и оптимизация (по критерию сложности) отдельных технических подсистем;

– разработка проектно-конструкторской документации в целом на систему.

Функция системы имеет приоритетное значение по отношению к ее структуре, так как различные структуры могут с разной степенью эффективности реализовать одну и ту же функцию.

Заметим, что сложные технические системы различного назначения (интегрированные мехатронные модули и машины, производственные процессы, интегрированные автоматизированные системы и др.) имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при их проектировании, производстве, реализации (технологической реализации производства) и эксплуатации.

На всех этапах жизненного цикла технологических изделий и производственных процессов (см. рис. 1.1) используются технологии реинжиниринга и параллельного проектирования, методика SADT и стандарты IDEF-технологий (IDEF0, IDEF3, DFD) для проектирования функциональных моделей системы через их поведение по отношению к внешним объектам и внешней среде.

Для структурного описания систем и связей между их структурными элементами используется методология IDEF1X (задающая структуру баз данных для обеспечения процессов), имитационное моделирование, виртуальная инженерия, системы принятия проектных решений, интегрированные системы CAD/CAM/CAE/PDM.

Из поддерживающих методологию IDEF-систем можно отметить BPWin, ERWin, OOWin, Design IDEF др., а также ряд систем автоматизированного проектирования и управления техническими системами и международных стандартов ISO (STEP-стандарты) (см. лекцию 1).

8.2. Построение модели процесса разработки мехатронных систем

Для описания процесса разработки мехатронных систем (МС) далее будем использовать принятую в САПР терминологию этапов разработки:

1) функциональное проектирование (определение функций МС на основе анализа исходных требований);

2) функционально-структурный анализ (выбор вариантов структурных решений системы по ее заданной функции);

3) конструкторское проектирование элементов и модулей МС по результатам структурно-конструктивного анализа;

4) разработка проектной и конструкторской документации на систему;

5) разработка производства МС (включая технологическую подготовку производства);

6) испытание МС;

7) доводка МС;

8) эксплуатация МС.

Основные этапы проектирования мехатронных систем

Первые три (из перечисленных выше) этапа разработки определяют цикл проектирования (см. рис. 1.1) мехатронных систем. На

этом цикле используются инструментальные средства и методы информационных технологий, которые определяют возможность и уровень разрабатываемых систем. Среди этих методов и средств CALS-технологии, CASE-средства и поддерживающие их инструментальные системы (BPWin, ERWin, Design IDEF и др.), технологии реинжиниринга и параллельного проектирования (методики SADT, IDEF), системные среды Meta САПР (Framework), универсальные CAD/CAM/CAE, PDM, SCADA и другие системы.

В настоящее время актуальной становится задача автоматизации проектирования не отдельных элементов и подсистем, а всего процесса проектирования, конструирования и производства мехатронных систем.

Основными чертами современной технологии создания САПР являются [17]:

– переход к автоматизации всего процесса проектирования в целом;

– обеспечение взаимодействия между автоматизированными системами, ведущими расчеты, разработку, изготовление и т. д.;

– обеспечение возможности адаптации системы к объекту проектирования и развития ее в процессе эксплуатации;

– широкое использование диалоговых режимов работы, процедур коллективного проектирования;

– развитие новой методологии проектирования, ориентированной на сквозное применение средств автоматизации в рамках интегрированных CAD/CAM/CAE-систем, на основе которых создаются «приложения» – специализированные САПР.

Структурная модель МС строится на базе функциональной модели МС, полученной с помощью IDEF-технологий (IDEF0, IDEF1X, DFD) и поддерживающих их систем (BPWin, ERWin, Design IDEF), а также САПР Спрут, имитационного моделирования, систем принятия проектных решений, CALS-технологий. С этой целью функциональную модель МС подвергают декомпозиции на отдельные узлы и детали для технических (конструкционных) мехатронных систем или на отдельные технологические операции для производственных процессов. Далее с помощью интерактивных процедур (например, использования диалоговых

средств), осуществляется оптимизация структурной модели и ее компонентов (см. лекцию 1). Возможность осуществления интерактивного метода конструирования является одним из самых важных требований этапа конструирования. Для автоматизации процесса конструирования должен быть (как минимум) разработан пакет конструирования, состоящий из CAD-систем, обеспечивающих выполнение всего объема конструкторских работ и приложений, интегрированных с выбранными CAD-системами.

Инструментальные средства проектирования мехатронных систем

Далее рассмотрим комплекс инструментальных средств, охватывающих процесс концептуального проектирования (первые три этапа разработки системы) мехатронных систем [16]. На рынке IDEF-систем фирмой Computer Associations предложены CASE-средства BPWin и ERWin. CASE-средство верхнего уровня BPWin поддерживает методологию IDEF0 (функциональная модель), IDEF3 (Workflow Diagram – сценарий бизнес-процесса, поведенческое моделирование) и DFD (Dataflow Diagrams – диаграммы потока данных, набор связанных друг с другом действий).

Функциональная модель предназначена для описания существующих процессов на предприятии (As Is-модели) и того, к чему надо стремиться (модель To Be). Методология IDEF0 предписывает построение иерархической системы диаграмм – единичных описаний фрагментов системы. Сначала проводится описание системы в целом и ее взаимодействие с окружающим миром (контекстная диаграмма), после чего проводится функциональная декомпозиция – система разбивается на подсистемы и каждая подсистема описывается отдельно (диаграмма декомпозиций). Затем каждая подсистема разбивается на более мелкие и так далее до достижения нужной степени подробности. Каждая диаграмма проверяется экспертами предметной области, заказчиками и пользователями процесса. В случае необходимости (чтобы осветить специфические стороны технологии предприятия) BPWin позволяет переключиться на нотацию IDEF3 или DFD и создать

смешанную модель. Нотация DFD включает такие понятия, как внешняя ссылка и хранилище данных, что делает ее более удобной (по сравнению с IDEF0) для моделирования документооборота. Методология IDEF3 включает элемент «перекресток», что позволяет описать логику взаимодействия компонентов системы.

После построения функциональной модели можно построить модель данных, используя модель ERWin. Хотя процесс преобразования модели BPWin в модель данных плохо формализуется и поэтому полностью не автоматизируется, Computer Associations предлагает удобный инструмент для обеспечения построения модели данных на основе функциональной модели (механизм связи BPWin–ERWin). ERWin имеет два уровня представления модели – логический и физический. На логическом уровне данные не связаны с конкретной СУБД, поэтому могут быть наглядно представлены даже не для специалистов. Физический уровень данных – это, по существу, отображение системного каталога, который зависит от конкретной реализации СУБД. ERWin позволяет проводить процессы прямого и обратного проектирования БД. Это означает, что по модели данных можно сгенерировать схему БД или автоматически создать модель данных на основе информации системного каталога. Кроме того, ERWin интегрируется с популярными средствами разработки клиентской части – Power Builder, Visual Basic, Delphi, что позволяет автоматически генерировать код приложения, который полностью готовы к компиляции и выполнению.

В заключение цикла проектирования МС рассмотрим еще одну возможность минимизации сложности МС и мехатронных модулей (ММ).

Синергетическая интеграция в мехатронных системах

В общем случае функциональная и структурная сложность технических систем (подсистем) в значительной степени определяется количеством соединяемых элементов, числом и интенсивностью их взаимодействия. Поэтому оснащение технических систем многофункциональными элементами, повышение уровня

интеграции ММ (подсистем) и снижение числа интерфейсов направлено на минимизацию сложности систем.

Функциональное представление МС и ММ с определенными входными и выходными переменными (модель типа «черный ящик») показано на рис. 8.2.

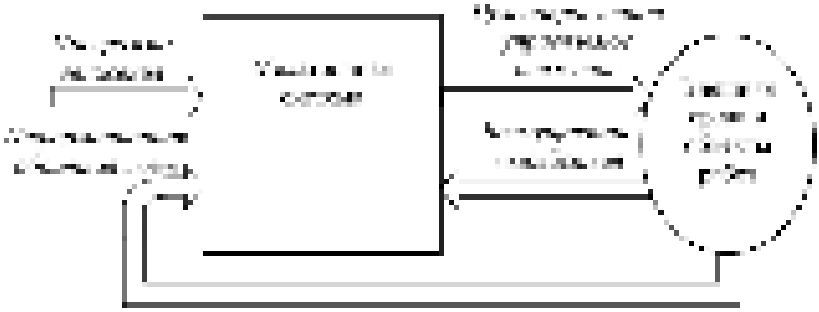


Рис. 8.2. Мехатронный модуль в виде «черного ящика»

Таким образом, основная функциональная задача мехатронной системы или мехатронного модуля заключается в преобразовании информации о программе движения в целенаправленное управляемое движение выходного звена.

Программа движения может быть задана управляющим компьютером как набор команд высокого уровня или, в случае дистанционного управления, человеком-оператором с помощью человеко-машинного интерфейса. Управляемое движение осуществляется механической подсистемой ММ, и его конечное звено взаимодействует с объектами внешней среды. Внешние воздействия, например силы резания при шлифовальных и фрезерных операциях, контактные силы и моменты при роботизированной сборке, должны эффективно отражаться мехатронным модулем в процессе движения. Информационная обратная связь необходима для оценки текущего состояния ММ как объекта управления и внешней среды в режиме реального времени.

Обозначенная основная функция не является единственной для мехатронных систем. Некоторые дополнительные функции, такие как реконфигурация системы, обмен сигналами и инфор-

мацией с другим технологическим оборудованием, самодиагностика, также должны быть реализованы для эффективной и надежной работы МС. Но именно выполнение функционального движения является основной мехатронной функцией, так как механическая подсистема взаимодействует с объектами работ и, таким образом, определяет поведение МС во внешней среде.

Рассмотренное представление мехатронного модуля в форме «черного ящика» (см. рис. 8.2) имеет два информационных входа (программа движения и информационная обратная связь), энергетический вход (реакция внешней среды) и механический выход (целенаправленное управляемое движение). Следовательно, в общем случае функциональная модель мехатронного модуля может быть определена как *информационно-механический преобразователь*.

Для физической реализации мехатронного информационно-механического преобразования необходим внешний энергетический источник. На современной стадии развития мехатроники для этой цели в основном используют электрические источники энергии. Введя соответствующие электроэнергетические преобразования, получаем следующую функциональную модель (*F*-модель) мехатронного модуля (рис. 8.3):

Рис. 8.3. Функциональная модель мехатронного модуля

Полученная *F*-модель ММ в общем случае содержит семь базовых функциональных преобразователей, связанных энергетическими и информационными потоками.

Отметим, что электрическая энергия является только промежуточной энергетической формой между входной информацией и выходным механическим движением. Следовательно, электрическая подсистема отнюдь не является единственно возможной для выполнения мехатронной функции, как это постулировано в приведенном определении мехатроники. Безусловно, и другие виды энергетических процессов могут быть использованы в мехатронных системах для промежуточных преобразований и должны рассматриваться как альтернативные варианты на этапе концептуального проектирования. Выбор разработчиком ММ физической природы промежуточного преобразователя определяется возможностями технической реализации, исходными требованиями и особенностями его применения. В современной инженерной практике широко применяются гидравлические, пневматические, химические и другие виды энергетических преобразователей.

Итак, в любом мехатронном модуле необходимо реализовать семь функциональных преобразований (см. рис. 8.3). Три из них назовем *моноэнергетическими* (информационный, электрический и механический преобразователи), где входные и выходные переменные имеют одну и ту же физическую природу. Остальные четыре являются *дуальными* (двойственными), так как в них входные и выходные переменные принадлежат различным физическим видам. К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи функциональной модели, и параллельные электроинформационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Структурная модель мехатронного модуля должна отражать состав его элементов и связи между ними. В теории автоматического управления и электромеханике принято структурные модели графически представлять в виде блок-схем. Звенья обычно обозначают в виде прямоугольника с указанием входной и выходной переменных, а уравнения или характеристики записывают внутри него.

В качестве исходной структуры ММ рассмотрим традиционный электропривод с компьютерным управлением (*S*-модель –

рис. 8.4). Для дальнейшего анализа в представленной структурной схеме выделим управляющую и электромеханическую подсистемы. При конструировании мехатронных модулей особый интерес представляет исполнительная часть, входящая в состав электромеханической подсистемы.

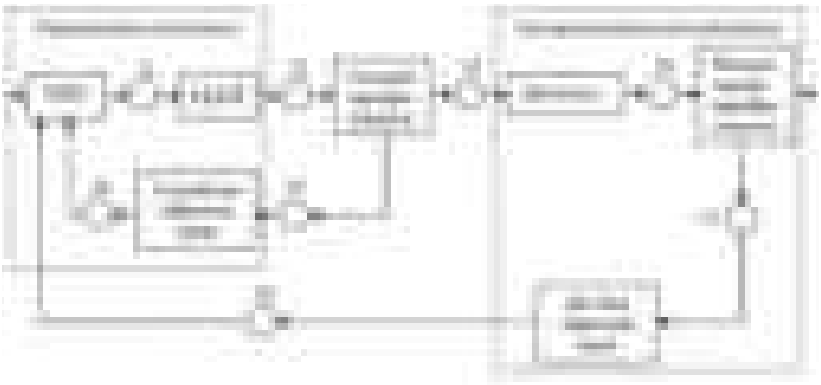


Рис. 8.4. Структурная модель электропривода с компьютерным управлением

Структурная модель электропривода (см. рис. 8.4) включает в себя следующие основные элементы:

– устройство компьютерного управления движением, функциональной задачей которого является информационное преобразование (обработка цифровых сигналов, цифровое регулирование, расчет управляющих воздействий, обмен данными с периферийными устройствами);

– цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), реализующий функцию информационно-электрического преобразования;

– силовой преобразователь, обычно состоящий из усилителя мощности, широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и трехфазного инвертора (для асинхронных двигателей);

– управляемый электродвигатель (переменного или постоянного тока), который является электротехническим элементом привода;

– механический преобразователь, который реализует заданное управляемое движение и взаимодействует с внешними

объектами; в приводных модулях в качестве таких устройств применяют редукторы, вариаторы, либо непосредственно используют рабочий орган (например, в мехатронных модулях типа «мотор-шпиндель»);

– устройство обратной связи, которое используют для контроля текущих напряжений и токов в силовом преобразователе, а также управляющих функций (например, для организации контура регулирования момента, развиваемого приводом);

– датчики обратной связи по положению и скорости движения выходного звена механического устройства, выполняющие функции механико-информационного преобразования;

– интерфейсные устройства, обозначенные на блок-схеме как 11–18.

В зависимости от физической природы входных и выходных переменных интерфейсные блоки могут быть как механическими преобразователями движения, так и содержать электронные аппаратно-программные компоненты. Примерами механических интерфейсов являются передачи и трансмиссии, связывающие выходное механическое устройство с двигателем (интерфейс 14) и датчиками обратной связи (интерфейсы 17, 18).

Интерфейсные электронные устройства расположены на входах и выходах устройства компьютерного управления (УКУ) и предназначены для его сопряжения со следующими структурными элементами:

– с цифро-аналоговым преобразователем (встроенный интерфейс 11) и далее с силовым преобразователем модуля (интерфейс 12);

– с датчиками обратной связи (интерфейс 17), который в случае применения сенсоров с аналоговым выходным сигналом строится на основе аналого-цифрового преобразователя (АЦП);

– с устройствами обратной связи для контроля уровня электрических токов и напряжений в силовом преобразователе (для традиционного привода интерфейс 16 также использует стандартный АЦП).

В традиционной приводной технике интерфейсы являются сепаратными устройствами. Поэтому их проектирование, изго-

товление и наладка становятся серьезной проблемой для разработчика привода, особенно когда требуется надежно соединять нестандартные и специализированные элементы различных производителей. Мехатронные структуры отличаются высокой степенью интегрированности элементов, причем эти решения закладываются уже на стадии проектирования модулей и машин.

Сравнивая функциональную модель мехатронного модуля (см. рис. 8.3) и структурную модель традиционного электропривода (см. рис. 8.4), можно сделать вывод о том, что суммарное количество основных и интерфейсных блоков в структуре электропривода значительно превышает число необходимых функциональных преобразователей. Другими словами, можно говорить о структурной избыточности традиционного электропривода. Наличие избыточных блоков приводит к снижению надежности и точности технической системы, ухудшению ее массогабаритных и стоимостных показателей. Поэтому целесообразно стремиться к сокращению количества сепаратных структурных элементов (как основных, так и интерфейсных блоков) в системе. В идеальном для пользователя варианте мехатронный модуль (см. рис. 8.2), приняв на информационный вход программу движения, должен выполнить целенаправленное управляемое движение с заданными показателями качества. При этом все проблемы интеграции в модуле механических, электронных и управляющих устройств должны быть решены разработчиком для каждой стадии жизненного цикла – от проектирования системы до ее эксплуатации у конечного потребителя.

Суть синергетической интеграции состоит в объединении в единый модуль элементов различной физической природы при сохранении функционального преобразования, выполняемого данным модулем.

Синергетическая интеграция элементов при проектировании мехатронных модулей основана на трех базовых принципах:

– реализация заданных функциональных преобразований минимально возможным числом структурных и конструктивных блоков путем объединения двух и более элементов в единые многофункциональные модули;

– выбор интерфейсов в качестве локальных точек интеграции и исключение избыточных структурных блоков и интерфейсов как сепаратных элементов;

– перераспределение функциональной нагрузки в мехатронной системе от аппаратных блоков к интеллектуальным (электронным и компьютерным) компонентам.

Практическая реализация принципов синергетической интеграции при проектировании позволяет обеспечить основные преимущества мехатронных систем по сравнению с традиционными машинами и добиться качественно новых показателей, в первую очередь по компактности конструкции, скорости и точности движений. Снятие с аппаратной («железной») части системы функциональной нагрузки (прежде всего через упрощение механического узла) и ее перенос на управляющую и электронную подсистемы придает системе гибкость, делает ее способной к легкой реконфигурации под новые технологические задачи. Следует заметить, что интеграция предполагает не только аппаратное объединение элементов, но и организацию интегрированных информационных процессов в интеллектуальных модулях.

Синергетическую интеграцию в мехатронике осуществляют при проектировании двумя основными способами – функционально-структурной интеграцией (ФС-интеграция) и структурно-конструктивной интеграцией (СК-интеграция), которые объединяют в общий алгоритм проектирования мехатронных систем (см. рис. 8.2).

Функционально-структурная интеграция. Задачей этапа функционально-структурной интеграции является поиск мехатронных структур, реализующих заданные функциональные преобразования с помощью минимального количества структурных блоков. ФС-интеграция направлена на выбор проектных решений, которые обеспечивают исключение некоторых основных блоков, а значит, и смежных с ними интерфейсов из структуры системы.

Примеры мехатронных проектных решений, основанные на способе ФС-интеграции элементов, приведены в табл. 8.1. Пред-

ставленные решения основаны на совместном анализе функциональной модели мехатронного модуля (см. рис. 8.3) и структуры традиционного электропривода (см. рис. 8.4).

Первые два мехатронных решения относятся к электромеханической подсистеме модуля, следующие варианты интеграции можно реализовать в его управляющей подсистеме (см. рис. 8.4). При конструировании мехатронных модулей наибольшее внимание уделяют решениям, направленным на упрощение механической части модулей и связанных с ней блоков и интерфейсов, которые реализуют электромеханическое и механико-информационное функциональные преобразования.

Рассмотрим подробнее мехатронные решения по ФС-интеграции элементов из табл. 8.1.

Первый вариант предусматривает использование в обратной связи вместо двух отдельных датчиков положения и скорости только одного элемента – фотоимпульсного датчика (ФИД), который позволяет получать информацию и о угле поворота вала, и о скорости его вращения. При этом также важно, что ФИД выдает выходной сигнал в кодовой форме, что дает возможность вводить информацию в УКУ без дополнительного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), что было необходимо для традиционных датчиков с аналоговым выходным сигналом (тахогенераторов, потенциометров и т. п.).

Различают два основных вида фотоимпульсных датчиков – *абсолютные* и *инкрементальные*. Абсолютные ФИД (*encoder*) дают информацию о величине перемещения (линейного или углового) подвижного элемента относительно фиксированного нулевого положения. Преимуществами абсолютного ФИД являются надежность измерения (даже при временном отключении питания информация датчиком не будет потеряна), высокая точность при больших скоростях движения, запоминание нулевого положения (это важно при необходимости управления реверсивными и аварийными движениями машин). Инкрементальный датчик дает информацию о направлении и величине перемещения в приращениях относительно исходного положения, которое он занимал до начала движения.

Таблица 8.1

ФС-интеграция элементов в мехатронном модуле

№ п/п	Мехатронное решение	Функциональное преобразование	Исключаемые сепаратные элементы	
			Основные блоки	Интерфейсы
1	Фотоимпульсный датчик обратной связи	Механико-информационное	Один датчик обратной связи	17, 18
2	Вентильный высокомоментный двигатель	Электромеханическое и механико-информационное	Механическое устройство, сепаратные датчики обратной связи	14, 17, 18
3	Интеллектуальный силовой преобразователь	Информационно-электрическое	Избыточное устройство обратной связи	15, 16
4	Управляющие контроллеры на базе блоков FPGA	Электроинформационное	Цифро-аналоговый преобразователь	11, 12

Интеллектуализацию ФИД обеспечивают встроенными микропроцессорами, которые выполняют следующие основные функции: кодирование информации датчика, обнаружение ошибок измерения, масштабирование сигнала и передачи текущего кода в контроллер движения по стандартному протоколу. Современная тенденция в создании ФИД заключается в объединении в одном сенсорном модуле конструктивных элементов (валов, подшипников), кодировочных дисков, фотоэлементов и микропроцессора.

Таким образом, использование ФИД позволяет исключить из структуры традиционного привода один датчик обратной связи с его интерфейсом (17), а также АЦП на входе УКУ (интерфейс 18).

Применение высокомоментного двигателя (ВМД) позволяет (второе решение в табл. 8.1) заменить исполнительную пару

«двигатель + преобразователь движения» на один приводной элемент «двигатель». Этот способ ФС-интеграции означает исключение механического устройства и избыточного интерфейса 14 из структуры привода.

Ниже перечислены основные преимущества мехатронных модулей с ВМД:

– снижение материалоемкости, компактность и модульность конструкции;

– повышенные точностные характеристики привода благодаря отсутствию зазоров, кинематических погрешностей, упругих деформаций звеньев и т. д.;

– исключение трения в механической трансмиссии, что позволяет избежать нелинейных динамических эффектов, особенно на ползучих скоростях.

Для определения положения полюсов на роторе двигателя в конструкцию вентильного ВМД встраивают датчик положения. В исполнительных приводах информацию с этого датчика могут использовать и как сигнал обратной связи. Следовательно, применение вентильных ВМД со встроенными ФИД позволяет упростить не только механическую часть модуля, но и цепь обратной связи, так как разработчику не требуется вводить в конструкцию модуля сепаратные датчики положения и скорости.

ВМД могут быть как углового, так и линейного типа. До появления линейных двигателей традиционные электроприводы линейных перемещений включали в себя двигатель углового движения и механическую передачу для преобразования вращательного движения в поступательное (шарико-винтовую передачу, зубчатую рейку, ленточную передачу и т. п.). Основные преимущества мехатронных модулей на базе линейных двигателей по сравнению с традиционными приводами обусловлены исключением многоступенчатого преобразования движения, отсутствием характерных недостатков механических преобразователей (люфт, упругость, силы трения, высокая инерция). Это позволяет добиться повышения в несколько раз линейной скорости и ускорения, высокой точности реализации движения, повышенной статической и динамической жесткости привода.

В табл. 8.1 приведены также два примера применения способа ФС-интеграции к элементам управляющей подсистемы модуля.

В состав мехатронных модулей могут входить интеллектуальные силовые преобразователи (ИСП). Их строят на базе полупроводниковых приборов нового поколения. Типичными представителями этих приборов являются силовые полевые транзисторы (*MOSFET*), биполярные транзисторы с изолированным затвором (*IGBT*), запираемые тиристоры с полевым управлением (*MCT*). Новое поколение приборов отличается высоким быстродействием (например, для транзисторов *MOSFET* – 100 000 Гц), высокими значениями коммутируемых токов и напряжений (для *IGBT* предельная сила коммутируемого тока – до 1200 А, предельное коммутируемое напряжение – до 3 500 В). Особенность ИСП состоит в том, что они содержат встроенные блоки микроэлектроники, предназначенные для выполнения интеллектуальных функций – управление движением, защита в аварийных режимах и диагностика неисправностей. Использование ИСП в составе мехатронных модулей позволяет существенно снизить массогабаритные показатели силовых преобразователей, повысить их надежность при эксплуатации, улучшить технико-экономические показатели.

Использование контроллеров движения с блоками FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*) позволяет исключить цифро-аналоговое преобразование сигналов при компьютерном управлении двигателем. На выходе блоков FPGA сразу формируется широтно-модулированный сигнал, который имеет цифровое представление. При этом они обладают уникальным сочетанием очень высокой производительности (скорость вычислений соизмерима с аппаратными компонентами) с возможностью программирования как обычные микропроцессорные устройства.

Обобщая рассмотренные примеры, интересно обратить внимание на то, что точками для ФС-инитеграции являются структурные блоки, реализующие функциональные преобразования только дуального типа (см. третий столбец табл. 8.1). К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи

функциональной модели мехатронного модуля (см. рис. 8.3) и электроинформационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Структурно-конструктивная интеграция (СК-интеграция) основана на анализе структурной модели мехатронного модуля, которая сформирована на этапе ФС-интеграции. Заданная структура модуля может быть реализована различными конструктивными решениями. СК-интеграция нацеливает разработчика мехатронных модулей на выбор проектных решений, которые обеспечивают исключение интерфейсов как сепаратных блоков путем встраивания их в отдельный корпус. При автоматизированном проектировании принятые решения представляют в виде конструктивной модели.

Методическим ключом при поиске вариантов СК-интеграции является рассмотрение интерфейсных блоков 11–18 в качестве локальных точек, где потенциально возможна СК-интеграция. Можно рекомендовать при проектировании опираться сразу на несколько точек интеграции.

Таблица 8.2

СК-интеграция элементов в мехатронном модуле

№ п/п	Мехатронные модули	Функциональное преобразование	Встраиваемые элементы	
			Основные блоки	Интерфейсы
1	Модуль движения	Электромеханическое и механическое	Двигатель, механическое устройство	14
2	Мехатронный модуль движения	Электромеханическое, механическое и механико-информационное	Двигатели, механическое устройство, датчик обратной связи	14, 17, 18
3	Интеллектуальный мехатронный модуль	Информационное, информационно-электрическое, электрическое, электромеханическое	Управляющий контроллер, силовой преобразователь, двигатель	11, 12, 13, 15, 16

Примеры мехатронных модулей, основанных на способе СК-интеграции элементов, приведены в табл. 8.2. Представленные решения базируются на анализе структурных моделей мехатронных модулей, разработанных на этапе функционально-структурной интеграции (см. рис. 8.4).

Интеграция элементов в мехатронных модулях является ведущей тенденцией при создании современных машин и систем, так как позволяет добиться качественно нового уровня по основным техническим показателям – скорости и точности движения, компактности конструкции и способности машины к быстрой реконфигурации. Практическое воплощение этой тенденции в машинах сегодняшнего дня зависит от эффективности взаимодействия конструктора, который выдвигает новые интеграционные идеи, и технолога, реализующего предложенные проектные решения в автоматизированных технологических процессах.

Специфика и сложность мехатронных модулей и систем заключается еще и в том, что их составляющие части (механическая, электронная и компьютерная) имеют различную физическую природу, а основные структурные элементы выпускаются зачастую предприятиями различных отраслей промышленности.

Разработка проектной и конструкторской документации

Процесс проектирования и конструирования мехатронной системы завершается разработкой проектной и конструкторской документации на систему, относится к *четвертому* этапу разработки системы.

Конструкторская документация (КД) подразделяется на проектную и рабочую.

Проектная конструкторская документация (ПКД) выполняется на различных стадиях реализации проекта в соответствии с техническим заданием (ТЗ), разработанным на предпроектной стадии (см. рис. 3.2), до разработки рабочей документации. В состав проектной документации входят: техническое предложение, эскизный и технический проекты. Состав и номенклатура документов,

входящих в техническое предложение, эскизный и технический проекты подробно изложены в лекции 3 (раздел 3.2).

Рабочая конструкторская документация (РКД) разрабатывается на основе технического задания или проектной конструкторской документации и предназначается для обеспечения монтажа, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта технических изделий (производственных процессов). Следует отметь, что выпуск и корректировка РКД обычно продолжается и на всех последующих этапах разработки и эксплуатации технической системы.

Четыре последние этапа (5, 6, 7, 8) (см. раздел 8.2) разработки мехатронных систем относятся к процессам подготовки, реализации и эксплуатации мехатронных систем (см. раздел 1.1, лекция 1). Сюда же можно отнести и процессы управления промышленными предприятиями на различных иерархических уровнях.

Основные положения этапа 5 «Разработка производства мехатронных систем (включая технологическую подготовку производства)» были рассмотрены в лекции 4 (раздел 4.1). Разработка больших производственных систем включает следующие виды работ:

– разработка производственных процессов, объединенных в производственную систему;

– разработка технологических процессов, входящих в состав производственных процессов;

– разработка технологических операций, на которые делится технологический процесс;

– разработка локальных систем управления отдельными процессами;

– разработка интегрированной информационной системы для автоматизации технологической подготовки и управления производственными системами и процессами;

– оптимизация технологических и производственных процессов;

– решение ряда инженерных задач.

Работы, связанные с выполнением 6 и 7 этапов, соответственно «Испытание» и «Доводка» мехатронных систем, в данном курсе лекций не рассматриваются.

Последний 8-й этап разработки мехатронных систем «Эксплуатация мехатронных систем» будет рассмотрен в лекции 9 в тесной увязке с этапом «Производство и реализация» жизненного цикла мехатронной системы (см. лекция 1, рис. 1.1). Основное внимание будет уделено автоматизированным системам управления промышленных предприятий, на которых реализуются производственные процессы.

Контрольные вопросы

1. Опишите традиционный алгоритм проектирования.
2. Сформируйте четыре уровня интеграции в мехатронных системах.
3. Разберите два направления проектных и конструкторских работ при проектировании и изготовлении мехатронных систем.
4. Опишите общую схему проектирования любой сложной системы.
5. Перечислите восемь этапов процесса разработки мехатронных систем (с выделением этапов, определяющих цикл проектирования).
6. Опишите инструментальные средства и методы информационных технологий, используемые при выполнении цикла проектирования.
7. Рассмотрите представление мехатронного модуля в форме «черного ящика».
8. Сформулируйте основную функциональную задачу мехатронной системы (или мехатронного модуля). Другие дополнительные функции мехатронных систем.
9. Опишите функциональную модель мехатронного модуля (F-модель).
10. Опишите структурную модель электропривода с компьютерным управлением (S-модель мехатронного модуля).
11. Сформулируйте суть синергетической интеграции элементов при проектировании мехатронных модулей. Рассмотрите три базовых принципа синергетической интеграции.

12. Сформулируйте суть функционально-структурной (ФС) и структурно-конструктивной (СК) синергетической интеграции.

13. Сформулируйте основную задачу этапа функционально-структурной интеграции (ФС-интеграция).

14. Рассмотрите мехатронные решения по функционально-структурной интеграции элементов из табл. 8.1.

15. Сформулируйте основную задачу этапа структурно-конструкторской интеграции (СК-интеграция).

16. Рассмотрите примеры мехатронных модулей, основанных на способе СК-интеграции (табл. 8.2).

Лекция 9
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ [1, 3, 18]

Мехатронные производства имеют иерархическую многомодульную структуру и соответствующие этой структуре автоматизированные системы управления (АСУ). Среди АСУ различают автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП).

9.1. Автоматизация управления предприятиями (АСУП)

В большинстве случаев АСУП охватывают уровни от предприятия до цеха.

Функции АСУП на промышленных предприятиях выполняют следующие автоматизированные системы (на различных иерархических уровнях) (см. лекцию 1, раздел 1.1):

ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

MRP (MRP-II) – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производственных (материальных) ресурсов);

MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);

DRP – Distribution Resource Planning (управление маркетинговыми мероприятиями и обработкой заказов);

FRP – Finance Requirements Planning (финансовый учет и планирование);

PM – Project Management (управление проектами).

Имеется ряд автоматизированных систем (АС):

CRM–$5ustomer Relationship Management (управление продажами), SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок), S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием). Эти АС могут быть отнесены как к АСУП, так и к логистическим системам, которые будут рассмотрены ниже.

Исторически первоначально был разработан стандарт MRP. Он появился в конце 60-х гг. Стандарт MRP включал в себя только планирование потребностей в материалах по замкнутому циклу. Затем стандарт MRP был расширен до MRP-II. Это позволило планировать все производственные ресурсы предприятия на основе данных, полученных от поставщиков и потребителей. Но этого оказалось недостаточно, и появился стандарт ERP, объединяющий возможности MRP и MRP-II, а также возможности стандартов DRP и FRP. Однако ERP-системы имеют явный крен в сторону автоматизации и стандартизации финансовых и учетно-хозяйственных функций производственных процессов и не обеспечивают интегрированного решения задач технологической подготовки производствами с его оперативным управлением, ограничиваясь только стратегическим планированием, а также между уровнем ERP и уровнем технологической подготовки и оперативного управления производством. В результате оказывается не охваченным информационными технологиями целый класс жизненно важных для предприятия производственных процессов.

Опыт внедрения ERP показал, что при создании действительно интегрированной системы управления предприятием в первую очередь необходимо решить в едином информационном пространстве (ЕИП) взаимоувязанные задачи автоматизации технологической подготовки и оперативного управления производством.

В настоящее время создание интегрированных информационных систем управления промышленными предприятиями реализуется на базе CALS-технологий, которые в гражданской

промышленности называются PLM-системами (PLM – Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделий).

Автоматизированные информационные системы (АИС) класса PLM включают в свой состав PDM-системы в качестве электронного архива и технологического документооборота (workflow).

В [18] приведены зарубежные и российские компании-разработчики АИС-систем класса PLM. Среди российских компаний-разработчиков следует выделить: «Аскон», «Топ Системы», НПП «Интермех» (г. Минск), «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ). Все эти компании разрабатывают АИС-системы класса PLM с программным обеспечением (ПО), позволяющим интегрировать в состав АИС-систем автоматизированные системы (АС), САПР: CAD, CAM, CAE.

На повестку дня поставлена задача определения базовых информационных технологий ИАИС (интегрированная автоматизированная информационная система) для алгоритмического и программного обеспечения функций CAD/CAM/CAE/PDM/FRP/MRP/MES-систем в ЕИП предприятия.

В настоящее время системами корпоративного управления и учета для планирования материальных ресурсов (MRP и MRP-II), управления технической информацией (TIM), электронной почтой, маршрутизацией документов при коллективной работе и т. д. являются: R|3, BAAN, AVALON9 (CIM) MANMAN/X, MMI, SOCAP, TRITON, а также STAFFWARE, SCALA и Lotus Notes. Самой крупной интегрированной системой этого класса является R|3.

9.2. Автоматизация управления технологическими процессами (АСУТП)

Системы АСУТП охватывают уровень от цеха и ниже. Однако в АСУТП могут быть включены и межцеховые связи, если управление единым производственным процессом выполняется в нескольких цехах. Эти системы часто называют системами промышленной автоматики, или встроенными системами (Embedded Systems).

В состав АСУТП входят автоматизированные системы:

– SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);

– CNC – Computer Numerical Control (компьютерное численное управление).

Система SCADA на верхнем иерархическом уровне АСУТП выполняет диспетчерские функции:

– сбор и обработка данных о состоянии оборудования;

– контроль протекания технологических процессов;

– выполняет роль инструментальной системы разработки ПО для встроенного в состав АСУТП оборудования компьютерной автоматизации;

– управление и регистрация аварийных сигналов (алармов);

– связь с корпоративной информационной сетью.

SCADA-системы состоят из терминальных компонентов, диспетчерских пунктов и каналов связи. Связь с контроллерами и приложениями в SCADA-системах обычно осуществляется посредством технологий: DDE – Dynamic Data Exchange (обмен данными), OLE – Object Linking and Embedding Technology (связывание и внедрение объектов), ODBC – Open Database Connectivity (открытый доступ к базам данных). В качестве каналов связи используют последовательные промышленные шины Profibus, CANbus, Foundation Fieldbus и др.

Разработка программ для программируемых контроллеров выполняется на языках C/C++, VBA – Visual basic для приложений или оригинальных языках, разработанных для конкретных систем. Ряд языков стандартизован и представлен в международном стандарте IEC 1131–3.

Известные SCADA-системы:

– Citect (компания Ci Technology), работающая в среде Windows;

– Trace Mode (компания AdAstra), операционные системы QNX, OS9, Windows;

– LabView SCADA (компания National Instruments).

Функциями систем MES являются анализ производственных процессов, их оптимизация, управление ресурсами и расходом

материалов, анализ простоя оборудования, диагностика и предупреждение поломок оборудования, контроль и управление качеством продукции, формирование отчетов о производстве для передачи на уровень ERP.

Функции MES близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM, S&SM и отличаются от них именно оперативностью, принятием решений в реальном времени, причем большое значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов.

В настоящее время наблюдается интеграция АСУП и АСУТП, ранее развивающихся автономно. Использование информации непосредственно от технологических процессов позволяет более рационально планировать производство и управлять предприятием за счет использования на этих уровнях общих программных средств, баз данных, сетей Industrial Ethernet и др.

На уровне управления технологическим оборудованием (запуск, тестирование, выключение оборудования, сигнализация о неисправностях, выработка управляющих воздействий для программно управляемого оборудования) используются программируемые контроллеры с системой CNC. Эти контроллеры обычно встраиваются в технологическое оборудование.

Техническое обеспечение АСУТП представлено персональными ЭВМ (в промышленном исполнении), контроллерами CNC, микрокомпьютерами PLC, распределенными по контролируемым участкам производства, связанными друг с другом с помощью промышленных шин.

9.3. Информационные логистические системы

Логистические задачи занимают значительное место среди задач, решаемых при организации управления сложными производственными системами.

Исторически в начале логистику связывали с управлением процедурами движения сырья и готовой продукции, их склади-

рованием и движением к месту потребления. Логистика формировалась как «наука об организации совместной деятельности менеджеров различных подразделений предприятия, а также группы предприятий по эффективному продвижению продукции по цепи «закупка сырья – производство продукции – сбыт – распределение» на основе интеграции и координации операций, процедур и функций, выполняемых в рамках данного процесса с целью минимизации общих затрат ресурсов». По существу, логистика выполняла функции подсистемы АСУП.

В 1974 г. международный конгресс по логистике предложил более широкое определение логистики «как науки о планировании, управлении и контроле за движением материальных, информационных и финансовых ресурсов в различных системах».

Затем появился термин «информационная логистика», под которым понимают организацию и использование систем информационного обеспечения производственно-хозяйственных процессов на предприятии. Объект информационной логистики – информационные потоки, сопровождающие материальные потоки.

Информационная логистика наиболее актуальна для автоматизированных систем проектирования (САПР) и управления, оперирующих информационными ресурсами, например в виде потоков документов (в различных формах), порождаемых материальными потоками и сопровождающих материальные потоки. Информационная логистика охватывает все виды деятельности, связанные с планированием и управлением процессами, нацеленными на обеспечение предприятия релевантной информацией.

В процессе проектирования мехатронных изделий или систем вся информация по проекту хранится в банке изделия, но возникает проблема с ее доставкой на рабочее место исполнителя. Возможностей СУБД для этого уже недостаточно. Более эффективные методы управления информацией оформлены в виде международных стандартов группы STEP (ISO 10303) CALS-системы. Такие методы составляют суть современной информационной логистики. Вместо логистической системы нередко

используются родственные ей системы управления разработками (проектами), например PDM-система управления проектными данными [10].

Создание логистической системы для САПР, обеспечивающей разработку или модернизацию сложных технических систем, начинается с описания предполагаемого изделия (входящих в его состав узлов (подсистем) и связей между ними) на специальном алгоритмическом языке EXPRESS, имеющимся в ISO 10303 (см. лекцию 7). При этом производится декомпозиция изделия – детальная функциональная и формируется структура информации, передаваемой по всем предусмотренным типам связи.

Полученная выше система пока обеспечивает только управление потоками информации. В ней не содержится никаких расчетов. Все расчеты, конструирование, анализ полученной информации, ее визуализация и прочая работа, необходимая для создания изделия, выполняется в отдельных модулях. Модули создаются на базе существующих САПР. Модули должны быть оформлены в виде самостоятельных программ со стандартными интерфейсами, предусмотренными в логистической системе. К числу таких модулей относятся системы ERP, SCM, CRM, PDM и др.

Вся созданная система размещается в локальной сети, например типа клиент-сервер. В этом случае все версии банка изделия и банка знаний размещаются на достаточно мощном сервере (типа Cray-3). В этом случае число клиентов в сети может измеряться сотнями.

Затем разрабатывается схема процесса проектирования изделия и начинается проектирование изделия.

В [10] более подробно описывается технология проектирования и последующая работа над изделием.

Логическим решением разработки информационных логистических систем является создание интегрированной автоматизированной системы управления (ИАИСУ), обеспечивающей информационное взаимодействие всех участников проекта.

9.4. Автоматизированные системы делопроизводства

В связи с переходом машиностроительной промышленности от серийного к мелкосерийному производству значительно возросла номенклатура выпускаемых предприятиями наукоемких изделий, что привело к многократному росту объема технической информации и документооборота.

На этапах конструкторской и технологической подготовки производства ведется коллективная работа с большим объемом документации, которая представлена в разных форматах (текстовые документы, чертежи, спецификации, отчеты, таблицы и т. д.) и разрабатываются в разных автоматизированных информационных системах (АИС) с использованием различных методов проектирования и типов сопровождающих их данных (твердотельные 3D модели, схемы печатных плат, программы для ЧПУ и т. д.).

Существует достаточно большое количество критериев классификации автоматизированных систем делопроизводства (АСД) по целевому назначению, приложению, масштабам:

- системы управления документами (СУД);
- системы управления документооборотом (СДО);
- инструментальные среды делопроизводства;
- специализированные и комплексные системы;
- локальные и распределенные системы;
- заказные и тиражируемые системы;
- фактографические и полнотекстовые системы;
- системы управления техническими данными (TDM);
- офисные системы делопроизводства;
- системы управления знаниями.

Отличия TDM от офисных АСД заключается в большом количестве чертежной документации и в тесной взаимосвязи с САПР.

Системы управления документами (СУД) предназначены для обеспечения санкционированного доступа к документам.

Систему управления документооборотом служат для управления деловыми процессами прохождения и обработки документов в соответствующих подразделениях и службах предприятия.

К системам управления знаниями в области делопроизводства относятся системы, выполняющие функции, характерные для интеллектуальных систем (классификация документов, телематический отбор документов, аналитическая обработка данных, моделирование деловых процессов).

Инструментальные среды в системах делопроизводства служат для формирования АСД, адаптированных к условиям конкретных предприятий и фирм. Ряд других задач, решаемых АСД, описан в [3, 18].

Основными компонентами СУД и СДО являются:

- электронный архив;
- система маршрутизации документов;
- контроль исполнения;
- модули сопровождения с прикладными программами;
- средства ввода информации.

В крупных АСД предусматривается распределенное хранение с доступом к документам в режимах off-line и on-line.

Современные системы делопроизводства являются распределенными, имеющими архитектуру клиент-сервер. На серверной стороне применяются серверы баз данных полнотекстовых документов, электронной почты, приложений SQL- и Web-серверы. На клиентской стороне – рабочие места пользователей.

К широкоизвестным СДО и АСД относятся Lotus Notes, Docs Open и др. примерами TDM служат Search или T-Flex Docs (на небольшое число пользователей) и системы документооборота, используемые в PDM Optegra или iMAN (для большого числа пользователей).

Контрольные вопросы

1. Перечислите автоматизированные системы, выполняющие функции АСУП на промышленных предприятиях.
2. Опишите стандарт MRP, входящий в АСУП.
3. Опишите стандарт MRP-II, входящий в АСУП.
4. Перечислите самые крупные интегрированные автоматизированные информационные системы (ИАИС).

5. Перечислите автоматизированные системы, выполняющие функции АСУП.

6. Укажите автоматизированные системы, выполняющие функции АСУТП.

7. Перечислите функции системы SCADA.

8. Перечислите известные SCADA-системы.

9. Опишите функции MES-систем.

10. В чем выражается интеграция АСУП и АСУТП?

11. Опишите историю развития логистических систем.

12. Дайте определение понятию «информационная логистика».

13. Укажите область применения информационной логистики.

14. Опишите порядок создания логистической системы для САПР.

15. Перечислите критерии классификации автоматизированных систем делопроизводства (АСД).

Опишите основные компоненты систем управления документами (СУД) и систем управления документооборотом (СДО).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы рассмотрели курс лекций, посвященных изучению основ дисциплины «Информационная поддержка мехатронных комплексов и производств», являющейся базовой составляющей более общей дисциплины «Проектирование мехатронных систем».

Данный курс лекций составляет в совокупности основу знаний в области информационного обеспечения разработки сложных (мехатронных) систем различного назначения и позволяет оценить роль информационного обеспечения при современном подходе к проектированию любых сложных технических систем.

Авторы не обещают, что прочитав эту книгу, студент сможет непосредственно притупить к разработке мехатронных систем (в лекциях основное внимание уделено только общим подходам к решению этой проблемы). Но авторы уверены, что студент будет подготовлен к дальнейшему самостоятельному углубленному изучению специальной технической литературы по всем аспектам, связанным с разработкой сложных технических и организационных систем.

Желаем вам больших успехов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норенков И. П. К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 488 с.
3. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов / И. П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002. – 336 с.
4. Готлиб Б. М. Технология автоматизированного машиностроения : учеб. пособие : в 2 т. / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк, М. Б. Готлиб. – Т. 2. Автоматизированные высокоэнергетические технологические процессы точного машиностроения. – Екатеринбург : УрГУПС. – 2012. – 230 с.
5. Юревич Е. И. Основы робототехники : учеб. пособие / Е. И. Юревич. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 308 с.
6. Черемных С. В. структурный анализ систем: IDEF-технологии / С. В. Черемных, И. О. Семенов, В. С. Ручкин. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
7. Леопенков А. В. Самоучитель UML / А. В. Леопенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 432 с.
8. Бенькович Е. С. Практическое моделирование динамических систем / Е. С. Бенькович, Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
9. Ли Кунву. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Ли Кунву. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.
10. Тунаков А. П. САПР газотурбинных двигателей : учеб. пособие / А. П. Тунаков, И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов. – Уфа : УГАТУ, 2005. – 272 с.
11. Кривошеев И. А. Формализация процесса проектирования и доводки двигателей с использованием CASE-технологии / И. А. Кривошеев. – М. : Изд-во «МАИ», 2008. – 128 с.

12. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учеб. пособие / А. П. Лукинов. – СПб. : Изд-во «Лань», 2012. – 608 с.
13. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : учеб. пособие для студентов вузов / Ю. В. Подураев. – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с.
14. Егоров О. Д. Мехатронные модули. Расчет и конструирование : учеб. пособие / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев. – М. : МГТУ «Станкин», 2004. – 360 с.
15. Марка Д. Методология структурного анализа и проектирования / Д. Марка, К. МакГоуэн. – М. : Метатехнология, 1992. – 239 с.
16. Файзрахманов Р. А. Структурно-функциональный подход к проектированию информационных технологий и автоматизированных систем с использованием CASE-средств / Р. А. Файзрахманов, К. А. Селезнев. – Пермь : ПГТУ, 2005. – 245 с.
17. Кривошеев И. А. Компьютерное моделирование в инновационном проектировании авиационных двигателей / И. А. Кривошеев, С. Г. Селиванов. – М. : Машиностроение, 2010. – 330 с.
18. Кульга К. С. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технологической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством : монография / К. С. Кульга, И. А. Кривошеев. – М. : Машиностроение, 2011. – 377 с.
19. Кривошеев И. А. Общая структура автоматизированной разработки авиационных двигателей и энергоустановок / И. А. Кривошеев. – М. : Машиностроение, 2009. – 265 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.О.01 ФИЛОСОФИЯ

Специальность
21. 05.04 Горное дело

Специализация

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Философии и культурологии	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой	Председатель
(подпись)	*(подпись)*
Беляев В. П.	Осипов П. А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 18.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по работе с текстом лекций	5
2	Методические рекомендации по подготовке к опросу	8
3	Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)	9
4	Методические рекомендации по написанию эссе	11
5	Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям	14
6	Методические рекомендации по подготовке к дискуссии	15
7	Методические рекомендации по написанию реферата	17
8	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	19
	Заключение	21
	Список использованных источников	22

Автор: Гладкова И. В., доцент, канд. филос. Н

ВВЕДЕНИЕ

Инициативная самостоятельная работа студента есть неотъемлемая составная часть учебы в вузе. В современном формате высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы студента. Правильно спланированная и организованная самостоятельная работа обеспечивает достижение высоких результатов в учебе.

Самостоятельная работа студента (СРС) - это планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, при сохранении ведущей роли студентов.

Целью СРС является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками по профилю будущей специальности, опытом творческой, исследовательской деятельности, развитие самостоятельности. Ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней. Самостоятельная работа студента – важнейшая составная часть учебного процесса, обязательная для каждого студента, объем которой определяется учебным планом. Методологическую основу СРС составляет деятельностный подход, при котором цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, т. е. на реальные ситуации, в которых студентам надо проявить знание конкретной дисциплины. Предметно и содержательно СРС определяется государственным образовательным стандартом, действующими учебными планами и образовательными программами различных форм обучения, рабочими программами учебных дисциплин, средствами обеспечения СРС: учебниками, учебными пособиями и методическими руководствами, учебно-программными комплексами и т.д.

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

Самостоятельная работа студента - это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;

- освоение информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию: текущие консультации, коллоквиум, прием и разбор домашних заданий и другие.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия: подготовка презентаций, составление глоссария, подготовка к практическим занятиям, подготовка рецензий, аннотаций на статью, подготовка к дискуссиям, круглым столам.

СРС может включать следующие формы работ:

- изучение лекционного материала;
- работа с источниками литературы: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий, выдаваемых на практических занятиях: тестов, докладов, контрольных работ и других форм текущего контроля;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение; подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе или коллоквиуму;
- подготовка к зачету, экзамену, другим аттестациям;
- написание реферата, эссе по заданной проблем;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнение курсовой работы или проекта;
- анализ научной публикации по определенной преподавателем теме, ее реферирование;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения. Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Подготовка к самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

На лекционных занятиях необходимо конспектировать учебный материал. Обращать внимание на формулировки, определения, раскрывающие содержание тех или иных понятий, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском мастерстве. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента, и помогает усвоить учебный материал.

Желательно оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений, фиксировать вопросы, вызывающие личный интерес, варианты ответов на них, сомнения, проблемы, спорные положения. Рекомендуется вести записи на одной стороне листа, оставляя вторую сторону для размышлений, разборов, вопросов, ответов на них, для фиксирования деталей темы или связанных с ней фактов, которые припоминаются самим студентом в ходе слушания.

Слушание лекций - сложный вид интеллектуальной деятельности, успех которой обусловлен *умением слушать*, и стремлением воспринимать материал, нужное записывая в тетрадь. Запись лекции помогает сосредоточить внимание на главном, в ходе самой лекции продумать и осмыслить услышанное, осознать план и логику изложения материала преподавателем.

Такая работа нередко вызывает трудности у студентов: некоторые стремятся записывать все дословно, другие пишут отрывочно, хаотично. Чтобы избежать этих ошибок, целесообразно придерживаться ряда правил.

1. После записи ориентирующих и направляющих внимание данных (тема, цель, план лекции, рекомендованная литература) важно попытаться проследить, как они раскрываются в содержании, подкрепляются формулировками, доказательствами, а затем и выводами.

2. Записывать следует основные положения и доказывающие их аргументы, наиболее яркие примеры и факты, поставленные преподавателем вопросы для самостоятельной проработки.

3. Стремиться к четкости записи, ее последовательности, выделяя темы, подтемы, вопросы и подвопросы, используя цифровую и буквенную нумерацию (римские и арабские цифры, большие и малые буквы), красные строки, выделение абзацев, подчеркивание главного и т.д.

Форма записи материала может быть различной - в зависимости от специфики изучаемого предмета. Это может быть стиль учебной программы (назывные предложения), уместны и свои краткие пояснения к записям.

Студентам не следует подробно записывать на лекции «все подряд», но обязательно фиксировать то, что преподаватели диктуют – это базовый конспект, содержащий основные положения лекции: определения, выводы, параметры, критерии, аксиомы, постулаты, парадигмы, концепции, ситуации, а также мысли-маяки (ими часто являются афоризмы, цитаты, остроумные изречения). Запись лекции лучше вести в сжатой форме, короткими и четкими фразами. Каждому студенту полезно выработать свою систему сокращений, в которой он мог бы разобраться легко и безошибочно.

Даже отлично записанная лекция предполагает дальнейшую самостоятельную работу над ней (осмысление ее содержания, логической структуры, выводов). С целью доработки конспекта лекции необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект. Доработанный конспект и

рекомендуемая литература используется при подготовке к практическому занятию. Знание лекционного материала при подготовке к практическому занятию обязательно.

Особенно важно в процессе самостоятельной работы над лекцией выделить новый понятийный аппарат, уяснить суть новых понятий, при необходимости обратиться к словарям и другим источникам, заодно устранив неточности в записях. Главное - вести конспект аккуратно и регулярно, только в этом случае он сможет стать подспорьем в изучении дисциплины.

Работа над лекцией стимулирует самостоятельный поиск ответов на самые различные вопросы: над какими понятиями следует поработать, какие обобщения сделать, какой дополнительный материал привлечь.

Важным средством, направляющим самообразование, является выполнение различных заданий по тексту лекции, например, составление ее развернутого плана или тезисов; ответы на вопросы проблемного характера, (скажем, об основных тенденциях развития той или иной проблемы); составление проверочных тесты по проблеме, написание по ней реферата, составление графических схем.

По своим задачам лекции могут быть разных жанров: *установочная лекция* вводит в изучение курса, предмета, проблем (что и как изучать), а *обобщающая лекция* позволяет подвести итог (зачем изучать), выделить главное, усвоить законы развития знания, преемственности, новаторства, чтобы применить обобщенный позитивный опыт к решению современных практических задач. Обобщающая лекция ориентирует в истории и современном состоянии научной проблемы.

В процессе освоения материалов обобщающих лекций студенты могут выполнять задания разного уровня. Например: задания *репродуктивного* уровня (составить развернутый план обобщающей лекции, составить тезисы по материалам лекции); задания *продуктивного* уровня (ответить на вопросы проблемного характера, составить опорный конспект по схеме, выявить основные тенденции развития проблемы); задания *творческого* уровня (составить проверочные тесты по теме, защитить реферат и графические темы по данной проблеме). Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний.

2. Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

Письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента. При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии [1].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[2].

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы.

3.Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

Доклад – публичное сообщение по заданной теме, представляющее собой развернутое изложение на определенную тему, вид самостоятельной работы, который используется в учебных и внеаудиторных занятиях и способствует формированию навыков исследовательской работы, освоению методов научного познания, приобретению навыков публичного выступления, расширяет познавательные интересы, приучает критически мыслить.

При подготовке доклада используется дополнительная литература, систематизируется материал. Работа над докладом не только позволяет учащемуся приобрести новые знания, но и способствует формированию важных научно-

---

[1] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

исследовательских навыков самостоятельной работы с научной литературой, что повышает познавательный интерес к научному познанию.

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

- тема доклада должна быть согласованна с преподавателем и соответствовать теме занятия;

- иллюстрации (слайды в презентации) должны быть достаточными, но не чрезмерными;

- материалы, которыми пользуется студент при подготовке доклада-презентации, должны соответствовать научно-методическим требованиям ВУЗа и быть указаны в докладе;

- необходимо соблюдать регламент: 7-10 минут выступления.

Преподаватель может дать тему сразу нескольким студентам одной группы, по принципу: докладчик и оппонент. Студенты могут подготовить два выступления с противоположными точками зрения и устроить дискуссию по проблемной теме. Докладчики и содокладчики во многом определяют содержание, стиль, активность данного занятия, для этого необходимо:

- использовать технические средства;
- знать и хорошо ориентироваться в теме всей презентации (семинара);
- уметь дискутировать и быстро отвечать на вопросы;
- четко выполнять установленный регламент: докладчик - 7-10 мин.; содокладчик - 5 мин.; дискуссия - 10 мин;
- иметь представление о композиционной структуре доклада.

После выступления докладчик и содокладчик, должны ответить на вопросы слушателей.

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

1. Определение цели доклада: информировать, объяснить, обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т. п.)

2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.

3. Составление плана доклада, систематизация материала, композиционное оформление доклада в виде печатного /рукописного текста и электронной презентации.

Общая структура доклада

Построение доклада включает три части: вступление, основную часть и заключение.

Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;
- современную оценку предмета изложения;
- краткое перечисление рассматриваемых вопросов;
- живую интересную форму изложения;
- акцентирование оригинальности подхода.

Основная часть.

Основная часть состоит из нескольких разделов, постепенно раскрывающих тему. Возможно использование иллюстрации (графики, диаграммы, фотографии, карты, рисунки) Если необходимо, для обоснования темы используется ссылка на источники с доказательствами, взятыми из литературы (цитирование авторов, указание цифр, фактов, определений). Изложение материала должно быть связным, последовательным, доказательным.

Задача основной части - представить достаточно данных для того, чтобы слушатели и заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение.

Заключение - это ясное четкое обобщение, в котором подводятся итоги, формулируются главные выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы, предлагаются самые важные практические рекомендации. Требования к оформлению доклада. Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом).

Доклад оценивается по следующим критериям:

Критерии оценки доклада, сообщения	*Количество баллов*
Содержательность, информационная насыщенность доклада	1
Наличие аргументов	1
Наличие выводов	1
Наличие презентации доклада	1
Владение профессиональной лексикой	1
Итого:	5

Электронные презентации выполняются в программе MS PowerPoint в виде слайдов в следующем порядке: • титульный лист с заголовком темы и автором исполнения презентации; • план презентации (5-6 пунктов - это максимум); • основная часть (не более 10 слайдов); • заключение (вывод). Общие требования к стилевому оформлению презентации: • дизайн должен быть простым и лаконичным; • основная цель - читаемость, а не субъективная красота; цветовая гамма должна состоять не более чем из двух-трех цветов; • всегда должно быть два типа слайдов: для титульных и для основного текста; • размер шрифта должен быть: 24–54 пункта (заголовок), 18–36 пунктов (обычный текст); • текст должен быть свернут до ключевых слов и фраз. Полные развернутые предложения на слайдах таких презентаций используются только при цитировании; каждый слайд должен иметь заголовок; • все слайды должны быть выдержаны в одном стиле; • на каждом слайде должно быть не более трех иллюстраций; • слайды должны быть пронумерованы с указанием общего количества слайдов

4. Методические рекомендации по написанию эссе

Эссе - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем. Цель эссе состоит в развитии навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственных мыслей. Писать эссе чрезвычайно полезно, поскольку это позволяет автору научиться четко и грамотно формулировать мысли, структурировать информацию, использовать основные категории анализа, выделять причинно-следственные связи, иллюстрировать понятия соответствующими примерами, аргументировать свои выводы; овладеть научным стилем речи.

Эссе должно содержать: четкое изложение сути поставленной проблемы, включать самостоятельно проведенный анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария, рассматриваемого в рамках дисциплины, выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. В зависимости от специфики дисциплины формы эссе могут значительно дифференцироваться. В некоторых случаях это может быть анализ имеющихся статистических данных по изучаемой проблеме, анализ материалов из средств массовой информации и использованием изучаемых моделей, подробный разбор предложенной задачи с развернутыми мнениями, подбор и детальный анализ примеров, иллюстрирующих проблему и т.д.

Построение эссе - это ответ на вопрос или раскрытие темы, которое основано на классической системе доказательств.

Структура эссе

1. *Титульный лист* (заполняется по единой форме);

2. *Введение* - суть и обоснование выбора данной темы, состоит из ряда компонентов, связанных логически и стилистически.

На этом этапе очень важно правильно *сформулировать вопрос, на который вы собираетесь найти ответ в ходе своего исследования.*

3. *Основная часть* - теоретические основы выбранной проблемы и изложение основного вопроса.

Данная часть предполагает развитие аргументации и анализа, а также обоснование их, исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. В этом заключается основное содержание эссе и это представляет собой главную трудность. Поэтому важное значение имеют подзаголовки, на основе которых осуществляется структурирование аргументации; именно здесь необходимо обосновать (логически, используя данные или строгие рассуждения) предлагаемую аргументацию/анализ. Там, где это необходимо, в качестве аналитического инструмента можно использовать графики, диаграммы и таблицы.

В зависимости от поставленного вопроса анализ проводится на основе следующих категорий:

Причина - следствие, общее - особенное, форма - содержание, часть - целое, постоянство - изменчивость.

В процессе построения эссе необходимо помнить, что один параграф должен содержать только одно утверждение и соответствующее доказательство, подкрепленное графическим и иллюстративным материалом. Следовательно, наполняя содержанием разделы аргументацией (соответствующей подзаголовкам), необходимо в пределах параграфа ограничить себя рассмотрением одной главной мысли.

Хорошо проверенный (и для большинства — совершено необходимый) способ построения любого эссе - использование подзаголовков для обозначения ключевых моментов аргументированного изложения: это помогает посмотреть на то, что предполагается сделать (и ответить на вопрос, хорош ли замысел). Такой подход поможет следовать точно определенной цели в данном исследовании. Эффективное использование подзаголовков - не только обозначение основных пунктов, которые необходимо осветить. Их последовательность может также свидетельствовать о наличии или отсутствии логичности в освещении темы.

4. *Заключение* - обобщения и аргументированные выводы по теме с указанием области ее применения и т.д. Подытоживает эссе или еще раз вносит пояснения, подкрепляет смысл и значение изложенного в основной части. Методы, рекомендуемые для составления заключения: повторение, иллюстрация, цитата, впечатляющее утверждение. Заключение может содержать такой очень важный, дополняющий эссе элемент, как указание на применение (импликацию) исследования, не исключая взаимосвязи с другими проблемами.

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

Доказательство - это совокупность логических приемов обоснования истинности какого-либо суждения с помощью других истинных и связанных с ним суждений. Оно связано с убеждением, но не тождественно ему: аргументация или доказательство должны основываться на данных науки и общественно-исторической практики, убеждения же могут быть основаны на предрассудках, неосведомленности людей в вопросах экономики и политики, видимости доказательности. Другими словами, доказательство или аргументация - это рассуждение, использующее факты, истинные суждения, научные данные и убеждающее нас в истинности того, о чем идет речь.

Структура любого доказательства включает в себя три составляющие: тезис, аргументы и выводы или оценочные суждения.

Тезис - это положение (суждение), которое требуется доказать. *Аргументы* - это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса. *Вывод* - это мнение, основанное на анализе фактов. *Оценочные суждения* - это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах. *Аргументы* обычно делятся на следующие группы:

1. *Удостоверенные факты* — фактический материал (или статистические данные).
2. *Определения* в процессе аргументации используются как описание понятий, связанных с тезисом.
3. *Законы* науки и ранее доказанные теоремы тоже могут использоваться как аргументы доказательства.

Требования к фактическим данным и другим источникам

При написании эссе чрезвычайно важно то, как используются эмпирические данные и другие источники (особенно качество чтения). Все (фактические) данные соотносятся с конкретным временем и местом, поэтому прежде, чем их использовать, необходимо убедится в том, что они соответствуют необходимому для исследований времени и месту. Соответствующая спецификация данных по времени и месту — один из способов, который может предотвратить чрезмерное обобщение, результатом которого может, например, стать предположение о том, что все страны по некоторым важным аспектам одинаковы (если вы так полагаете, тогда это должно быть доказано, а не быть голословным утверждением).

Всегда можно избежать чрезмерного обобщения, если помнить, что в рамках эссе используемые данные являются иллюстративным материалом, а не заключительным актом, т.е. они подтверждают аргументы и рассуждения и свидетельствуют о том, что автор умеет использовать данные должным образом. Нельзя забывать также, что данные, касающиеся спорных вопросов, всегда подвергаются сомнению. От автора не ждут определенного или окончательного ответа. Необходимо понять сущность фактического материала, связанного с этим вопросом (соответствующие индикаторы? насколько надежны данные для построения таких индикаторов? к какому заключению можно прийти на основании имеющихся данных и индикаторов относительно причин и следствий? и т.д.), и продемонстрировать это в эссе. Нельзя ссылаться на работы, которые автор эссе не читал сам.

Как подготовить и написать эссе?

Качество любого эссе зависит от трех взаимосвязанных составляющих, таких как:

1. Исходный материал, который будет использован (конспекты прочитанной литературы, лекций, записи результатов дискуссий, собственные соображения и накопленный опыт по данной проблеме).
2. Качество обработки имеющегося исходного материала (его организация, аргументация и доводы).
3. Аргументация (насколько точно она соотносится с поднятыми в эссе проблемами).

Процесс написания эссе можно разбить на несколько стадий: обдумывание - планирование - написание - проверка - правка.

Планирование - определение цели, основных идей, источников информации, сроков окончания и представления работы.

Цель должна определять действия.

Идеи, как и цели, могут быть конкретными и общими, более абстрактными. Мысли, чувства, взгляды и представления могут быть выражены в форме аналогий, ассоциации, предположений, рассуждений, суждений, аргументов, доводов и т.д.

Аналогии - выявление идеи и создание представлений, связь элементов значений.

Ассоциации - отражение взаимосвязей предметов и явлений действительности в форме закономерной связи между нервно - психическими явлениями (в ответ на тот или иной словесный стимул выдать «первую пришедшую в голову» реакцию).

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

Аргументация - ряд связанных между собой суждений, которые высказываются для того, чтобы убедить читателя (слушателя) в верности (истинности) тезиса, точки зрения, позиции.

Суждение - фраза или предложение, для которого имеет смысл вопрос: истинно или ложно?

Доводы - обоснование того, что заключение верно абсолютно или с какой-либо долей вероятности. В качестве доводов используются факты, ссылки на авторитеты, заведомо истинные суждения (законы, аксиомы и т.п.), доказательства (прямые, косвенные, «от противного», «методом исключения») и т.д.

Перечень, который получится в результате перечисления идей, поможет определить, какие из них нуждаются в особенной аргументации.

*Источники***.** Тема эссе подскажет, где искать нужный материал. Обычно пользуются библиотекой, Интернет-ресурсами, словарями, справочниками. Пересмотр означает редактирование текста с ориентацией на качество и эффективность.

Качество текста складывается из четырех основных компонентов: ясности мысли, внятности, грамотности и корректности.

Мысль - это содержание написанного. Необходимо четко и ясно формулировать идеи, которые хотите выразить, в противном случае вам не удастся донести эти идеи и сведения до окружающих.

Внятность - это доступность текста для понимания. Легче всего ее можно достичь, пользуясь логично и последовательно тщательно выбранными словами, фразами и взаимосвязанными абзацами, раскрывающими тему.

Грамотность отражает соблюдение норм грамматики и правописания. Если в чем-то сомневаетесь, загляните в учебник, справьтесь в словаре или руководстве по стилистике или дайте прочитать написанное человеку, чья манера писать вам нравится.

Корректность — это стиль написанного. Стиль определятся жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

5. Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой *дискуссию* в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие подведением итогоа обсуждения, заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия, демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Готовясь к конкретной теме занятия следует ознакомиться с новыми официальными документами, статьями в периодических журналах, вновь вышедшими монографиями.

6. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает *семинар-дискуссия,* где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента, обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и недостатки. Для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Дискуссия является одной из наиболее эффективных технологий группового взаимодействия, обладающей особыми возможностями в обучении, развитии и воспитании будущего специалиста.

Дискуссия (от лат. discussio - рассмотрение, исследование) - способ организации совместной деятельности с целью интенсификации процесса принятия решений в группе посредством обсуждения какого-либо вопроса или проблемы.

Дискуссия обеспечивает активное включение студентов в поиск истины; создает условия для открытого выражения ими своих мыслей, позиций, отношений к обсуждаемой теме и обладает особой возможностью воздействия на установки ее участников в процессе группового взаимодействия. Дискуссию можно рассматривать как *метод интерактивного обучения* и как особую технологию, включающую в себя другие методы и приемы обучения: «мозговой штурм», «анализ ситуаций» и т.д.

Обучающий эффект дискуссии определяется предоставляемой участнику возможностью получить разнообразную информацию от собеседников, продемонстрировать и повысить свою компетентность, проверить и уточнить свои представления и взгляды на обсуждаемую проблему, применить имеющиеся знания в процессе совместного решения учебных и профессиональных задач.

Развивающая функция дискуссии связана со стимулированием творчества обучающихся, развитием их способности к анализу информации и аргументированному, логически выстроенному доказательству своих идей и взглядов, с повышением коммуникативной активности студентов, их эмоциональной включенности в учебный процесс.

Влияние дискуссии на личностное становление студента обусловливается ее целостно - ориентирующей направленностью, созданием благоприятных условий для проявления индивидуальности, самоопределения в существующих точках зрения на определенную проблему, выбора своей позиции; для формирования умения взаимодействовать с другими, слушать и слышать окружающих, уважать чужие убеждения, принимать оппонента, находить точки соприкосновения, соотносить и согласовывать свою позицию с позициями других участников обсуждения.

Безусловно, наличие оппонентов, противоположных точек зрения всегда обостряет дискуссию, повышает ее продуктивность, позволяет создавать с их помощью конструктивный конфликт для более эффективного решения обсуждаемых проблем.

Существует несколько видов дискуссий, использование того или иного типа дискуссии зависит от характера обсуждаемой проблемы и целей дискуссии.

Дискуссия- диалог чаще всего применяется для совместного обсуждения учебных и производственных проблем, решение которых может быть достигнуто путем взаимодополнения, группового взаимодействия по принципу «индивидуальных вкладов» или на основе согласования различных точек зрения, достижения консенсуса.

Дискуссия - спор используется для всестороннего рассмотрения сложных проблем, не имеющих однозначного решения даже в науке, социальной, политической жизни, производственной практике и т.д. Она построена на принципе «позиционного противостояния» и ее цель - не столько решить проблему, сколько побудить участников дискуссии задуматься над проблемой, уточнить и определить свою позицию; научить аргументировано отстаивать свою точку зрения и в то же время осознать право других иметь свой взгляд на эту проблему, быть индивидуальностью.

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,

- свободное владение материалом, привлечение различных источников для аргументации отстаиваемых положений;

- правильное употребление понятий, используемых в дискуссии, их единообразное понимание;

- корректность поведения, недопустимость высказываний, задевающих личность оппонента; установление регламента выступления участников;

- полная включенность группы в дискуссию, участие каждого студента в ней.

Подготовка студентов к дискуссии: если тема объявлена заранее, то следует ознакомиться с указанной литературой, необходимыми справочными материалами, продумать свою позицию, четко сформулировать аргументацию, выписать цитаты, мнения специалистов.

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

Этап 1-й, введение в дискуссию: формулирование проблемы и целей дискуссии;

определение значимости проблемы, совместная выработка правил дискуссии; выяснение однозначности понимания темы дискуссии, используемых в ней терминов, понятий.

Этап 2-й, обсуждение проблемы: обмен участниками мнениями по каждому вопросу. Цель этапа - собрать максимум мнений, идей, предложений, соотнося их друг с другом.

Этап 3-й, подведение итогов обсуждения: выработка студентами согласованного мнения и принятие группового решения.

Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проводится "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения студентов по актуальным и проблемным вопросам.

7. Методические рекомендации по написанию реферата

Слово "реферат" (от латинского – referre – докладывать, сообщать) означает сжатое изложение в устной или письменной форме содержания какого–либо вопроса или темы на основе критического обзора информации.

Написание реферата - вид самостоятельной работы студента, содержащий информацию, дополняющую и развивающую основную тему, изучаемую на аудиторных занятиях. Реферат может включать обзор нескольких источников и служить основой для доклада на семинарах, конференциях.

При подготовке реферата необходимо соблюдать следующие правила.

Ясно и четко сформулировать цель и задачи реферата, отражающие тему или решение проблемы.

Найти литературу по выбранной теме; составить перечень источников, обязательных к прочтению.

Только после предварительной подготовки следует приступать к написанию реферата. Прежде всего, составить план, выделить в нем части.

Введение. В этом разделе раскрывается цель и задачи работы; здесь необходимо сформулировать проблему, которая будет проанализирована в реферате, изложить своё отношение к ней, то есть мотивацию выбора; определить особенность постановки данной проблемы авторами изученной литературы; объяснить актуальность и социальную значимость выбранной темы.

Основная часть. Разделы, главы, параграфы основной части должны быть направлены на рассмотрение узловых моментов в теме реферата. Изложение содержания изученной литературы предполагает его критическое осмысление, глубокий логический анализ.

Каждый раздел основной части реферата предполагает детальное изучение отдельного вопроса темы и последовательное изложение структуры текстового материала с обязательными ссылками на первоисточник. В целом, содержание основной части должно отражать позиции отдельных авторов, сравнительную характеристику этих позиций, выделение узловых вопросов дискурса по выбранной для исследования теме.

Заключение. В заключении автор реферата должен сформулировать личную позицию в отношении изученной проблемы и предложить, может быть, свои способы её решения. Целесообразно сделать общие выводы по теме реферата и ещё раз отметить её актуальность и социальную значимость.

Список использованных источников и литературы.

Написание рефератов является одной из форм обучения студентов, направленной на организацию и повышение уровня самостоятельной работы, а также на усиление контроля за этой работой.

В отличие от теоретических семинаров, при проведении которых приобретаются, в частности, навыки высказывания своих суждений и изложения мнений других авторов в устной форме, написание рефератов формирует навыки изложения своих мыслей в письменной форме грамотным языком, хорошим стилем.

В зависимости от содержания и назначения в учебном процессе рефераты можно подразделить на два основных типа: научно-проблемные и обзорно-информационные.

Научно-проблемный реферат. При написании такого реферата следует изучить и кратко изложить имеющиеся в литературе суждения по определенному, спорному в теории, вопросу (проблеме) по данной теме, высказать по этому вопросу (проблеме) собственную точку зрения с соответствующим ее обоснованием.

Обзорно-информационный реферат. Разновидностями такого реферата могут быть следующие:

1) краткое изложение основных положений той или иной книги, монографии, содержащих материалы, относящиеся к изучаемой теме по курсу дисциплины;

2) подбор и краткое изложение содержания статей по определенной проблеме (теме, вопросу), опубликованных в различных журналах за определенный период, либо в сборниках («научных трудах», «ученых записках» и т.д.).

Темы рефератов определяются преподавателем. Литература либо рекомендуется преподавателем, либо подбирается аспирантами самостоятельно, что является одним из элементов самостоятельной работы.

Объем реферата должен быть в пределах 15 страниц машинописного текста через 1,5 интервала. При оформлении реферата необходимо ориентироваться на правила и установленные стандарты для учебных и научных работ.

Реферат сдается в указанные преподавателем сроки.

Критерии оценивания:

- достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в реферате проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);

- уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований);

- личные заслуги автора реферата (новые знания, которые получены помимо основной образовательной программы, новизна материала и рассмотренной проблемы, научное значение исследуемого вопроса);

- культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора);

- культура оформления материалов работы (соответствие реферата всем стандартным требованиям);

- знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;

- степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всестороннее раскрытие темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению);

- качество и ценность полученных результатов (степень завершенности реферативного исследования, спорность или однозначность выводов);

- корректное использование литературных источников, грамотное оформление ссылок.

8. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины. Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных,

наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальный сон, иначе в день экзамена не будет чувства бодрости и уверенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения,

способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства.

Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

2. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

3. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

ИСТОРИЯ РОССИИ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управление персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Абрамов С.М.	Осипов П.А.
(Фамилия И. О.)	*(Фамилия И. О.)*
Протокол № 1 от 10.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Автор: Железникова А.В.

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические рекомендации необходимы для студентов бакалавриата по специальности 21.05.04 Горное дело при организации самостоятельной работы по дисциплине «История России» в рамках подготовки и защиты контрольной работы.

В методических рекомендациях содержатся особенности организации подготовки контрольной работы, требования к ее оформлению, а также порядок защиты и критерии оценки.

Контрольная работа является одной из форм текущего контроля знаний студентов. Контрольная работа – это индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания. Контрольная работа представляет собой самостоятельный труд студента, который способствует углубленному изучению материала**.** Целью выполнения контрольной работы является:

- формирование специальных знаний по выбранной теме;
- углубленное изучение освоенного материала по дисциплине.

Основные задачи контрольной работы:

1) закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2) выработка навыков самостоятельной работы;
3) выяснение подготовленности студента к будущей практической работе;
4) приобретение, систематизация и расширение знаний;
5) формирование умений и навыков работы с монографической и другой научной литературой, а также нормативными документами;
6) развитие умения правильно формулировать и раскрывать теоретические положения, аргументировать самостоятельные выводы и предложения на основе сопоставления различных мнений и взглядов;
7) овладение терминологией.

В методических рекомендациях содержатся особенности организации подготовки контрольной работы, требования к ее оформлению, а также порядок защиты и критерии оценки.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Выполнение контрольной работы по дисциплине «История России» призвано стимулировать самостоятельную работу студентов; оно направлено на формирование знаний основных категорий, развитие навыков логического мышления.

Контрольная работа должна быть оформлена следующим образом. На титульном листе необходимо указать название университета (ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»), название кафедры (кафедра Управление персоналом), название дисциплины («История России»), по которой выполняется работа, фамилию и инициалы имени и отчества студента, фамилию и инициалы преподавателя. Титульный лист работы оформляется студентом по образцу, данному в приложении.

Положительная оценка по контрольной работе ставится в случае, если задание по работе выполнено в полном объеме, правильно. При этом, обучающийся показал отличные владения навыками применения полученных знаний и умений в рамках усвоенного учебного материала, ответил на все дополнительные вопросы на защите.

Студент, не получивший оценку по контрольной работе, не может быть допущен к зачету по дисциплине «История России».

Работа должна включать титульный лист, оглавление, введение, основную часть, состоящую из нескольких разделов или параграфов, заключение, список источников и литературы.

Во **«введении»** необходимо кратко раскрыть значение и актуальность изучаемого вопроса (темы), назвать основные задачи работы, ее хронологические рамки, обосновать структуру, дать краткий обзор источников и литературы по теме.

Обзор источников и литературы не должен сводиться к перечислению использованного автором нормативного материала и опубликованных статей. В нем следует дать анализ источников и литературы.

Основная часть контрольной работы должна быть изложена в соответствии с планом, освещать состояние и содержать анализ рассматриваемых вопросов с учетом современного уровня развития теоретических знаний и опыта практической работы организаций.

При раскрытии той или иной темы студент должен стремиться подробно и глубоко изложить круг вопросов, входящих в нее. По мере рассмотрения материала отдельные положения контрольной работы следует иллюстрировать примерами из литературы и, по возможности, из практики работы конкретных архивов с обязательными ссылками на литературу и источники.

В **заключении** контрольной работы необходимо подвести итоги теоретической и практической разработки вопросов.

Список источников и литературы представляет собой перечень использованных работ по теме, в котором указываются фамилии и инициалы автора (авторов), название работы, место, время ее опубликования и страницы.

1. Оформление контрольной работы

Перед тем, как рассмотреть оформление заголовков, отметим, что работа обычно печатается 14-м размером шрифта Times New Roman (это не регламентируется ГОСТом, однако используется в большинстве отечественных высших учебных заведений). Общепринятый междустрочный интервал – 1,5. На каждой странице должны присутствовать стандартные поля (сверху и снизу – по 2 см, слева – 3 см, справа – 1 см). Объем контрольной работы-15-20 страниц машинописного текста.

Работа нумеруется с помощью арабских цифр, начиная со страницы введения. Она в общей структуре следует под номером «3».

Основные правила оформления такие:

1. заголовки выравниваются по центру или по правому краю (этот момент выясняют у научного руководителя или в методичке);
2. названия структурных элементов (ОГЛАВЛЕНИЕ, ЗАДАНИЕ 1, ЗАДАНИЕ 2, ЗАКЛЮЧЕНИЕ) прописываются заглавными буквами;
3. используется тот же размер шрифта, что и для основного текста (по умолчанию – 14);
4. заголовки выделяют полужирным начертанием;
5. между заголовком и текстом оставляют две пустые строчки;
6. переносы, авторские сокращения, точки в конце заголовков не используются;
7. новые разделы и подразделы начинаются с чистого листа.

Каждый новый раздел основной части начинается с новой страницы. Это же правило относится и к другим структурным частям работы: введению, заключению, списку источников и литературы, приложениям.

Расстояние между заголовком и последующим текстом, а также расстояние между заголовком главы и параграфа должно быть равно одному межстрочному интервалу. Расстояние между последней строкой предыдущего параграфа и названием следующего параграфа – два межстрочных интервала. Точку в конце заголовка, расположенного в середине строки, не ставят. Подчеркивать заголовки и переносить слова в заголовке нельзя.

Нумерация страниц проставляется арабскими цифрами, в центре нижней части листа без точки, начиная с третьей страницы. На титульном листе и содержании номера страниц не ставятся. Необходимо соблюдать сквозную нумерацию во всей работе. Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включаются в общую нумерацию.

Иллюстрации. Часть информации, содержащейся в курсовой работе, оформляется в виде иллюстраций (чертежи, схемы, графики, таблицы, фотоматериалы). Они могут располагаться в тексте или помещаться в приложении. Но в любом случае на каждую иллюстрацию в тексте должны быть ссылки. Иллюстрации, расположенные в тексте, имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Причем, отдельно нумеруются рисунки, отдельно таблицы. Иллюстрации, расположенные в приложениях, располагаются под номерами приложений. Ссылки на них в тексте предполагают обращение к соответствующим приложениям

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Порядок защиты контрольной работы.

1.Краткое сообщение, характеризующее цель и задачи работы, ее актуальность, полученные результаты, вывод и предложения.

2.Ответы студента на вопросы преподавателя.

Советы обучающемуся:

- Вступление должно быть кратким – 1-2 фразы (если вы хотите подчеркнуть при этом важность и сложность данного вопроса, то не говорите, что он сложен и важен, а покажите его сложность и важность).
- Целесообразнее вначале показать свою схему раскрытия вопроса, а уж потом ее детализировать.
- Рассказывать будет легче, если вы представите себе, что объясняете материал очень способному и хорошо подготовленному человеку, который не знает именно этого раздела, и что при этом вам обязательно нужно доказать важность данного раздела и заинтересовать в его освоении.
- Строго следите за точностью своих выражений и правильностью употребления терминов.
- Не пытайтесь рассказать побольше за счет ускорения темпа, но и не мямлите.
- Не демонстрируйте излишнего волнения и не напрашивайтесь на сочувствие.
- Будьте особенно внимательны ко всем вопросам преподавателя, к малейшим его замечаниям. И уж ни в коем случае его не перебивайте!
- Не бойтесь дополнительных вопросов – чаще всего преподаватель использует их как один из способов помочь вам или сэкономить время.
- Прежде чем отвечать на дополнительный вопрос, необходимо сначала правильно его понять. Для этого нужно хотя бы немного подумать, иногда переспросить, уточнить: правильно ли вы поняли поставленный вопрос. И при ответе следует соблюдать тот же принцип экономности мышления, а не высказывать без разбора все, что вы можете сказать.
- Будьте доброжелательны и тактичны, даже если к ответу вы не готовы (это вина не преподавателя, а ваша).

ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вариант 1. Тема: Древняя Русь

План

1. Проблема этногенеза восточных славян.
2. Восточные славяне в древности: общинные традиции и порядки.

3. Языческая культура древних славян.

Вариант 2. Тема: Киевская Русь

План

1.Политическое устройство Киевской Руси.

2. Первые русские князья.

2.Социально-экономическое развитие.

3.Культура Древнерусского государства.

Вариант 3. Тема: Крещение Руси

План

1.Языческая реформа князя Владимира.

2.Принятие православного христианства.

3.Развитие культуры и искусства под влиянием новой религии.

4.Роль церкви в общественной и государственной жизни страны.

Вариант 4. Тема: Объединение русских земель и образование Московского государства (XIV–XV вв.)

План

1.Предпосылки и начало объединения русских земель вокруг Москвы.

2.Борьба Великого московского князя с удельными князьями.

3.Образование российского централизованного государства. Иван III. Василий III.

Вариант 5. Тема: Иван Грозный. Попытки централизации государства

План

1.Реформы 1549–1560 гг.: причины, содержание, результаты.

2.Опричнина: истоки, содержание, последствия.

3.Место Ивана Грозного в российской истории.

Вариант 6. Тема: Смутное время в России

План

1. Смутное время, его причины, сущность и проявления.

2. Проблемы исторического выбора в период Смуты, возможные альтернативы развития.

3. Национально-патриотический подъем в начале XVII века. Земское ополчение.

4. Возникновение новой династии: исторический выбор.

Вариант 7. Тема: Церковная реформа середины XVII в.

План

1. Церковная реформа патриарха Никона.

2. Раскол и возникновение старообрядчества.

3. Последствия церковной реформы для духовной жизни и культурного развития страны.

Вариант 8. Тема: Реформы Петра I

1. Предпосылки преобразований Петра I.

2. Петровские реформы: содержание и характеристика.

3. Методы проведения реформ, их результаты и цена

Вариант 9. Тема: Внешняя политика российской империи во второй половине XVIII в.

План

1. Русско-турецкие войны.

2. Разделы Польши.
3. Значение присоединения новых территорий.
4. Выдающиеся полководцы XVIII века.

Вариант 10. Тема: Проблема эволюции и революции в истории России
План
1. Реформы и реформаторы в России.
2. Попытки либеральных реформ при Александре I.
3. Декабристы.
4. Буржуазно-демократические реформы Александра II и их последствия.
5. Общественная мысль и движение народников.

Вариант 11. Тема: Великие реформы Александра II
План
1.Предпосылки и подготовка реформ.
2.Содержание реформ 60-70-х гг.:
а) манифест и "Положения 19 февраля" 1861 г.;
б) земская и городская реформа;
в) судебная реформа;
г) военная реформа;
д) реформа в области просвещения.

Вариант 12. Тема: Общественно-политические движения XIX века в России
План
1. Общественное движение начала XIX века. Декабристы.
2. Общественное движение середины XIX века. Славянофилы. Западники. Либеральное направление.
3. Развитие общественно-политических сил в середине XIX в. народничество.
3. Проникновение марксизма в Россию.

Вариант 13. Тема: Россия в условиях первой мировой войны и общенационального кризиса
План:
1. Начало, причины, характер и масштабы первой мировой войны.
2. Цели вступления России в мировую войну. Отношение к войне классов и партий России.
3. Последствия войны для России.

Вариант 14. Тема: От реформ к революциям
План
1. Российские реформы в контексте общемирового развития.
2. Революция 1905-1907 гг. и ее итоги.
3. Социальная трансформация общества.
4. Реформы П.А. Столыпина
5. Россия в условиях первой мировой войны и общенационального кризиса.
6. Революция 1917 года: от февраля к октябрю: результаты и последствия

Вариант 15. Тема: Гражданская война в России
План
1.Причины и начало гражданской войны.
2.Характеристика основных противоборствующих сил:
а) «демократическая контрреволюция»;

б) антисоветские силы;
в) стратегия и тактика большевиков.
3. Завершение гражданской войны, ее итоги и уроки.

Вариант 16. Тема: Образование СССР

План:

1. Образование самостоятельных Советских республик и отношения между ними (1918-1922 гг.).

2.Причины, предпосылки и процесс образования СССР. Дискуссия по вопросу о форме союзного государства.

3. I Всесоюзный съезд Советов.

4. Конституции СССР.

Вариант 17. Тема: Поиски моделей советского общества

План

1. «Военный коммунизм» как модель советского общества.
2. Новая экономическая политика.
3. Формирование однопартийной системы.
4. Курс на строительство коммунизма в одной стране.
5. Формирование культа личности Сталина.

Вариант 18. Тема: Политическая система советского общества

План

1.Формирование политической системы СССР в 20-30-е гг. Становление режима личной власти Сталина.

2.Политика репрессий. Политические процессы 30-х гг.

3.Попытки сопротивления сталинскому режиму и их последствия.

Вариант 19. Тема: СССР в годы Второй мировой и Великой Отечественной войны. 1939–1945 гг.

План

1. Причины и основные этапы второй мировой и Великой Отечественной войны.
2. Антигитлеровская коалиция: взаимодействие и противоречия.
3. Итоги и уроки мировой войн

Вариант 20. Тема: Советское общество: либеральные реформы и консервативные тенденции. 1953–1985 гг.

План

1. Смерть Сталина и борьба за власть. Начало десталинизации общества.
2. Реформы Н. С. Хрущева: планы, противоречия, итоги.
3. Политическое, социально-экономическое и духовно-нравственное развитие страны: конец 60-х-начало 80-х гг.

Вариант 21. Тема: Основные тенденции государственно-политического и общественного развития СССР в 1985–1993 гг.

План

1. Попытки совершенствования социализма. Перестройка: расчеты и просчеты.
2. Кризис власти. Августовские события 1991 г. и конец перестройки.
3. Формирование государственно-политической системы Российской Федерации. Становление гражданского общества.

Вариант 22. Тема: Русская культура (X-XIII вв., XVIII в., «Золотого века», «Серебряного века», советского периода (на выбор)

План

1. Основные направления и жанры.
2. Искусство и литература как отражение жизни общества.
3. Традиции и новаторство в культуре.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Проверяемая компетенция: УК-5

Знать:

- основные категории и понятия, относящиеся к исторической проблематике;
- актуальные события, тенденции, факторы, этапы и закономерности истории России;
- место и роль России в мировой истории в контексте различных направлений современной историографии;
- основные теории и концепции по истории России;
- социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия общества;

Уметь:

- толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества;
- интерпретировать прошлое с позиций настоящего без опоры на оценочные суждения;
- осмысливать общественное развитие в более широких рамках, видеть его более интерактивным и эволюционным в социальном смысле и не загонять его в идеологически детерминированную последовательность событий;
- извлекать из прошлого российской истории практические уроки для применения полученных знаний в профессиональной деятельности;
- анализировать и оценивать исторические события и процессы в их динамике и взаимосвязи.
- демонстрировать уважение к людям и проявлять толерантность к другой культуре, готовность к поддержанию партнерских отношений;

Владеть:

- навыками толерантного восприятия межкультурного разнообразия общества;
- навыками анализа исторических источников и исторической литературы, а также умением ведения дискуссии по проблемам исторического прошлого;
- способностью к социальному взаимодействию на основе принятых моральных и правовых норм, социальных стандартов;
- знанием базовых ценностей мировой культуры, готовностью опираться на них в своем личном и общекультурном развитии;
- способностью самостоятельно осуществлять исследовательскую деятельность использованием современных информационно-коммуникационных технологий.

Критерии оценивания:

- многоаспектность анализа проблемы,
- умение применять теоретические знания к реальной ситуации задания (наличие иллюстративных примеров),
- наличие выводов,
- соответствие требованиям оформления,
- соблюдение норм литературной речи, грамотность, владение профессиональной терминологией

Правила оценивания:

Первый показатель – 3 балла, последний – 1 балл, остальные показатели – по 2 балла.

Критерии оценки:

5-10 баллов (50-100%) – «зачтено»;

0-4 баллов (0-49%) - оценка «не зачтено».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контрольная работа, как одна из форм, способствующих успешному контролю учебного процесса, **открывает для студента возможность** проявить умение выполнять самостоятельную работу по сбору и анализу материала, научиться делать грамотные выводы, развить умение работать со специальными литературными источниками, научиться критически подходить к их осмыслению и сравнению с уже имеющимися у него знаниями. Также студент, **создавая контрольную работу**, учится грамотно и прилежно оформлять собственный труд. Таким образом, студент, используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) добросовестное выполнение заданий;

2) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

3) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

4) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

5) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *специалистов горного дела.*

Приложение

Образец оформления титульного листа контрольной работы (реферата)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Инженерно-экономический факультет

Кафедра управления персоналом

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине
«История России»

ВАРИАНТ 1

Руководитель:
Железникова А.В.
Студент гр. РРМ-22
Артёмова Елена Юрьевна

Екатеринбург – 2022

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Б1.О.02 ИСТОРИЯ РОССИИ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управление персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Абрамов С.М.	Осипов П.А.
(Фамилия И. О.)	*(Фамилия И. О.)*
Протокол № 1 от 10.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Автор: Железникова А.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….……..…..……..6

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ……10

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ…….……18

ПОДГОТОВКА К ДОКЛАДУ…….22

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ....27

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……30

ПОДГОТОВКА ЭССЕ……31

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ…….....34

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……36

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении – это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;

- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных задач и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «*История России*» обращаю внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к выполнению *контрольной работы* и к сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «*История России*» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т. ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т. ч. подготовка доклада, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания);
- подготовка к тестированию;
- подготовка эссе;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема 1. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории

1.История как наука. Сущность, формы, функции исторического знания.

2.Методы и источники изучения истории. Понятие и классификация исторического источника.

3.Концепции исторического процесса.

4.История России - неотъемлемая часть всемирной истории.

5.Историография отечественной истории.

Тема 2. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян

1.Этногенез восточных славян.

2.Славяне: расселение, занятия, общественное устройство, верования.

3.Предпосылки образования государственности у восточных славян

4.Норманнская и антинорманнская теории.

5. Первые князья династии Рюриковичей.

6. Русь и Византия. Первые договоры.

Тема 3. Киевская Русь

1. Социально-экономический и общественно-политический строй Киевской Руси (конец X – первая треть XII вв.).

2.Формирование системы государственного управления. Князья Игорь, Ольга, Святослав.

3. Князь Владимир. Крещение Руси и его значение.

4. Ярослав Мудрый. «Русская правда» - первый свод законов Древнерусского государства. Владимир Мономах.

Тема 4. Русь в эпоху феодальной раздробленности

1.Предпосылки распада Киевской Руси и начала феодальной раздробленности.

2. Политическая раздробленность на Руси

а) Новгородская боярская республика.

б) Владимиро-Суздальская Русь. Юрий Долгорукий, Андрей Боголюбский, Всеволод Большое Гнездо.

в) Галицко-Волынская земля. Ростислав Мстиславич, Даниил Романович.

г) Киевская земля в период феодальной раздробленности.

3. Последствия раздробленности.

4. Завоевательные походы монголов и нашествие Батыя на Русь.

5. Борьба с немецко-шведской агрессией. Деятельность А.Невского

6. Золотоордынское влияние на развитие средневековой Руси: оценки историков.

Тема 5. Складывание Московского государства в XIV - XVI вв. (XIV – начало XVI вв.)

1.Предпосылки и особенности процесса объединения русских земель.

2.Этапы политического объединения, их характеристика и содержание. Иван Калита, Дмитрий Донской.

3.Социально-экономическое развитие и формирование политических основ Российского государства при Иване III и Василии III.

4. Внутренняя и внешняя политика Ивана IV.

5. Культура Руси XIV – начала XVI вв.

Тема 6. Российское государство в XVII в.

1.Смутное время начала XVII в.

2.Развитие Российского государства при первых царях династии Романовых:

а) новые явления в социально-экономической жизни;

б) движение социального протеста;

в) государственно-общественное развитие;

г) реформы патриарха Никона и церковный раскол;

д) внешняя политика России в XVII в., присоединение новых территорий

Тема 7. Россия в XVIII в.

1. Реформы Петра I и начало российской модернизации

2. Внешняя политика Петра I. Рождение Российской империи.

3. «Эпоха дворцовых переворотов» (1725–1762 гг.).

4.Царствование Екатерины II:

а) социально-экономическое развитие России во 2-й половине XVIII в.;

б) «Просвещенный абсолютизм»: содержание, особенности, противоречия.

4.Российское государство в конце XVIII века. Павел I.

5.Внешняя политика России

6.Европеизация и секуляризация русской культуры: результаты и последствия.

Тема 8. Россия в XIX в.

1. Александр I и его преобразования. М.М. Сперанский.

2. Внешняя политика в первой четверти XIX в.

3. Внутренняя и внешняя политика императора Николая I.

4. Александр II. Отмена крепостного права и ее влияние на социально-экономическое развитие страны.

5.Либерально-буржуазные реформы 60–70-х гг. XIX в. и их последствия.

6. «Контрреформы» Александра III: корректировка реформаторского курса.

7.Общественно-политические движения (консервативный, либеральный, революционный лагерь).

8.Внешняя политика России во второй половине XIX в.

9. Культура и общественная жизнь России в XIX в.

Тема 11. Россия в XX в.

1.Проблемы российской модернизации на рубеже XIX –XX вв. Программа индустриализации С. Ю. Витте. Реформы П. А. Столыпина.

2.Революция 1905–1907 гг. в России. Становление многопартийности и парламентаризма в России.

3. Внешняя политика. Первая мировая война.

4.Февральская революция 1917 года. Октябрь 1917 года: приход к власти большевиков.

5.Гражданская война в России и первое десятилетие Советской власти

6. Новая экономическая политика: цели, направления, результаты.

7.Социально-экономические преобразования в СССР:

а) индустриализация страны: необходимость, источники, методы, итоги;

б) коллективизация сельского хозяйства;

в) формирование и упрочение административно-бюрократической системы.

8. Политическая система СССР в 1930-е годы. Завершение «культурной революции».

9. Образование СССР. Внешняя политика СССР в 1930-е гг.

10. СССР во Второй мировой войне

а) подготовка страны к войне, этапы войны;

б) крупнейшие сражения, партизанское движение, работа тыла;

в) СССР и союзники во Второй мировой войне;

г) итоги войны, цена Великой победы.

11. СССР в послевоенный период

12. Социально-экономическое и общественно-политическое развитие СССР в 1946–1953 гг.

13.Успехи и противоречия социально-экономического и внешне-политического развития страны под руководством Н. С. Хрущева

14. Советское общество в эпоху «застоя» в период руководства Л.И. Брежнева

15. СССР в середине 1980-1990 гг.

а) Экономические преобразования в стране. Политика «ускорения». «Перестройка» в СССР.

б) Концепция «Нового политического мышления» и ее претворение в жизнь.

в) Реформирование политической системы. Распад СССР.

Тема 17. Россия и мир в начале XXI в.

1. Геополитические последствия распада СССР. Провозглашение суверенитета Российской Федерации. 2.Формирование новой государственности. Конституция 1993 г.

3. Социально-экономические преобразования. Рыночная модернизация страны.

4. Внешнеполитическая деятельность в условиях новой геополитической ситуации. Россия и мир на рубеже XX– XXI.

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории

История
Исторический факт
Исторический источник
Интерпретация
Этнос
Менталитет
Государство
Цивилизация
Формация
Классы
Прогресс
Регресс
Общественно-экономическая формация
Геополитика

Тема 2. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян

Великое переселение народов
Этногенез
Военная демократия
Язычество
Полюдье
Повоз
Погосты и уроки
Феодализм
Варяги
Вервь
Вече
Племенной союз
Государство
Князь
Русь
Волхвы
Анты и венеды
Отроки
Смерды
Закупы
Рядовичи
Холопы

Тема 3. Киевская Русь

«Русская правда»
Вотчина
Боярская дума
Децентрализация
Уделы
Централизация
Поместье
Воевода
Ремесло
Феодализм
Феодальные отношения
Усложнение социальной структуры
Культура народная, культура религиозная
Фольклор
Храм
Икона фреска
Летописание
Эволюция государственности
Хазары, половцы, печенеги

Тема 4. Русь в эпоху феодальной раздробленности

Великий князь
Княжеский двор
Дружина
Междоусобные войны
Феодальная раздробленность
Феодальные центры
Боярская республика
Посадник
Тысяцкий
Сепаратизм
Последствия раздробленности
Держава Чингисхана
Золотая Орда
Монголо-татарское нашествие
Баскак
Выход
Подушная подать
Монголо-татарское иго
Ярлык
Проблема взаимовлияния
Вторжения с северо-запада
Ливонский орден
Рыцари

Тема 5. Складывание Московского государства в XIV - XVI вв. (XIV – начало XVI вв.)

Централизация
Приказы
Поместье
Дворяне
Местничество
Кормление
Крепостное право
Боярская дума
Натуральное хозяйство
Судебник
Государев дворец
Государева казна
Государственные символы
«Москва – третий Рим»
Сословно-представительная монархия
Земский собор
Митрополит
Крепостное право
Венчание на царство
Избранная рада
Реформа
Приказы
Стрелецкое войско
Стоглав
Опричнина
Губные избы
Династический кризис

Тема 6. Российское государство в XVII в.

Смутное время
Интервенция
Крестьянская война
Семибоярщина
Самозванство
Народное ополчение
Сословно-представительная монархия
Патриарх
«Бунташный век»
Тягло
Урочные и заповедные лета
Мануфактуры
Юридическое закрепощение крестьян
Личная зависимость

Внеэкономическая эксплуатация
Стрельцы
Казаки
Полки нового строя
Раскол в Русской православной церкви
Старообрядчество
Ярмарка
Абсолютная монархия

Тема 7. Россия в XVIII в.

Абсолютизм
Империя
Регулярная армия
Синод
Сенат
Министерства
Коллегии
«Великое посольство»
Подушная подать
Табель о рангах
Рекруты
Ассамблеи
Кунсткамера
Протекционизм
Меркантилизм
Государственная монополия
Дворцовые перевороты
Гвардия
Верховный Тайный совет
Кондиции
«Бироновщина»
Просвещенный абсолютизм
Уложенная комиссия
Жалованная грамота
Приписные крестьяне
Обер-прокурор
Господствующее сословие
Податные сословия
Крестьянская война

Тема 8. Россия в XIX в.

Либеральные реформы
Конституционализм
Негласный комитет
Государственный Совет

Отечественная война
Конституция
Монархия
Крестьянский вопрос
Либерализм
Аракчеевщина
Реакция
Консерватизм
Общественное движение
Декабристы
Западники
Славянофилы
Теория «официальной народности»
Восточный вопрос
Бюрократизация
Кодификация
Финансовая реформа Е.Ф. Канкрина
Буржуазия
Капитализм
Рабочий класс
Промышленный переворот
Крестьянская реформа
Выкупные платежи
Временно-обязанные крестьяне
Уставные грамоты
Крестьянская община
Народничество, радикализм
Рабочее движение
Марксизм
Социал-демократия
Контрреформы
Легитимность
Выкупная сделка
Мировой суд
Земство
Всесословная воинская повинность
Буржуазия, пролетариат
Индустриализация и модернизация
Союз трех императоров

Тема 9. Россия в XX веке.

Монополия
Промышленный подъем
Депрессия
Модернизация

Революция
Манифест
Конституционная монархия
Политическая партия
Государственная Дума
Прогрессивный блок
Революционные партии
Антанта
Тройственный союз
Аграрная реформа
Отруб, хутор
Советы
Большевики, меньшевики
Временное правительство
Республика
Двоевластие
Учредительное собрание
Первая Мировая война

Совет народных комиссаров
Красная Армия
Белое движение
Гражданская война
Сепаратный мирный договор
Иностранная интервенция
Мировая революция
Декреты
Военный коммунизм
Продразверстка
Авторитаризм
Тоталитаризм
Коминтерн
Новая экономическая политика
Продналог
Индустриализация
Коллективизация
Культурная революция
«Мюнхенский сговор»
Лига Наций
Коллективная безопасность
Вторая Мировая война
Пакт о ненападении
Государственный Комитет обороны, Ставка Верховного главнокомандования
Эвакуация

Антигитлеровская коалиция
Второй фронт
Коренной перелом
Партизанское движение, подпольное движение
Сопротивление
Фашизм, японский милитаризм
Ленд-лиз
Капитуляция
ООН
НАТО, ОВД
Репрессии
Либерализация политического режима
Десталинизация
Денежная реформа
Мировая социалистическая система
«Оттепель»
ГУЛАГ
Реабилитация
«Холодная война»
Совхоз
Целина
Мелиорация
Спутник
Освоение космоса
Паритет
Правозащитное движение
Диссиденты
Развитой социализм
Герантократия
Разрядка
«Теневая экономика»
Концепция развитого социализма
Разрядка международной напряженности
Стабильность кадров
Реформа хозяйственного механизма
Экстенсивный путь развития
Страны социалистической ориентации
Перестройка
Гласность
«Новое политическое мышление»
Плюрализм
СНГ
Приватизация
Прибыль и рентабельность
Госприемка

«Шоковая терапия»
Ваучер
Распад СССР
Многопартийность
Возрождение парламентаризма
Рыночная экономика
Борьба с экстремизмом и терроризмом
Дефолт
Стабилизация
Финансовый кризис
Содружество Независимых государств

Тема 17. Россия и мир в начале XXI в.

Правовое государство
Гражданское общество
Рыночная экономика
Дефолт
Вертикаль власти
Олигархи
Глобализация
Совет Федерация
Государственная Дума
Совет Европы
ВТО

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный,

кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель –

познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает досконального освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков,

вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА

Одной из форм текущего контроля является доклад, который представляет собой продукт самостоятельной работы студента.

Доклад - это публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

Как правило, в основу доклада ложится анализ литературы по проблеме. Он должен носить характер краткого, но в то же время глубоко аргументированного устного сообщения. В нем студент должен, по возможности, полно осветить различные точки зрения на проблему, выразить собственное мнение, сделать критический анализ теоретического и практического материала.

Подготовка доклада является обязательной для обучающихся, если доклад указан в перечне форм текущего контроля успеваемости в рабочей программе дисциплины.

Доклад должен быть рассчитан на 7-10 минут.

Обычно доклад сопровождается представлением презентации.

Презентация (от англ. «presentation» - представление) - это набор цветных слайдов на определенную тему, который хранится в файле специального формата с расширением PP.

Целью презентации - донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации, изложенной в докладе, в удобной форме.

Перечень примерных тем докладов с презентацией представлен в рабочей программе дисциплины, он выдается обучающимся заблаговременно вместе с методическими указаниями по подготовке. Темы могут распределяться студентами самостоятельно (по желанию), а также закрепляться преподавателем дисциплины.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления.

Для этого, остановитесь на теме, которая вызывает у Вас больший интерес; определите цель выступления; подумайте, достаточно ли вы знаете по выбранной теме или проблеме и сможете ли найти необходимый материал;

- осуществить сбор материала к выступлению.

Начинайте подготовку к докладу заранее; обращайтесь к справочникам, энциклопедиям, научной литературе по данной проблеме; записывайте необходимую информацию на отдельных листах или тетради;

- организовать работу с литературой.

При подборе литературы по интересующей теме определить конкретную цель поиска: что известно по данной теме? что хотелось бы узнать? для чего нужна эта информация? как ее можно использовать в практической работе?

- во время изучения литературы следует: записывать вопросы, которые возникают по мере ознакомления с источником, а также ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;

- обработать материал.

Учитывайте подготовку и интересы слушателей; излагайте правдивую информацию; все мысли должны быть взаимосвязаны между собой.

При подготовке доклада с презентацией особо необходимо обратить внимание на следующее:

- подготовка доклада начинается с изучения источников, рекомендованных к соответствующему разделу дисциплины, а также специальной литературы для докладчика, список которой можно получить у преподавателя;

- важно также ознакомиться с имеющимися по данной теме монографиями, учебными пособиями, научными информационными статьями, опубликованными в периодической печати.

Относительно небольшой объем текста доклада, лимит времени, отведенного для публичного выступления, обусловливает потребность в тщательном отборе материала, умелом выделении главных положений в содержании доклада, использовании наиболее доказательных фактов и убедительных примеров, исключении повторений и многословия.

Решить эти задачи помогает составление развернутого плана.

План доклада должен содержать следующие главные компоненты: краткое вступление, вопросы и их основные тезисы, заключение, список литературы.

После составления плана можно приступить к написанию текста. Во вступлении важно показать актуальность проблемы, ее практическую значимость. При изложении вопросов темы раскрываются ее основные положения. Материал содержания вопросов полезно располагать в таком порядке: тезис; доказательство тезиса; вывод и т. д.

Тезис - это главное основополагающее утверждение. Он обосновывается путем привлечения необходимых цитат, цифрового материала, ссылок на статьи. При изложении содержания вопросов особое внимание должно быть обращено на раскрытие причинно-следственных связей, логическую последовательность тезисов, а также на формулирование окончательных выводов. Выводы должны быть краткими, точными, достаточно аргументированными всем содержанием доклада.

В процессе подготовки доклада студент может получить консультацию у преподавателя, а в случае необходимости уточнить отдельные положения.

Выступление

При подготовке к докладу перед аудиторией необходимо выбрать способ выступления:

- устное изложение с опорой на конспект (опорой могут также служить заранее подготовленные слайды);
- чтение подготовленного текста.

Чтение заранее написанного текста значительно уменьшает влияние выступления на аудиторию. Запоминание написанного текста заметно сковывает выступающего и привязывает к заранее составленному плану, не давая возможности откликаться на реакцию аудитории.

Короткие фразы легче воспринимаются на слух, чем длинные.

Необходимо избегать сложных предложений, причастных и деепричастных оборотов. Излагая сложный вопрос, нужно постараться передать информацию по частям.

Слова в речи надо произносить четко и понятно, не надо говорить слишком быстро или, наоборот, растягивать слова. Надо произнести четко особенно ударную гласную, что оказывает наибольшее влияние на разборчивость речи.

Пауза в устной речи выполняет ту же роль, что знаки препинания в письменной. После сложных выводов или длинных предложений необходимо сделать паузу, чтобы слушатели могли вдуматься в сказанное или правильно понять сделанные выводы. Если выступающий хочет, чтобы его понимали, то не следует говорить без паузы дольше, чем пять с половиной секунд.

Особое место в выступлении занимает обращение к аудитории. Известно, что обращение к собеседнику по имени создает более доверительный контекст деловой беседы. При публичном выступлении также можно использовать подобные приемы. Так, косвенными обращениями могут служить такие выражения, как «Как Вам известно», «Уверен, что Вас это не оставит равнодушными». Выступающий показывает, что слушатели интересны ему, а это самый простой путь достижения взаимопонимания.

Во время выступления важно постоянно контролировать реакцию слушателей. Внимательность и наблюдательность в сочетании с опытом позволяют оратору уловить настроение публики. Возможно, рассмотрение некоторых вопросов придется сократить или вовсе отказаться от них.

После выступления нужно быть готовым к ответам на возникшие у аудитории вопросы.

Стоит обратить внимание на вербальные и невербальные составляющие общения. Небрежность в жестах недопустима. Жесты могут быть приглашающими, отрицающими, вопросительными, они могут подчеркнуть нюансы выступления.

Презентация

Презентация наглядно сопровождает выступление.

Этапы работы над презентацией могут быть следующими:

- осмыслите тему, выделите вопросы, которые должны быть освещены в рамках данной темы;
- составьте тезисы собранного материала. Подумайте, какая часть информации может быть подкреплена или полностью заменена изображениями, какую информацию можно представить в виде схем;
- подберите иллюстративный материал к презентации: фотографии, рисунки, фрагменты художественных и документальных фильмов, материалы кинохроники, разработайте необходимые схемы;
- подготовленный материал систематизируйте и «упакуйте» в отдельные блоки, которые будут состоять из собственно текста (небольшого по объему), схем, графиков, таблиц и т.д.;
- создайте слайды презентации в соответствии с необходимыми требованиями;
- просмотрите презентацию, оцените ее наглядность, доступность, соответствие языковым нормам.

Требования к оформлению презентации

Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS Power Point.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Чаще всего демонстрация презентации проецируется на большом экране, реже – раздается собравшимся как печатный материал.

Количество слайдов должно быть пропорционально содержанию и продолжительности выступления (например, для 5-минутного выступления рекомендуется использовать не более 10 слайдов).

На первом слайде обязательно представляется тема выступления и сведения об авторах.

Следующие слайды можно подготовить, используя две различные стратегии их подготовки:

1-я стратегия: на слайды выносится опорный конспект выступления и ключевые слова с тем, чтобы пользоваться ими как планом для выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- объем текста на слайде – не больше 7 строк;
- маркированный/нумерованный список содержит не более 7 элементов;
- отсутствуют знаки пунктуации в конце строк в маркированных и нумерованных списках;
- значимая информация выделяется с помощью цвета, кегля, эффектов анимации.

Особо внимательно необходимо проверить текст на отсутствие ошибок и опечаток. Основная ошибка при выборе данной стратегии состоит в том, что выступающие заменяют свою речь чтением текста со слайдов.

2-я стратегия: на слайды помещается фактический материал (таблицы, графики, фотографии и пр.), который является уместным и достаточным средством наглядности, помогает в раскрытии стержневой идеи выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- выбранные средства визуализации информации (таблицы, схемы, графики и т. д.) соответствуют содержанию;
- использованы иллюстрации хорошего качества (высокого разрешения), с четким изображением (как правило, никто из присутствующих не заинтересован вчитываться в текст на ваших слайдах и всматриваться в мелкие иллюстрации).

Максимальное количество графической информации на одном слайде – 2 рисунка (фотографии, схемы и т.д.) с текстовыми комментариями (не более 2 строк к каждому). Наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана.

Обычный слайд, без эффектов анимации, должен демонстрироваться на экране не менее 10 - 15 секунд. За меньшее время аудитория не успеет осознать содержание слайда.

Слайд с анимацией в среднем должен находиться на экране не меньше 40 – 60 секунд (без учета времени на случайно возникшее обсуждение). В связи с этим лучше настроить презентацию не на автоматический показ, а на смену слайдов самим докладчиком.

Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24 пунктов, для информации - не менее 18.

В презентациях не принято ставить переносы в словах.

Наилучшей цветовой гаммой для презентации являются контрастные цвета фона и текста (белый фон – черный текст; темно-синий фон – светло-желтый текст и т. д.).

Лучше не смешивать разные типы шрифтов в одной презентации.

Рекомендуется не злоупотреблять прописными буквами (они читаются хуже).

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков,

необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными задания понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;
- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;

2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;

3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

Примером практико-ориентированного задания по дисциплине «*История России*» выступает **анализ исторического документа.**

Алгоритм анализа исторического документа:

1. Происхождение текста.

1.1. Кто написал этот текст?

1.2. Когда он был написан?

1.3. К какому виду источников он относится: письмо, дневник, официальный документ и т.п.?

2. Содержание текста.

Каково содержание текста? Сделайте обзор его структуры. Подчеркните наиболее важные слова, персоналии, события. Если вам не известны какие-то слова, поработайте со словарем.

3. Достоверна ли информация в тексте?

3.1. Свидетелем первой или второй очереди является автор текста? (Если автор присутствовал во время события, им описываемого, то он является первоочередным свидетелем).

3.2. Текст первичен или вторичен? (Первичный текст современен событию, вторичный текст берет информацию из различных первичных источников. Первичный текст может быть написан автором второй очереди, то есть созданным много позже самого события).
4. Раскройте значение источника и содержащейся в ней информации.
5. Дайте обобщающую оценку данному источнику.
- Когда, где и почему появился закон (сборник законов)?
- Кто автор законов?
- Чьи интересы защищает закон?
- Охарактеризуйте основные положения закона (ссылки на текст, цитирование).
- Сравните с предыдущими законами.
- Что изменилось после введения закона?
- Ваше отношение к этому законодательному акту (справедливость, необходимость и т.д.).

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответна имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

1. готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

2. четко выяснить все условия тестирования заранее. Студент должен знать, сколько тестов ему будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т. д.;

3. приступая к работе с тестами, внимательно и до конца нужно прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов; выбрать правильные (их может быть несколько); на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

- в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант;

- не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, нужно переходить к другим тестовым заданиям; к трудному вопросу можно обратиться в конце;

- обязательно необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

ПОДГОТОВКА ЭССЕ

Эссе - прозаическое сочинение небольшого объема и свободной композиции на частную тему, трактуемую субъективно и обычно неполно. (Словарь Ожегова)

Жанр эссе предполагает свободу творчества: позволяет автору в свободной форме излагать мысли, выражать свою точку зрения, субъективно оценивать, оригинально освещать материал; это размышление по поводу

когда-то нами услышанного, прочитанного или пережитого, часто это разговор вслух, выражение эмоций и образность.

Уникальность этого жанра в том, что оно может быть написано на любую тему и в любом стиле. На первом плане эссе − личность автора, его мысли, чувства, отношение к миру. Однако необходимо найти оригинальную идею (даже на традиционном материале), нестандартный взгляд на какую-либо проблему. Для грамотного, интересного эссе необходимо соблюдение некоторых правил и рекомендаций.

Особенности эссе:

- - наличие конкретной темы или вопроса;
- - личностный характер восприятия проблемы и её осмысления;
- - небольшой объём;
- - свободная композиция;
- - непринуждённость повествования;
- - внутреннее смысловое единство;
- - афористичность, эмоциональность речи.

Эссе должно иметь следующую структуру:

1. Вступление (введение) определяет тему эссе и содержит определения основных встречающихся понятий.

2. Содержание (основная часть) - аргументированное изложение основных тезисов. Основная часть строится на основе аналитической работы, в том числе - на основе анализа фактов. Наиболее важные обществоведческие понятия, входящие в эссе, систематизируются, иллюстрируются примерами. Суждения, приведенные в эссе, должны быть доказательны.

3. Заключение - это окончательные выводы по теме, то, к чему пришел автор в результате рассуждений. Заключение суммирует основные идеи. Заключение может быть представлено в виде суммы суждений, которые оставляют поле для дальнейшей дискуссии.

Требования, предъявляемые к эссе:

1. Объем эссе не должен превышать 1–2 страниц.

2. Эссе должно восприниматься как единое целое, идея должна быть ясной и понятной.

3. Необходимо писать коротко и ясно. Эссе не должно содержать ничего лишнего, должно включать только ту информацию, которая необходима для раскрытия вашей позиции, идеи.

4. Эссе должно иметь грамотное композиционное построение, быть логичным, четким по структуре.

5. Эссе должно показывать, что его автор знает и осмысленно использует теоретические понятия, термины, обобщения, мировоззренческие идеи.

6. Эссе должно содержать убедительную аргументацию для доказательства заявленной по проблеме позиции. Структура любого

доказательства включает по меньшей мере три составляющие: тезис, аргументы, вывод или оценочные суждения.

- Тезис — это сужение, которое надо доказать.
- Аргументы — это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса.
- Вывод — это мнение, основанное на анализе фактов.
- Оценочные суждения — это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах.

Приветствуется использование:

- Эпиграфа, который должен согласовываться с темой эссе (проблемой, заключенной в афоризме); дополнять, углублять лейтмотив (основную мысль), логику рассуждения вашего эссе. Пословиц, поговорок, афоризмов других авторов, также подкрепляющих вашу точку¬ зрения, мнение, логику рассуждения.
- Мнений других мыслителей, ученых, общественных и политических деятелей.
- Риторические вопросы.
- Непринужденность изложения.

Подготовка и работа над написанием эссе:

- изучите теоретический материал;
- уясните особенности заявленной темы эссе;
- продумайте, в чем может заключаться актуальность заявленной темы;
- выделите ключевой тезис и определите свою позицию по отношению к нему;
- определите, какие теоретические понятия, научные теории, термины помогут вам раскрыть суть тезиса и собственной позиции;
- составьте тезисный план, сформулируйте возникшие у вас мысли и идеи;
- для каждого аргумента подберите примеры, факты, ситуации из жизни, личного опыта, литературных произведений;
- распределите подобранные аргументы в последовательности;
- придумайте вступление к рассуждению;
- изложите свою точку зрения в той последовательности, которую вы наметили.
- сформулируйте общий вывод работы.

При написании эссе:

- напишите эссе в черновом варианте, придерживаясь оптимальной структуры;
- проанализируйте содержание написанного;
- проверьте стиль и грамотность, композиционное построение эссе, логичность и последовательность изложенного;

- внесите необходимые изменения и напишите окончательный вариант.

Требования к оформлению:

- Титульный лист.
- Текст эссе.
- Формат листов-А4. Шрифт- Times New Roman, размер-14,расстояние между строк- интерлиньяж полуторный, абзацный отступ-1,25см., поля-30мм(слева), 20мм (снизу),20мм (сверху), 20мм (справа). Страницы нумеруются снизу по центру. Титульный лист считается, но не нумеруется.

Критерии оценивания эссе:

1. Самостоятельное проведение анализа проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария
2. Четкость и лаконичность изложения сути проблемы
3. Материал излагается логически последовательно
4. Аргументированность собственной позиции
5. Наличие выводов
6. Владение навыками письменной речи

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

- ***Письменный опрос***

Письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном

контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе.

- ***Устный опрос***

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии.

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала.
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание.

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу. Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*История России*» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «*История России*».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как

подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой, к.п.н., доцент

_____ Л.Г. Юсупова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

по дисциплине

Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрен на заседании кафедры
Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)
Протокол № 1 от 19.09.2023 г.
(Дата)

Екатеринбург

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….…….....3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..4
Содержание контрольной работы…….....4
Выполнение работы над ошибками……...…8
Критерии оценивания контрольной работы ……8
Образец титульного листа ……..…10

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: повышение исходного уровня владения иностранным языком, достигнутого на предыдущей ступени образования, и достижение уровня иноязычной коммуникативной компетенции достаточного для общения в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах, а также для дальнейшего самообразования.

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

универсальные:

- способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия (УК-4).

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- владение иностранным языком как средством коммуникации в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах;
- развитие когнитивных и исследовательских умений с использованием ресурсов на иностранном языке;
- развитие информационной культуры;
- расширение кругозора и повышение общей гуманитарной культуры студентов;
- воспитание толерантности и уважения к духовным ценностям разных стран и народов.

Методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности.

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации.* Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.О.03 Иностранный язык. А именно, в результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- особенности фонетического строя иностранного языка;
- лексические единицы социально-бытовой и академической тематики, основы терминосистемы соответствующего направления подготовки;
- основные правила грамматической системы иностранного языка;
- особенности построения устных высказываний и письменных текстов разных стилей речи;
- правила речевого этикета в соответствии с ситуациями межличностного и межкультурного общения в социально-бытовой, академической и деловой сферах;
- основную страноведческую информацию о странах изучаемого языка;
- лексико-грамматические явления иностранного языка профессиональной сферы для решения задач профессиональной деятельности;

Уметь:

- вести диалог/полилог и строить монологическое высказывание в пределах изученных тем;
- понимать на слух иноязычные тексты монологического и диалогического характера с различной степенью понимания в зависимости от коммуникативной задачи;
- читать аутентичные тексты прагматического, публицистического, художественного и научного характера с целью получения значимой информации;
- передавать основное содержание прослушанного/прочитанного текста;
- записывать тезисы устного сообщения, писать эссе по изученной тематике, составлять аннотации текстов, вести личную и деловую переписку;
- использовать компенсаторные умения в процессе общения на иностранном языке;
- пользоваться иностранным языком в устной и письменной формах, как средством профессионального общения;

Владеть:

- основными приёмами организации самостоятельной работы с языковым материалом с использованием учебной и справочной литературы, электронных ресурсов;

- навыками выполнения проектных заданий на иностранном языке в соответствии с уровнем языковой подготовки;

- умением применять полученные знания иностранного языка в своей будущей профессиональной деятельности.

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «Иностранный язык (английский)» представлено три варианта контрольной работы.

Номер варианта контрольной работы определяется для студентов в соответствии с начальными буквами их фамилий в алфавитном порядке. Например, студенты, у которых фамилии начинаются с букв А, выполняют контрольную работу № 1 и т.д. (см. таблицу №1).

Таблица №1

начальная буква фамилии студента	***№ варианта контрольной работы***
А, Г, Ж, К, Н, Р, У, Ц, Щ	№1
Б, Д, З, Л, О, С, Ф, Ч, Э, Я	№2
В, Е, И, М, П, Т, Х, Ш, Ю	№3

Содержание контрольной работы №1

Контрольная работа проводится по теме *1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)* и *теме 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)* и направлена на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Контрольная работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. -

(Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №2:

Таблица №2

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435
Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК

Вариант №1

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Michael _____ everyone he meets because he is very sociable and easygoing. He has five brothers and two sisters, so that probably helped him learn how to deal with people.

A. gets divorced; **B. gets along well with;** C. gets married;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Заполните пропуски местоимениями some, any, no или их производными.

Пример: A: Is ***anything*** the matter with Dawn? She looks upset.

B: She had an argument with her friend today.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «неопределённые местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски личными местоимениями (I, we, you, he, she, it, they, me, us, him, her, them).

Пример: My teacher is very nice. I like … . – I like **him**.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «личные и притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках, обращая при этом внимание на использованные в предложениях маркеры.

Пример: Every morning George **eats** (to eat) cereals, and his wife only **drinks** (to drink) a cup of coffee.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Paul was tired when he got home. – ***Was Paul tired when he got home? Yes, he was.***

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант №2

Задание 1. Заполните пропуск, выбрав один вариант ответа.

Пример: A British university year is divided into three _____.

1) conferences; 2) sessions; **3) terms**; 4) periods;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Выберите правильную форму глагола.

Пример: A: I have a Physics exam tomorrow.

B: Oh dear. Physics **is/**are a very difficult subject.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя существительное, функции и спряжение глаголов to be и to have».

Задание 3. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Continuous, Past Continuous или Future Continuous.

Пример: I **shall be studying** (study) Japanese online from 5 till 6 tomorrow evening.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 4. Составьте вопросы к словам, выделенным жирным шрифтом.

Пример: **The Petersons** have bought a dog. – *Who has bought a dog?*

The Petersons have bought **a dog. –** *What have the Petersons bought?*

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Задание 5. Подчеркните правильный вариант ответа.

Пример: A: You haven't seen my bag anywhere, haven't you**/<u>have you</u>**?

B: No. You didn't leave it in the car, **<u>did you</u>/**didn't you?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант № 3

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: The University accepts around 2000 new ____ every year.

1) students; 2) teachers; 3) pupils; 4) groups;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Поставьте в предложения подходящие по смыслу фразы:

as red as a beet (свекла), as slow as a turtle, as sweet as honey, as busy as a bee, as clumsy as a bear (неуклюжий), as black as coal, as cold as ice, as slippery as an eel (изворотливый как угорь), as free as a bird, as smooth as silk (гладкий)

Пример: Your friend is so unemotional, he is **as cold as ice**.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя прилагательное и наречие».

Задание 3. Переведите следующие предложения на английский язык.

Пример: Это самая ценная картина в Русском музее. **This is the most valuable picture in Russian Museum.**

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «степени сравнения имени прилагательного и наречий».

Задание 4. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Perfect, Past Perfect или Future Perfect.

Пример: Sam **has lost** (lose) his keys. So he can't open the door.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Задайте вопросы к предложениям.

Пример: There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which *book is Sue's*?' 'The one on the table.'

b) 'Whose *book is on the table*?' 'Sue's.'

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Mein Bruder ... Arzt geworden

A. hat; **B. ist**; C. wird;

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Пассивный залог».

Задание 2. Вставьте подходящее вопросительное слово.

Пример: **Was** machen Sie am Wochenende?

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски возвратными местоимениями в нужной форме.

Пример: Wo wohnen d**eine** Eltern?

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках.

Пример: **Kannst** du mir bitte die Marmelade geben? (können)

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Модальные глаголы».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Sie wohnen in Berlin.

Ответ: Wo wohnen Sie? Wer wohnt in Berlin?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные предложения».

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Работа с оценкой «неудовлетворительно» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 1 балл. Максимум 44 балла.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

35-44 балла (80-100%) - оценка «отлично»;

29-34 балла (65-79%) - оценка «хорошо»;

22-28 баллов (50-64%) - оценка «удовлетворительно»;

0-21 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно».

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра иностранных языков и деловой коммуникации

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

по дисциплине
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа МР-22

Преподаватель: Петров Петр Петрович,
к.т.н, доцент

Екатеринбург
2022

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров
13.10.2021 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры
Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 19.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией
горно-механического факультета
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)……..... 3
1.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 3
1.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 5
1.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 6

ТЕМА 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование) ……..... 35
2.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 35
2.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 36
2.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 38

ТЕМА 3. Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир) ……..... 53
3.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 53
3.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 54
3.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 58

ТЕМА 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность) ……..... 74
4.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 74
4.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 82
4.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 82

ТЕМА 1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)

Тематика общения:

1. Я и моя семья.
2. Дом, жилищные условия.
3. Мой рабочий день.
4. Досуг и развлечения.

Проблематика общения:

1. Взаимоотношения в семье, семейные традиции.
2. Устройство квартиры/загородного дома.
3. Рабочий день студента.
4. Досуг в будние и выходные дни, активный и пассивный отдых.

1.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister

приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents
приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

1.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV

programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

My flat

I live in Ekaterinburg in a sixteen-storied dwelling house in the center of the city.
Five years ago our old wooden house was pulled down & we moved here into three-room flat with all modern conveniences.

Now we have running water, gas, electricity, central heating & a refuse chute. We live on the top floor & from the balcony we have a good view of the park. Besides we needn't mount the staircase because there is a lift to take us up.

The entrance hall is rather small. There is a hallstand & a mirror-stand there.

The sitting-room is a spacious simply furnished room. The floor spacious is about 15 square meters. It is not overcrowded with furniture. Everything fits in well. Nothing is out of place here. Next to the window there is a sofa with a stand – lamp. The bookcase in the corner of the room is full of books. On the left there are two comfortable arm-chairs opposite the TV-set & leaf – table.

In the bedroom we have dark brown suite of furniture of the latest model & thick carpet. Near the wall there is a divan-bed. In the built-in-wardrobe we keep our clothes & bed linen.
The adjoining room is the children's room. The bright pattern of the curtains & of wall paper makes the room look gay. There is a writing desk with a desk lamp, a small sofa & a lot of toys there.

In the kitchen there is a fridge, a cupboard, a kitchen table & a gas-stove. Over the sink there is a plate-rack. All kitchen utensils are close at hand.

In the corridor there is a built-in-closet, where we keep our vacuum-cleaner, electric iron & other household objects.

In the bathroom there is a bath-tub & a shower, a towel-rack & a wash-basin with a shelf above it. There tooth-brushes, a cake of soap & some shaving articles on it. Near the bath-room there is a lavatory.

There is nothing special about our flat, no rich decorations but we are accustomed to it & cannot compare it to the old one.

1.3 Систематизация грамматического материала:

1. Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях. Порядок слов в вопросительном предложении. Безличные предложения.
2. Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные).
3. Имя существительное. Артикли (определенный, неопределенный, нулевой).
4. Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have.* Оборот *there+be*.
5. Имя прилагательное и наречие. Степени сравнения. Сравнительные конструкции.
6. Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат).

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	II	III Дополнение	IV

					Обстоятельство
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.

Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?

Примеры с модальными глаголами:

She can drive a car. – Она умеет водить машину.

Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.

Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?

Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not

Например: Are you a student? - Ты студент?

Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.

Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.

Специальные вопросы могут начинаться словами:

who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?

when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?

how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?

how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:

What are you reading? Что ты читаешь?
What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.
When will he come back? – Когда он вернется?
What did he do it for? Зачем он это сделал?
Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?
Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: "Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?", например:

What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)
what - что (для неодушевленных существительных)

The teacher read an interesting story to the students yesterday.
Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:
You speak French, don’t you? You are looking for something, aren’t you? Pete works at a plant, doesn’t he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:
It is not very warm today, is it? John doesn’t live in London, does he?

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Write questions and answers for the following statements, as in the example.

1 Paul was tired when he got home.
…Was Paul tired when he got home? Yes, he was…
2 They live in London.
3 She can't play the piano.
4 The film starts at nine o'clock.
5 You had an English lesson last night.
6 She has got blue eyes.
7 We didn't want to go to the beach.
8 He should follow the doctor's advice.

2. Write the short form of the following negative questions

1 Can they not decide where to go on holiday?

...Can't they decide where to go on holiday?...

2 Did Claire not invite you to her party?

3 Do you not enjoy watching horror films?

4 Have you not finished your homework yet?

5 Can she not go to town on her own?

6 Does he not know where we live?

7 Has Sue not done the shopping for you?

8 Did he not give you any details?

3. Fill in the gaps with the correct question word(s).

A: Now for the general knowledge part of the quiz.

1) ...*What*... is the capital of Egypt?

B: Cairo.

A: That's correct. 2) … can you see the Mona Lisa?

B: In the Louvre, in Paris.

A: Well done, that's right. 3) … wrote 'Romeo and Juliet'?

B: Charles Dickens.

A: No, that's incorrect. It was Shakespeare. 4) … are the Olympic Games held?

B: Every four years.

A: Correct. 5) … did the Second World War begin?

B: I think it was in 1939.

A: Yes, you're right. And the final question in this round is: 6) … players are there in a hockey team?

B: Eleven.

A: Correct. Well, at the end of that round, Contestant 2 has the most points, so he goes through to the final round to play for our star prize.

4. Fill in who, whose, what, which, where, when, how long, how often, what time, why, how much or how many.

is your jacket?' 'It's the red one.'

1. '...*Which*... is your jacket?' 'It's the red one.'
2. '…is your birthday?' 'It's next week.'
3. '… is Mary?' 'She's in her bedroom.'
4. '… have you been waiting?' Only five minutes.'
5. '… do you go shopping?' Once a week.'
6. '… are you doing at the moment?' I'm watching TV.'
7. ' … are you writing to?' 'Uncle Tom.'
8. '…do you start work?' At nine o'clock in the morning.'
9. '… pieces of toast do you want?' Two, please.'
10. '… isn't she at work today?' Because she's ill.'
11. '… did you spend last month?' About £500.'
12. ' … party are you going tonight?' 'Alison's'

5. Fill in the gaps with what, which or how.

1 A: ...*What*... do you want to do when you leave school?
B: I'm not really sure. I'd like to be a vet.

2 A: … bag do you prefer - the black one or the brown one?
B: I like the black one best.

3 A: … old are you?
B: It was my birthday last week. Now I'm fifteen.

4 A: … did you get my telephone number?
B: I looked in the staff address book.

5 A: … shall we do on Saturday?
B: Let's just stay at home and watch a video.

6 A: … house did you prefer — the one we saw first or second?
B: I didn't like either. We'll have to keep looking.
7 A: … many pairs of shoes did you buy last year?
B: Only two. One in the summer and one in the winter.
8 A: … is your favourite food?
B: Roast chicken.

6. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 **The tiger** is the largest member of the cat family.
…Which is the largest member of the cat family?...
2 A mature male tiger weighs **between 160 and 230 kg**.
3 Tigers are usually **orange with black stripes**.
4 Tigers live **in Russia, China, India and South-East Asia.**
5 **The Javan tiger, the Bali tiger and the Caspian tiger** are extinct.
6 Tigers eat **a variety of smaller animals, including deer.**
7 Tigers can produce young **at any time of year.**
8 Tigers usually have **two or three** cubs at a time.
9 Tigers live **for an average of eleven years.**
10 Tigers are hunted **for sport or for their fur**.

7. Write questions to which the words in bold are the answers.

Claudette is **32 years old**. She lives **in Paris, France**, and has lived there **since she was 5 years old.** Claudette works as **a lawyer** for a successful law firm, and she travels to work **by car** every day. Claudette is married. Her husband's name is **Jean**. They have **two** dogs. She loves **to take the dogs for long walks** every evening **after work.** Claudette has several hobbies, such as **reading and playing the piano**, but her **favourite hobby is cooking**. Jean thinks this is good, too, **because he gets to eat the wonderful meals she makes.**

8. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 **The Petersons** have bought a dog.
…Who has bought a dog?...
2 The Petersons have bought **a dog.**
…What have the Petersons bought?...
3 Rachel is writing **a letter**.
4 **Rachel** is writing a letter.
5 **Brian** likes this car.
6 Brian likes **this car**.
7 Dad broke **the window**.
8 **Dad** broke the window.
9 **Mother** will make a birthday cake.
10 Mother will make **a birthday cake**.
11 **Robin** is going to bake some biscuits.
12 Robin is going to bake **some biscuits**.

9. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 Wendy doesn't agree with **her friend's decision**.
…What doesn't Wendy agree with?...
2 James is listening to **some old records**.
3 Sharon is waiting for **the bus**.
4 The boys were talking about **football**.
5 She has got a letter from **her pen-friend**.
6 Martin is thinking about **his holiday**.
7 This jacket belongs to **Stacey.**
8 Pauline was married to **Nigel.**

10. Complete the questions.

1 There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which …*book is Sue's*...?' 'The one on the table.'
b) 'Whose …*book is on the table*…?' 'Sue's.'
2 Steven wrote four letters.
a) 'Who … ?' 'Steven.'
b) 'How many … ?' 'Four.'
3 Teresa is going to wash the car.
a) 'Who … ?' Teresa.'
b) 'What … ?' 'The car.'
4 Kate visited John in hospital yesterday.
a) 'Who … ?' 'Kate.'
b) 'Who … ?' 'John.'
5 David has taken Frank's new CD.
a) 'Whose …?' 'Frank's.'
b) 'Who …?' 'David.'
6 Alice is going to the cinema tonight.
a) 'Who …?' 'Alice.'
b) 'Where …?'The cinema.'

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему

she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас
they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother –** брат **father –** отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы** - **основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some **something –** *что-то, что-нибудь*

any	**anything -** *что-то, что-нибудь*
thing	
no	**nothing -** *ничего, ничто*
every	**everything -** *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone –** *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone -** *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one -** *никого, никто*
every	**everybody /everyone –** *все, каждый*
Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*	

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere -** *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere -** *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.	
many girls - *много девочек* **many boys -** *много мальчиков* **many books -** *много книжек*	**much snow -** *много снега* **much money -** *много денег* **much time -** *много времени*
How many? } **сколько?**	**How many girls? -** *Сколько девочек?*
How much? } **сколько?**	**How much sugar? -** *Сколько сахара?*
How much? } **сколько?**	**How much sugar? -** *Сколько сахара?*
a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, и с неисчисляемыми существительными a lot без (of) используется и без существительного.	girls – много девочек **a lot of** sugar - много сахара
Сравните: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.* He writes **a lot.** *Он много пишет.*	
В утвердительных предложениях используйте **a lot of.** В отрицательных и в вопросительных **many/much,** **Сравните:** (+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*. (-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?* Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":** Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.	

Few, little, a few, a little

С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало), а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг **few girls -** мало девочек **few boys -** мало мальчиков	**little time -** мало времени **little money -** мало денег **little snow -** мало снега
little } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** } **немного (т.е. пока хватает)**

few	a few

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	Возвратное местоимение	Пример	Перевод
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	Примеры	Перевод
определяет неисчисляемые существительные	He spent **all his** time fishing on the lake**.**	Он провел все свое время, ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I've got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You've got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч.

			(Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)
the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

Выполните упражнения на закрепление материала:

. Fill in the gaps with the correct subject or object pronoun.

1 A: Do your brothers play football?
B: Yes, ...*they*... play … all the time … think …'s a brilliant game.
2 A: Does Susan eat chocolate?
B: Yes … eats … all the time … says …'s her favourite food.
3 A: Do your parents know Mr. Jones?
B: Yes, … know … very well … lives next door to … .
4 A: Does Claire like David?
B: No, … doesn't like … very much. … says …'s too noisy.
5 A: Do you listen to rock music?
B: Yes, … listen to … all the time. … think …'s fantastic.
6 A: Does Tony enjoy fishing?
B: Oh, yes … enjoys … very much. .... says … relaxes him.

2. Fill in the gaps with there or it.

1 By the time I got home, ...*it*… was nearly ten o'clock.
2 'Is … your birthday today?" No, … was last week.'
3 Come here, Simon … is someone here to see you. I think … is your friend, Rod.
4 … wasn't warm enough to go to the beach, so we went to the cinema.
5 … wasn't very much money left after I had paid for the shopping.

3. Fill in the gaps with one or it.

1 A: I need a loaf of bread.
B: I'll buy ...*one*... this afternoon.
2 A: Is the phone ringing?
B: I can't hear … .
3 A: 'Titanic' is an amazing film.
B: I know. I've seen … twice.
4 A: When was the last time you read a book?
B: I haven't read … for months.

5 A: Have you got a car?
B: No. I can't afford … .
6 A: Do you like the new Rolling Stones CD?
B: I haven't heard … yet.
7 A: I need a dress for the party.
B: I'll lend you … .

4. Fill in the correct possessive adjective or pronoun.

1 A: Have you met ...*your*... new neighbours yet?
B: No. I've seen … children in the garden, though.
2 A: You took … coat home last night.
B: I know, I'm sorry. I thought it was … because they're both black.
3 A: What's wrong with Rosie?
B: Oh, she's been having problems with … back recently.
4 A: James is doing well at school.
B: I know … teacher says he's very advanced for his age.
5 A: Is this bag … ?
B: Oh, yes, thank you. I nearly forgot it.
6 A: Julie and Frank are so lucky … house is beautiful.
B: Yes, and it's so much bigger than … I envy them.
7 A: I like … shirt. It's like Sandra's.
B: Actually, it is … I borrowed it from her yesterday.
8 A: Why did you lend Tom … car?
B: Because … is being repaired at the moment.

5. Fill in its or it's.

1 The car is nice to drive, but I don't like ...its... colour.
2 This town is wonderful … got lots of shops!
3 I'm staying at home today because … cold outside.
4 Let's go in here … my favourite restaurant.
5 A bird has built … nest in our garden.
6 The company I work for has changed … name.

6. Fill in a possessive adjective or the.

1 A dog bit him on ...*the*... leg.
2 I banged … head on the cupboard door.
3 Karen put … arm around Jane's shoulder.
4 Don't put … feet on the tablel
5 You shouldn't have punched Tom in … stomach.
6 Paul patted Lisa on … shoulder.

7. Fill in the gaps with of where necessary, and my, your, etc. own.

1 John doesn't live with his parents any more. He's got a flat ...*of his own*...
2 She doesn't travel by bus any more because she's got … car.
3 I don't need to borrow your umbrella. I've got one … .
4 Haven't you got … pen? You're always borrowing mine.
5 My job includes doing research in … time.
6 Sam is tired of using his friend's computer, so he is going to buy one… .
7 The couple moved into … house after they got married.
8 Don't let the dog sleep on your bed. It's got a bed … .

8. Connect the nouns using -'s, -' or ...of…

1 car/Helen ...*Helen's car*…
2 the manager/the restaurant
3 shoes/women
4 the results/the test
5 bicycles/my daughters

6 secretary/the assistant manager
7 the corner/the room
8 house/their parents
9 the back/the classroom
10 shoes/William
11 walk/an hour
12 partner/Jim
13 Rome/the streets
14 UN/headquarters

9. Rewrite the sentences using the correct possessive form.

1 Nobody went to **the meeting last week**.

...Nobody went to last week's meeting....

2 The **drive** to the airport takes **two hours**.
3 They will get their exam results **six weeks from now**.
4 I look after **James - Karen — children**.
5 I received the letter in **the post - yesterday**.
6 It's autumn. **The tree - the leaves** are falling off.
7 Graham never listens to **his doctor - the advice.**
8 Are you going to **Jane - Paula - the party**?
9 He has never done a hard **day of work** in his life.
10 At the moment I'm staying with **a friend - my**.
11 I think I'll order **the special of today**.
12 The man knocked on **the house - the door**.
13 The ticket inspector looked at **the people – the tickets.**
14 **Mrs Jones - Miss Smith - cars** are being serviced.
15 **The sales target this month** is two million pounds.

10. Fill in the gaps with the correct reflexive pronoun.

1 The girl has hurt … *herself...* .
2 He put the fire out by …
3 She is looking at … in the mirror.
4 They are serving …
5 He cooked the food by …
6 They bought this house for …
7 They are enjoying …
8 He introduced …

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики

2) согласная **+** y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):
This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It’s a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**’s**	**bird’s house** **child’s ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**’s**	**children’s bail** **women’s rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**’**	**girls’ toy** **birds’ house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother’s book - мамина книга,

this girl’s bail - мячик девочки,

the bird’s house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Fill in the gaps with an appropriate noun + of to indicate quantity.

1 a ... carton/glass/jug of ... orange juice
2 a … cheese
3 a … bread
4 a … coffee
5 a … water
6 a … wine
7 a … chocolate
8 a … crisps
9 a … honey
10 a … meat
11 a … spaghetti
12 a … flour

2. Fill the gaps with a, an, or some where necessary.

1 a) We had ...some... delicious food last night,
b) We had ...a... delicious meal last night.
2 a) There is … beautiful furniture in that shop,
b) There is … beautiful table in that shop.
3 a) I'm thirsty. I need … drink.
b) I'm thirsty. I need … water.
4 a) She's just bought … expensive clothes.
b) She's just bought … expensive dress.
5 a) They booked … room in advance.
b) They booked … accommodation in advance
6 a) The band played … lovely song.
b) The band played … lovely music.
7 a) We had … heatwave last week.
b) We had … hot weather last week.
8 a) I can't do this job alone. I need … assistant
b) I can't do this job alone. I need … help.
9 a) He has got … heavy luggage to carry.
b) He has got … heavy suitcase to carry.
10 a) I need … cutlery to eat this food with.
b) I need … knife and fork to eat this food with.
11 a) She has got … important job to do.
b) She has got … important work to do.
12 a) He found … coin on the ground.
b) He found … money on the ground.

3. Complete the sentences using the noun in brackets in the singular or plural form and a/an where necessary.

1. He gave me a box' of my favourite ...chocolates.... (chocolate)
2. His favourite food is … . (chocolate)
3. She bought … on her way to work. (paper)
4. He placed all the important … in his briefcase. (paper)
5. I need some … to write this message on. (paper)
6. Hurry up! We don't have much …. (time)
7. She has visited us several … this month. (time)
8. He has no … but he is keen to learn. (experience)
9. She had a lot of exciting … during her travels. (experience)
10. We went far a walk in the … after lunch. (wood)
11. His desk is made of ……. . (wood)
12. Jane is in her… reading a book. (room)
13. We have got plenty of … for a party in here. (room)
14. I am going to have my … cut tomorrow. (hair)
15. There was …in my soup. (hair)
16. I'm thirsty. I need … of water. (glass)
17. Susan only wears her … when she reads. (glass)
18. This ornament is made of coloured …. . (glass)
19. Helen bought … in the sale at the electrical store. (iron)
20. The old gate was made of … .(iron)

4. Cross out the expressions which cannot be used with the nouns, as in the example.

1 There are **several, many, <u>much,</u> plenty of, <u>too little</u>** things you can do to help.
2 He has met **a couple of, a few, very little, plenty of, too much** interesting people.
3 She earns **few, hardly any, plenty of, several, a great deal** of money.
4 We have got **no, many, lots of, a great deal of, a few** work to do.
5 Don't worry, there's **a little, plenty of, a couple of, many, a lot of** time.
6 **Both, Several, A large quantity of, Plenty of, Too much** students applied for the course.
7 He's got **no, hardly any, a little, some, a small amount of** qualifications.
8 She's got **hardly any, several, a little, a few, a lot of** experience in dealing with customers.
9 There is **too much, a lot of, hardly any, few, several** salt in this soup.
10 There is **a little, many, too much, a great number of, some** traffic on the roads today.

5. Underline the correct word.

1 A: I have a Physics exam tomorrow.
B: Oh dear. Physics **<u>is</u>/are** a very difficult subject.
2 A: My office is three miles from my house.
B: Three miles **is/are** a long way to walk to work.
3 A: My little brother has got measles.
B: Oh dear. Measles **is/are** quite a serious illness.
4 A: Jane looked nice today, didn't she?
B: Yes. Her clothes **were/was** very smart.
5 A: I've got two pounds. I'm going to buy a CD.
B: Two pounds **is/are** not enough to buy a CD.
6 A: The classroom was empty when I walked past.
B: Yes. The class **was/were** all on a school outing.
7 A: Have you just cleaned the stairs?
B: Yes, so be careful. They **is/are** very slippery.
8 A: Did you ask John to fix your car?
B: Yes. His advice **was/were** that I take it to a garage.

9 A: Did you enjoy your holiday?
B: Yes, thank you. The weather **was/were** wonderful.
10 A: These trousers **is/are** very old.
B: You should buy a new pair.
11 A: How **is/are** the company doing lately?
B: Great. We opened up two more branches.
12 A:' I am going to travel for two years when I finish school.
B: Two years **is/are** a long time to be away from home.

6. Finish the sentences, as in the example.

1 You need a lot of experience to do this job. A lot of experience ...is needed to do this job...
2 They gave us some interesting information. The information …
3 She likes Maths more than any other subject. Maths …
4 We had mild weather this winter. The weather …
5 We called the police immediately. The police …
6 I told them some exciting news. The news …
7 He was irritated because of the bad traffic. He was irritated because the …
8 I stayed in very luxurious accommodation. The accommodation …
9 The driver took the luggage out of the car. The luggage …
10 She gave me very sensible advice. The advice she gave me …
11 These shorts are too big for me. This pair of shorts …
12 The hotel is in magnificent surroundings. The hotel surroundings …
13 She's got long blonde hair. Her hair …

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово “an hour” (час) начинается с согласной буквы “h”, но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю “a” также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)
- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise!

	Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth
с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner in the morning, In the evening, in the afternoon what's the use? to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	The table is in the middle of the room. I never drink coffee in the evening. What's the use of going there so late? Do you like going to the theatre? He works at the shop.

at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market the fact is (was) that... where is the…? in the country, to the country	The fact is that I have no money at all. Where is the doctor? We always spend summer in the country.

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание “no”	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.
с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc HO: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James’ Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное	what animals can swim? I know what thing you have lost!

местоимение	

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты: His son goes to school. Его сын учится в школе.
She has written an interesting article. Она написала интересную статью.
A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:
"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.
Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:
Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.
He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?

I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.
Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.
В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?
She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.
Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.
It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)
There are three books on the desk.
They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.
There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.
This is the same town fifty years ago.
There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.

б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.

в) в следующих высказываниях: I’ve got a headache. I’ve got a temperature. I’ve got a cough, I’ve got a toothache, I’ve got a cold, I’ve got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?

You have (got) They have (got)	You've (got) They've (got)	You have not (got) They have not (got)	You haven't (got) They haven't (got)	Have they (got)?

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе **ни приставок, ни суффиксов: small -** *маленький***, long -** *длинный***, white -** *белый***.**

К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	**Пример**	**Перевод**
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting -** интересный
bored - скучающий	**boring -** скучный
surprised - удивленный	**surprising -** удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**

Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:

- положительная степень сравнения **(Positive Degree);**

- сравнительная степень сравнения **(Comparative Degree);**

- превосходная степень сравнения **(Superlative Degree).**

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке **-** добавляем “е” (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er -** холоднее	the cold**est -** самый холодный
big - большой	bigg**er -** больше	the bigg**est -** самый большой
kind - добрый	kind**er -** добрее	the kind**est -** самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

clever — умный **easy -** простой **able -** способный **busy -** занятой	clever**er - умнее** eas**ier - проще** abl**er - способнее** bus**ier - более занятой**	**the** clever**est - самый умный** **the** easi**est - самый простой** **the** abl**est - самый способный** **the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **“e” ,** то при прибавлении **– er и – est немое “e” опускается:**

larg**e – larg er - the** larg**est /** большой – больше – самый большой

brav**e – brav er – the** brav**est /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – big**ger –** big**gest /** большой – больше – самый большой

hot – hot**ter –** hot**test /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thin**ner –** thin**nest /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на “y” с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **“y” переходит в “i”:**

busy – bus**ier –** bus**iest / занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful - красивый **interesting – интересный** **important - важный**	**more beautiful -** красивее **more interesting -** интереснее **more important -** важнее	**the most beautiful** - самый красивый **the most interesting** - самый интересный **the most important** - самый важный

Особые формы

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
good - хороший **bad -** плохой **little -** маленький **much/many -** много **far -** далекий/далеко **old -** старый	**better -** лучше **worse -** хуже **less -** меньше **more -** больше **farther/further -** дальше **older/elder -** старше	**the best -** самый лучший **the worst -** самый плохой **the least -** самый маленький, меньше всего **the most -** больше всего **the farthest/furthest -** самый дальний **the oldest/eldest -** самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful – красивый **interesting -** интересный	**less beautiful -** менее красивый	**the least beautiful –** самый некрасивый

important - важный	**less interesting –** менее интересный **less important -** менее важный	**the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **“of”:**

hundreds <u>of</u> children – сотни детей

thousands <u>of</u> birds- тысячи птиц

millions <u>of</u> insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:

224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

ТЕМА 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)

Тематика общения:

1. Высшее образование в России и за рубежом.
2. Мой вуз.
3. Студенческая жизнь.

Проблематика общения:

1. Уровни высшего образования.
2. Уральский государственный горный университет.
3. Учебная и научная работа студентов.
4. Культурная и спортивная жизнь студентов.

2.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать; **to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере;

course of studies - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

2.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

This text is dedicated to the history of the Ural State Mining University formerly called the Sverdlovsk Mining Institute. It was founded in 1917. It is the oldest higher technical educational institution in the Urals. In 1920 the Mining Institute became a faculty of the Ural State University and in 1925 of the Ural Polytechnical Institute. In 1930 this faculty was reorganized into the Mining Institute. The Institute was named after V.V. Vakhrushev the USSR Coal Industry Minister in 1947. It was awarded the Order of the Red Banner of Labour in 1967.

In 1993 the Sverdlovsk Mining Institute was reorganized into The Ural State Academy of Wining and Geology. In 2004 The Ural State Academy of Mining and Geology was reorganized into The Ural State Mining University. The University provides full-time and extramural education in many specialities. There are post graduate courses at the University as well.

The University is an important scientific research center. Many doctors and masters of Science teach and carry out scientific work at the University. Capable students take part in research projects. The graduates of the University work all over the country.

There are six faculties at the Ural State Mining University: Faculty of Mining Technology; Faculty of Mining Mechanics; Faculty of Geology & Geophysics; Faculty of Civil Protection; Faculty of City Economy; Faculty of Extramural Education; and The Institute of World Economics.

Besides there is a Preparatory faculty where young people get special training before taking entrance exams. The Faculty of Additional Education offers an opportunity to get the second higher education.

Each faculty trains mining engineers in different specialities.

There are many specialities at the Faculty of Extramural Education where students have to combine work with studies. Very often the Ural State Mining University organizes training specialists in new modern specialities.

Faculties consist of Departments. Each faculty is headed by the Dean. The head of the Academy is the Rector.

The University is housed in four buildings. Building, One houses - the Rector's office, the Deans' offices, number of administrative offices, Faculty of City Economy, the Faculty or Mining Mechanics with its numerous departments and laboratories (labs).

Building Two houses the Faculty of Mining Technology, Faculty of Civil Protection, the Deans' offices, many departments, labs and the computation centre.

Building Three houses the Faculty of Geology & of Geophysics, the Faculty of Extramural Education, the Dean's offices, many departments and labs. The Ural Geological Museum, the Museum of the History of the Ural State Mining University and some administrative offices are also housed in this building.

Building Four houses The Institute of World Economics, the Dean's office, departments and labs, the library, reading halls, the Assembly hail, the students cultural centre and a large canteen where students can have their meals.

The library and the reading halls provide students with all kinds of reading: textbooks, reference books / справочники/ dictionaries, magazines and fiction/ художественная литература/.

Besides not far from the University there are four five-storied buildings of the student hostel, where most students live. Near the hostels there is a House of Sports. There students can go in for- different kinds of sports: chess, badminton, table tennis, boxing, wrestling, weight lifting, basketball, volleyball, handball.

The Ural State Mining University offers students three different programs of higher education such as: Bachelors, Diplomate Engineers and Magisters.

The course of studies for a bachelor's degree lasts four years. The academic year begins in September and ends in June. It consists of two terms - September to January and February to June. Students attend lectures and practical classes. As a rule, there are three or four periods of lectures and Classes a day with 20 minutes break between them.

During their first two years students take the following subjects: higher mathematics, physics, chemistry, theoretical air-mechanics, descriptive geometry, general geology, mineralogy, geodesy, history, a foreign language (English, French or German). Besides all the students learn to operate a computer.

Students take their tests and exams at the end of each term. After exams students have their holidays or vacations. At the end of the academic year the students of the academy have practical work at mines, mineral dressing plants, geological & geophysical parties. At the end of the final year students present their graduation papers for approval. After getting the Bachelor's degree the graduates have a possibility to continue their education. They can enter a Diplomate Engineer's course or studies

which lasts one academic year or the graduates can take a two-year program of Magister's degree. After defending final papers these graduates can enter the post-graduate courses.

2.3 Систематизация грамматического материала:

1. Образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],

Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.
Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Put the verbs in brackets into the present simple or the present continuous.

1 A: *Do you know* (you/know) that man over there?
B: Actually, I do. He's Muriel's husband.

2 A: Are you doing anything tomorrow evening?
B: Yes. I … (see) Jack at nine o'clock.

3 A: I … (see) you're feeling better.
B: Yes, I am, thank you.

4 A: What's that noise?
B: The people next door … (have) a party.

5 A: Graham … (have) a new computer.
B: I know. I've already seen it.

6 A: This dress …. (not/fit) me any more.
B: Why don't you buy a new one?

7 A: Your perfume … (smell) nice. What is it?
B: It's a new perfume called Sunshine.

8 A: What is Jane doing?
B: She … (smell) the flowers in the garden.

9 A: What … (you/look) at?
B: Some photos I took during my holidays. They aren't very good, though.

10 A: You … (look) very pretty today.
B: Thank you. I've just had my hair cut.

11 A: I … (think) we're being followed.
B: Don't be silly! It's just your imagination.

12 A: Is anything wrong?
B: No. I … (just/think) about the party tonight.

13 A: This fabric … (feel) like silk.
B: It is silk, and it was very expensive.

14 A: What are you doing?

B: I … (feel) the radiator to see if it's getting warm.

15 A: She … (be) generous, isn't she?
B: Yes, she has never been a mean person.

16 A: He … (be) very quiet today, isn't he?
B: Yes, I think he has some problems.

17 A: Would you like some cherries?
B: Yes, please. I … (love) cherries. They're my favourite fruit.

18 A: I'm sorry, but I … (not understand) what you mean.
B: Shall I explain it again?

19 A: The children are making lots of noise today.
B: I know, but they … (have) fun.

20 A: This cake … (taste) awful.
B: I think I forgot to put the sugar in it!

2. Fill in the gaps with recently, how long, yet, for, always, ever, already, since, so far or just. Sometimes more than one answer is possible.

1 A: Has Tom finished his exams ...yet...?
B: No. He finishes them next Thursday.

2 A: … has Janet been working at the hospital?
B: She has been working there … she left school.

3 A: How are you finding your new job?
B: Great. I haven't had any problems … .

4 A: Is John at home, please?
B: No, I'm afraid he's … gone out.

5 A: Have you been waiting long?
B: Yes, I've been here … two hours.

6 A: Has Martin … been to Spain?
B: No. I don't think so.

7 A: Have you spoken to Matthew … ?
B: Yes. I phoned him last night.

8 A: Can you do the washing-up for me, please?
B: Don't worry. Mike has … done it.

9 A: Lucy has … been musical, hasn't she?
B: Yes, she started playing the piano when she was five years old.

10 A: Shall we go to that new restaurant tonight?
B: Yes. I have … been there. It's really nice.

11 A: Your dog's been barking … three hours!
B: I'm sorry. I'll take him inside.

12 A: Have you finished reading that bodk yet?
B: No. I've … started it.

3. Put the verbs in brackets into the present perfect or continuous, using short forms where appropriate.

1 A: How long ...*have you known*... (you/know) Alison?
B: We ... (be) friends since we were children.

2 A: Who … (use) the car?
B: I was. Is there a problem?

3 A: What are Andrew and David doing?
B: They … (work) in the garden for three hours.

4 A: Why is Sally upset?
B: She … (lose) her bag.

5 A: I … (always/believe) that exercise is good for you.

B: Of course, it's good to keep fit.

6 A: Emily … (teach) maths since she left university.
B: Yes, and she's a very good teacher, too.

7 A: Fred … (open) a new shop.
B: Really? Where is it?

8 A: This pie is delicious.
B: Is it? I … (not/taste) it yet.

9 A: Have you found your umbrella yet?
B: No, I … (look) for it for an hour now.

10 A: You look exhausted.
B: Well, I … (clean) the windows since 8 o'clock this morning.

11 A: Can I have some more lemonade, please?
B: Sorry, your brother … (just/drink) it all.

12 A: Have you got new neighbours?
B: Yes, they … (just/move) to the area.

4. Put the verbs in brackets into the present perfect or the present perfect continuous.

Dear Connie,

I hope you are enjoying yourself at university. I'm sure you 1)...*'ve been studying*... (study) hard. Everything is fine here at home. Billly 2) … (just/receive) his school report. It was bad, as usual. He 3) … (decide) to leave school next year and find a job. Fiona 4) … (go) to the gym every day for the past two weeks. She 5) … (try) to get in shape for the summer. She 6) … (already/plan) her holiday in the sun. Your father 7) … (sell) the old car and he 8) … (buy) a new one. It's lovely — much nicer than the old one.

Anyway, write soon.

Love, Mum

5. Fill in the gaps with have/has been (to) or have/has gone (to).

Jack: Hi, Jill. Where's Paul?

Jill: Oh, he 1) ...*has gone to*... London for a few days.

Jack: Really! I 2) … London recently. I came back yesterday. 3) … you … there?

Jill: No, I haven't. Paul 4) … twice before, though. Where's Sarah?

Jack: She 5) … Spain for two weeks with her parents. They 6) … there to visit some friends.

Jill: When is she coming back?

Jack: They'll all be back next weekend.

6. Choose the correct answer.

1 'What time does the train leave?'
'I think it ..*A*... at 2 o'clock.'
A leaves
B has been leaving
C has left

2 'Where are Tom and Pauline?'
They … e supermarket.'
A have just gone
B have been going
C go

3 What is Jill doing these days?'
She … for a job for six months.'
A is looking
B has been looking
C looks

4 Is Mandy watching TV?'
No. She … her homework right now.'
A is always doing
B is doing
C does

5 'Have you been for a walk?'
'Yes. I often … for walks in the evenings.'
A have gone
B am going
C go

6 'Have you seen any films lately?'
'Yes. Actually, I … two this week.'
A have seen
B am seeing
C see

7 'What … ?'
'It's a piece of cherry pie. Mum made it yesterday.'
A are you eating
B do you eat
C have you eaten

8 'Are you going on holiday this summer?'
'Yes. I … enough money.'
A am saving
B have already saved
C save

9 'Is Todd reading the newspaper?'
'No. He … dinner at the moment.'
A has been making
B makes
C is making

10 'Have you bought any new CDs recently?'
'Yes. Actually, I … two this week.'
A have bought
B have been buying
C am buying

11 'What time does the play start?'
'I think it … at 8 o'clock.'
A has been starting
B starts
C has started

12 'Where is Mark?'
'He … to the library to return some books.'
A has gone
B has been
C is going

13 'What … ?'
'It's a letter to my pen-friend. I'm telling her my news.'
A have'you written
B do you write
C are you writing

7. Underline the correct tense.

1. Liz and I are good friends. We **know/<u>have known</u>** each other for four years.
2. Sarah is very tired. She **has been working / is working** hard all day.
3. Where is John?' 'He's upstairs. He **does/is doing** his homework.'
4. I can't go to the party on Saturday. I **am leaving/ have been leaving** for Spain on Friday night.
5. Jane **has finished/is finishing** cleaning her room, and now she is going out with her friends.
6. I didn't recognise Tom. He **looks/is looking** so different in a suit.
7. I don't need to wash my car. Jim **washes/has washed** it for me already.
8. Ian **has been talking/is talking** to his boss for an hour now.
9. Claire's train **arrives/has arrived** at 3 o'clock. I must go and meet her at the station.
10. 'Would you like to borrow this book?' 'No, thanks. I **have read/have been reading** it before.'
11. 'Where **are you going/do you go**?' To the cinema. Would you like to come with me?'
12. Have you seen my bag? I **am searching/have been searching** for it all morning.
13. 'Is Colin here?' 'I don't know. I **haven't seen/ haven't been seeing** him all day.'
14. Sophie is very clever. She **is speaking/speaks** seven different languages.
15. We **are moving/have moved** house tomorrow. Everything is packed.

8. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 Who …*has been using* … (use) my toothbrush?
2 'What … (you/do)?' 'I … (write) a letter.'
3 Samantha … (play) tennis with friends every weekend.
4 Tim and Matilda … (be) married since 1991.
5 Uncle Bill … (just/decorate) the bathroom.
6 Pauline and Tom … (sing) in the school choir twice a week.
7 Who … (you/speak) to?
8 Sarah is very happy. She … (win) a poetry competition.
9 He … (drink) two cups of coffee this morning.
10 My friend … (live) in America at the moment.
11 They … (usually/change) jobs every five years.
12 I … (normally/cut) my hair myself.
13 Linda … (study) in the library for three hours.
14 We … (play) in a concert next weekend.
15 Who … (read) my diary?
16 Tim … (leave) the house at 7 o'clock every morning.
17 … (your mother/work) in a bank?
18 … (you/drink) coffee with your breakfast every day?
19 We … (make) plans for our summer holidays right now.
20 They… (move) house in September.

9. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 A: What ...*are you doing*... (you/do)?
B: Nothing. I … (just/finish) my lunch.
2 A: Where … (you/be) all morning?
B: I … (clean) my house since 8 o'clock.
3 A: … (you/do) anything next weekend?
B: No, I … (not/make) any plans yet.
4 A: Jane looks great. … (she/lose) weight?
B: Yes, she … (exercise) a lot recently.
5 A: … (be/you) busy right now?
B: Yes, I … (just/start) typing this report.
6 A: Where is Peter?
B: He … (wash) the car at the moment.
7 A: Who … (be) your favourite actor?

B: I … (like) Sean Connery since I was a child.

8 A: … (you/do) your homework yet?

B: Almost; I … (do) it now.

10. Put the verbs in brackets into the correct tense.

Dear Nick,

This is just a short note to tell you I 1) *...'m arriving/arrive*... (arrive) at the airport at 5 pm on Saturday, 10th December. I 2) … (be) very busy recently, and that's why I 3) … (not/write) to you for a while. I 4) … (plan) this trip for months, so now I 5) … (look forward) to spending some time with you and your family. I 6) … (hope) you will be able to meet me at the airport. Please give my love to your wife and the children.

See you soon,
James

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn’t use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,

They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,

She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous. Which was the longer action in each sentence?

1. They ...*were cleaning*... (clean) the windows when it …*started*... (start) to rain.
Cleaning the windows was the longer action.
2. As he … (drive) to work, he … (remember) that his briefcase was still at home.
3. Melanie … (cook) dinner when her husband … (come) home.
4. I … (hear) a loud crash as I … (sit) in the garden.
5. She … (type) a letter when her boss … (arrive).
6. While the dog … (dig) in the garden, it … (find) a bone.
7. Mary … (ride) her bicycle when she … (notice) the tiny kitten.
8. While I … (do) my homework, the phone … (ring).

2. A policeman is asking Mrs Hutchinson about a car accident she happened to see yesterday. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous.

P: What 1) ...*were you doing*... (you/do) when you 2) … (see) the accident, madam?
H: I … (walk) down the street.
P: What exactly 4) … (you/see)?
H: Well, the driver of the car 5)… (drive) down the road when suddenly the old man just 5) … (step) in front of him! It 6) … (be) terrible!
P: 8) … (the driver/speed)?
H: No, not really, but the old man 9) … (not/look) both ways before he ... (try) to cross the road.
P: 11) ... (anyone else/see) the accident?
H: Yes, the lady in the post office.
P: Thank you very much.

3. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous.

A As soon as Margaret 1) ...*got*... (get) off the train, she 2) … (pull) her coat around her. Rain 3) … (fall) heavily and a cold wind 4) … (blow) across the platform. She 5) … (look) around, but no one 6)

… (wait) to meet her. She 7) … (turn) to leave when she 8) … (hear) footsteps. A man 9) … (walk) towards her. He 10) … (smile) at her, then he 11) … (say), 'You're finally here.'

B George 1) … (pick) up his bag then, 2) … (throw) it over his shoulder. It 3) … (get) dark and he 4) … (have) a long way to go. He wished that he had let someone know that he was coming. It 5) … (start) to rain, and he was feeling cold and tired from the long journey. Suddenly, he 6) … (hear) a noise, then he 7) … (see) two bright lights on the road ahead. A car 8) … (head) towards him. It slowed down and finally 9) … (stop) beside him. A man 10) … (sit) at the wheel. He 11) … (open) the door quickly and 12) … (say) 'Get in, George.'

C Andy 1) … (step) into the house and 2) … (close) the door behind him. Everything 3) … (be) quiet. His heart 4) … (beat) fast and his hands 5) … (shake) as he crept silently into the empty house, but he was trying not to panic. He soon 6) … (find) what he 7) … (look) for. He smiled with relief as he put on the clothes. The men who 8) … (follow) him would never recognise him now.

4. Imagine that you were present when these things happened, then, in pairs, ask and answer questions, as in the example.

SA: What were you doing when the burglar broke in?
SB: I was watching TV.
SA: What did you do?
SB: I called for help.

1 The burglar broke in.
2 The storm broke.
3 The lights went out.
4 The boat overturned.
5 The earthquake hit.
6 The building caught fire.

5. Rewrite each person's comment using used to or didn't use to.

1 Sally - 'I don't walk to work any more.'
I used to walk to work.
2 Gordon - 'I've got a dog now.'
3 Lisa - 'I don't eat junk food any more.'
4 Jane - 'I go to the gym every night now.'
5 Paul - 'I'm not shy any more.'
6 Edward - 'I live in a big house now.'
7 Helen - 'I haven't got long hair any more.'
8 Frank - 'I eat lots of vegetables now.'

6. Choose the correct answer.

1 'I find it hard to get up early.'
'You ...*3*... to getting up early once you start working.'
A are used
B will get used
C were used

2 'Do you often exercise now?'
'No, but I … to exercise a lot when I was at school.'
A used
B will get used
C am used

3 'Aren't you bothered by all that noise?'
'No, we … to noise. We live in the city centre.'
A were used
B will get used

C are used

4 'Does your sister travel a lot?'
'No, but she … to before she got married.'
A didn't use
B used
C wasn't used

5 'I don't like wearing a suit every day.'
'Don't worry, you … to it very soon.'
A are used
B will get used
C were used

6 'Sandra … to using a computer, but now she enjoys it.'
'It's a lot easier for her now.'
A isn't used
B will get used
C wasn't used

7 'Do you remember the things we … to do when we were kids?'
'Of course I do. How could I forget what fun we had!'
A used
B were used
C got used

8 'Do you like living in the city?'
'Well, I … to it yet, but it's okay.'
A am not used
B wasn't used
C am used

7. Fill in the gaps with one of the verbs from the list in the correct form. Use each verb twice.

wash, walk, play, work

1 I used to ...*work*... in a shop, but now I work in an office.
2 I can't concentrate. I'm not used to … in such a noisy office.
3 Tom lived in the country for years. He used to … miles every day.
4 I'm exhausted. I'm not used to … such long distances.
5 Mary used to … her clothes by hand, but now she uses a washing machine.
6 We haven't got a washing machine, so we're used to … our clothes by hand.
7 The children are bored with the bad weather. They're used to … outside.
8 When we were younger, we used to … cowboys and Indians.

8. Put the verbs in brackets into the past simple or the present perfect.

1. A: Do you know that man?
B: Oh yes. He's a very good friend of mine. I 1) ...*'ve known*... (know) him for about ten years.
A: I think I 2) … (meet) him at a business meeting last month.

2. A: Mum 1) … (lose) her purse.
B: Where 2) … (she/lose) it?
A: At the supermarket while she was shopping.

3. A: Who was on the telephone?
B: It 1) … (be) Jane.
A: Who is Jane?
B: Someone who 2) … (work) in my office for a few years. She's got a new job now, though.

4. A: Who is your favourite singer?
B: Freddie Mercury. He 1) … (have) a wonderful voice.
A: Yes, I agree. He 2) … (enjoy) performing live, too.

9. Fill in the gaps with one of the verbs from the list in the past perfect continuous.

read, scream, argue, try, eat, watch

1. Emily was angry. She ...*had been arguing*… with her parents for an hour.
2. Hannah felt sick. She … chocolates all afternoon.
3. Allan had a headache. His baby sister … for half an hour.
4. Emily was frightened. She … a horror film for half an hour.
5. Simon was confused. He … to win the game for hours.
6. John was very tired. He … all night.

10. Put the verbs in brackets into the correct past tense.

A: On Monday morning, Jo 1) ... *missed*... (miss) the bus and had to walk to school. When she 2) … (arrive), the bell 3) … (already/ring)', and lessons 4) … (start). The children 5) … (work) quietly when Jo 6) … (walk) into the'classroom.

B: When Jamie 1) … (get) to the party, a lot of people 2) … (dance) to pop music. Everyone 3) … (wear) jeans and T-shirts. Jamie 4) … (buy) a new suit for the party and he 5) … (wear) that. He 6) … (feel) quite silly because everyone 7) … (look) at him.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,

Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock.*

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Tanya Smirnoff is a famous astrologer. She's been invited on a TV show to give her astrological predictions for next year. Using the prompts below, make sentences, as in the example.
e.g. An eartyhquake will strike Asia.

1 earthquake/strike/Asia
2 Tom Murray/win/elections
3 economy/not improve/significantly
4 number of road accidents/increase
5 America/establish/colony/on Mars
6 scientists/not discover/cure for common cold

2. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the examples.

SA: Are you going to pay the bill?
SB: Yes, that's what I'm going to do.
SA: Are you going to complain to the manager?
SB: No, that's not what I'm going to do.

1. pay the bill (√)
2. complain to the manager (X)
3. take the skirt back to the shop (√)
4. buy the jumper (√)
5. ask the bank manager for a loan (X)
6. order the food (√)
7. book the airline tickets (X)

3. Fill in the gaps with the correct form of will or be going to and the verb in brackets.

1 A: Why are you buying flour and eggs?
B: Because I ...*'m going to make*... (make) a cake.
2 A: I have decided what to buy Mum for her birthday.
B: Really. What … (you/buy) for her?
3 A: Did you ask Jackie to the party?
B: Oh no! I forgot! I … (ask) her tonight.
4 A: Could I speak to Jim, please?
B: Wait a minute. I … (get) him for you.
5 A: What are your plans for the weekend?

B: I … (spend) some time with my friends.

6 A: What are you doing on Friday night?
B: Oh, I … (probably/stay) at home with my family.

7 A: Have you tidied your room yet?
B: No, but I promise I … (do) it this afternoon.

8 A: Look at that boy!
B: Oh yes! He … (climb) the tree.

9 A: Jason is very clever for his age.
B: Yes. He says he … (become) a doctor when he grows up.

10 A: I'm too tired to cut the grass.
B: Don't worry! I (cut) it for you.

4. Fill in the gaps with shall, will or the correct form of be going to.

1 A: It's too hot in here.
B: You're right. I ...*will*... open a window.

2 A: … I put the baby to bed, now?
B: Yes, he looks a little tired.

3 A: Have you seen Lucy recently?
B: No, but I … meet her for lunch later today.

4 A: Have you done the shopping yet?
B: No, but I … probably do it tomorrow, after work.

5 A: … we ask Mr Perkins for help with the project?
B: That's a good idea. Let's ask him now.

5. Replace the words in bold with will/won't or shall I/we, as in the example.

1 I've asked Paul to talk to the landlord, but he **refuses to** do it.
I've asked Paul to talk to the landlord, but he won't do it.

2 **Do you want me** to make a reservation for you?

3 **Can** you call Barry for me, please?

4 **Why don't we** try this new dish?

5 Where **do you want me** to put these flowers?

6. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example.

SA: *When will you do the gardening?*
SB: *I'll do it after I've done the shopping.*

1 do the gardening / do the shopping
2 post the letters / buy the stamps
3 iron the clothes / tidy the bedroom
4 water the plants / make the bed
5 do your homework / have my dinner
6 pay the bills / take the car to the garage

7. Put the verbs in brackets into the present simple or the future simple.

1 A: I'm going to the gym tonight.
B: Well, while you ...*are*... (be) there, I … (do) the shopping.

2 A: … (you/call) me when you … (get) home?
B: Yes, of course.

3 A: As soon as John … (come) in, tell him to come to my office.
B: Certainly, sir.

4 A: I'm exhausted.
B: Me too. I wonder if David … (come) to help tonight.

5 A: Are you going to visit Aunt Mabel this afternoon?

B: Yes, I ... (visit) her before I … (do) the shopping.

6 A: Is George going to eat dinner with us?
B: No, by the time he … (get) home it … (be) very late.

7 A: When … (you/pay) the rent?
B: When I … (get) my pay cheque.

8 A: What are your plans for the future?
B: I want to go to university after I … (finish) school.

9 A: If you … (pay) for dinner, I … (pay) for the theatre.
B: Okay, that's a good idea.

10 A: Can you give this message to Mike, please?
B: Well, I'll try, but I doubt if I … (see) him today.

8. Put the verbs in brackets into the future simple, the present simple or the present continuous.

1 A: I ...*am seeing*... (see) Roger at seven o'clock tonight.
B: Really? I thought he was out of town.

2 A: … (you/do) anything on Friday morning?
B: No, I'm free.

3 A: I … (go) to the cinema. There's a new film on. Do you want to come with me?
B: What time … (the film/start)?

4 A: Helen … (have) a party the day after tomorrow. … (you/go)?
B: As a matter of fact, I haven't been invited.

5 A: The new exhibition … (open) on April 3rd and … (finish) on May 31st.
B: I know. I … (go) on the first day.

6 A: Aunt Maggie … (come) to visit us tomorrow.
B: I know. What time … (she/arrive)?

7 A: Excuse me, what time … (the train/leave)?
B: At half past three, madam.

8 A: Michael Jackson … (give) a concert at the Olympic Stadium next week.
B: I know. I … (want) to get a ticket.

9 A: I'm really thirsty.
B: I … (get) you a glass of water.

10 A: Are you looking forward to your party?
B: Yes. I hope everyone … (enjoy) it.

11 A: How old is your sister?
B: She .. (be) twelve next month.

12 A: What are you doing tonight?
B: I … (probably/watch) TV after dinner.

9. A) Cliff Turner has his own business and it is doing well. He has already decided to expand. Look at the prompts and say what he is going to do, as in the example.

1. employ more staff

He's going to employ more staff.

2. advertise in newspapers and magazines
3. equip the office with computers
4. increase production
5. move to bigger premises
6. open an office abroad

B) Cliff is always busy. Look at his schedule and say what his arrangements are for the next few days. Make sentences, as in the example.

Wednesday 12th: fly to Montreal

He is flying to Montreal on Wednesday.
Thursday 13th: give an interview to The Financial Times
Friday 14th: have lunch with sales representatives
Saturday 15th: have a meeting with Japanese ambassador
Sunday 16th: play tennis with Carol

10. ln Pairs, ask and answer the following questions using I (don't) think/expect I will or I hope /'m sure/'m afraid I will/won't, as in the example.
SA: *Do you think you will pass your exams?*
SB: *I hope I will/I'm afraid I won't.*
1 pass/exams
2 move house
3 take up / new hobby
4 make / new friends
5 start having music lessons
6 have / party on / birthday
7 learn/drive

ТЕМА 3. Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир)

Тематика общения:

1. Екатеринбург – столица Урала.
2. Общее и различное в национальных культурах.

Проблематика общения:

1. Мой родной город.
2. Традиции и обычаи стран изучаемого языка.
3. Достопримечательности стран изучаемого языка.

3.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist's/a pharmacy/a drugstore - аптека
a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки

a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна
a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

3.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant

produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

The History of Ekaterinburg

The famous Soviet poet V. Mayakovsky called out city "A Worker and a Fighter" and these words most fully reflect the features of Ekaterinburg.

Ekaterinburg is nowadays one of the leading industrial cities of Russia, an administrative & cultural centre of the Sverdlovsk region. It is the capital of the Urals.

Ekaterinburg has sprung up in the upper reaches of the Iset River in the middle part of the Urals Mountains near the border of Europe and Asia. It stretches from North to South for 25 km. and 15 km. from East to West.

The history of our city is very interesting. It was founded at the beginning of the XVIII century as a fortress-factory in connection with the construction of the Urals iron works. The works was constructed under the supervision of Tatishchev, a mining engineer, who was sent to the Urals by Peter the first. It was put into operation in November 1723. This date is considered to be the date of the birthday of city. It was named Ekaterinburg. On the place of the first works there is the Historical Square now.

The town grew and developed as the centre of an important mining area where the mining administration office was located. Ekaterinburg was an ordinary provincial town like many others in Russia before the October Revolution. It had only one theatre, four hospitals, one mining school and not a single higher school.

At the end of the XIX century Ekaterinburg became one of the centres of the revolutionary struggle. Many squares, streets and houses of the city keep the memory of the revolutionary events and the Civil War in the Urals. They are: the 1905 Square, a traditional place of the revolutionary demonstrations of the working people, the rocks "Kamenniye Palatki", a memorial park now, which was the place of illegal meetings of Ekaterinburg workers, the Opera House where the Soviet power was proclaimed in November 8, 1917 and many others.

Ekaterinburg is closely connected with the life and activities of many famous people. Here Y.M. Sverdlov, the leader of the Urals Party organization before the Revolution and the first President of the Soviet state, carried out his revolutionary work. In 1924 Ekaterinburg was renamed in his memory.

The name of such a famous scientist and inventor of the radio as Popov, and the names of such writers as Mamin-Sibiriyak and Bazhov are also connected with Ekaterinburg.

After the October Socialist Revolution the town has changed beyond recognition. It grew quickly in the years of the first five-year plan periods. Nowadays our city is constantly growing and

developing. Modern Ekaterinburg is a city of wide straight streets, multistoried blocks of flats, big shops, beautiful palaces of culture, cinemas, fine parks and squares.

The centre of the city is 1905 Square with the monument to V.I. Lenin and the building of the City Soviet. The main street is Lenin Avenue. The total area of the city is over 400 sq. km. The population is about two million.

In connection with its 250th anniversary and for its outstanding achievements in the development of the national economy of our country Ekaterinburg was awarded the Order of Lenin.

Ekaterinburg – a Center of Science & Education

Ekaterinburg is one of the largest & most important centers of science & education in our country. The city has 15 higher schools. The oldest of them are the Mining & the Polytechnical Institutes, the Urals State University founded in 1920, the Medical & Pedagogical & many others. Ekaterinburg higher schools train specialists for practically all branches of industry, economy, education & science. The city has a student population of about 80 thousand. Besides, there are many secondary and vocational schools and over 50 technical schools (colleges). The oldest of them is the Mining Metallurgical College named after Polzunov, founded in 1847.

Much important scientific research work is carried on in Ekaterinburg. The Urals Branch of Sciences, now called the Urals Scientific Centre (UNZ), was founded in 1932. Its first chairman was the famous Soviet scientist, mineralogist and geochemist A.E. Fersman. UNZ is the main centre of scientific work now. It contains nine institutes which solve the most important theoretical and practical problems in the field of geology, mining, metallurgy, biology, economy and others.

The city has more than 120 research and designing institutions, among them Uralmechanobr, Unipromed, Nipigormash and others. It is worth mentioning that important scientific and research work is also carried on in educational establishments and at the industrial enterprises of the city, such as the Uralmash, Uralelectrotyazmash and others.

Thousands of research workers, among them 5 academicians, 10 Corresponding members of the Russian Academy of Sciences, many Doctors and Masters of Science are engaged in scientific and research work. Ekaterinburg has contributed greatly to the development of Russian science.

Ekaterinburg - a Cultural Centre

Ekaterinburg is not only an industrial and educational, but also a large cultural centre. There is a lot to be seen in the city. There are many theatres, cinemas, museums, clubs, libraries, palaces of culture, the Art Gallery and the Circus in it.

The Art Gallery houses a splendid collection of paintings of Russian and Soviet artists such as Repin, Polenov, Levitan, Perov, Slusarev, Burak, Pimenov and many others. Here you will see one of the world famous collections of metal castings made in Kasli and especially a cast Iron pavilion. It was shown in Paris at the World Exhibition and awarded the Highest Prize.

Ekaterinburg is famous for its theaters. They are the Opera & Ballet House, the Drama Theatre, the Musical Comedy, the Children's and Puppet Theatres, the Cinema and Concert Hall "Cosmos". The Opera House was built in 1912. Many famous singers such as S. Lemeshev, I. Koslovsky, I. Arkhipova, B. Shtokolov and many others sang in that theatre. Ekaterinburg has a Philharmonic Society, film and television studios, the Urals Russian Folk Choir which is well known both at home and abroad.

There are many museums in the city: the Museum of Local Studies, the Sverdlov Museum, the Museum of Mamin-Sibiriyak, the Bazhov Museum, the Museum of Architecture. But the Urals Geological Museum is the most famous one. It is a real treasure-house of the Urals riches. The museum was opened in 1937.

Ekaterinburg is a green city with its squares, gardens and parks. The largest and the best of the parks is the Central Park of Culture and Rest. The Central Square of the City is the 1905 Square. Besides, there are some others: the Labor Square, one of the oldest of the city, located in front of the House of Trade Unions, the Komsomolskaya Square with the monument to the Urals Komsomol, the Paris Commune Square with the monument to Y.M. Sverdlov.

There are lots of monuments in the city. They are: the monument dedicated to the students and teachers of the Urals Polytechnical Institute who perished in the Great Patriotic War, the monument to the Urals Tank Corps, the monuments to Bazhov, Popov, Ordjonikidze, Malishev and many others.

There are a lot of places of interest in our city. Any visitor who comes to our city is invited to take sightseeing around it. We will be shown the historical places such as the rocks "Kamenniye Palatki", the Pupils' Creation Palace, the Historical Square, the 1905 Square.

There are several memorials to those who gave their lives in the struggle against fascism, the obelisk in the Square of Communards with the eternal flame. Such famous places of interest at the city pond with granite-lined embankment, the Palace of Youth, the lake Shartash, the Uktus Mountains and some others are most popular with the citizens of Ekaterinburg as well as with its visitors.

Ekaterinburg is a city of sports. There are a lot of sports grounds, stadiums, sports halls and a beautiful Palace of Sport in it. Ekaterinburg is often called the Winter Sports Capital. All sorts of important skiing & skating events are held in the Uktus Mountains.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world's largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o'clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don't like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern

monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul's Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It's the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent's Park. The last one is the home of London Zoo.

3.3 Систематизация грамматического материала:

1. Модальные глаголы и их эквиваленты.
2. Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге.
3. Основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь.

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых

		обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Rephrase the following sentences using must, mustn't, needn't, has to or doesn't have to.

1 **You aren't allowed** to park your car in the college car park.

...You mustn't park your car in the college car park...

2 **I strongly advise** you to speak to your parents about your decision.

3 **It isn't necessary** for Emma to attend tomorrow's staff meeting.

4 **Jack is obliged** to wear a suit and a tie at work because the manager says so.

5 **I'm sure** Antonio is from Milan.

6 **It's necessary** for Roger to find a job soon.

7 **It's forbidden** to use mobile phones inside the hospital.

8 Susan **is obliged to** work overtime because her boss says so.

2. Rephrase the following sentences using didn't need to or needn't have done.

1 It wasn't necessary for him to wash the car. It wasn't dirty.

…He didn't need to wash the car…

2 It wasn't necessary for her to buy so many oranges, but she did.

3 It wasn't necessary for us to take an umbrella. It wasn't raining.

4 It wasn't necessary for us to turn on the light. It wasn't dark.

5 It wasn't necessary for him to call me today, but he did.
6 It wasn't necessary for you to make sandwiches for me, but you did.
7 It wasn't necessary for them to make reservations at the restaurant, but they did.

3. Rewrite the sentences using the word in bold.

1 It isn't necessary for Mark to buy new clothes for the reception.
need *...Mark doesn't need to/needn't buy new clothes for the reception…*
2 You aren't allowed to pick these flowers. **must**
3 Sarah is obliged to type her compositions at university. **has**
4 It wasn't necessary for Paula to make the beds. **need**
5 It is your duty to obey the law. **must**
6 It wasn't necessary for Bob to wait for me, but he did. **need**
7 It is forbidden to throw litter on the beach. **must**
8 I'm sure Ronald is at home. **must**
9 It wasn't necessary for Alice to bake a cake for the party. **need**
10 It wasn't necessary for George to stay at work late last night, but he did. **have**

4. Fill in the gaps with an appropriate modal verb.

1 A: ... *May/Can/Could*... I borrow your pen, please?
B: No, you … .I'm using it.
2 A: I'm bored. What shall we do?
B: We … go for a walk.
A: No, we … because it's raining.
B: Let's watch a video, then.
3 A: My parents told me I … go to the party tonight.
B: Never mind, I … go either. We … stay at home together, though.
4 A: Sir, … .I speak to you for a moment, please?
B: Certainly, but later today; I'm busy now.
5 A: Excuse me?
B: Yes?
A: … you tell me where the post office is, please?
B: Certainly. It's on the main road, next to the school.
6 A: Is anyone sitting on that chair?
B: No, you … take it if you want to.

5. Choose the correct answer.

1 " Todd was a very talented child.'
I know. He ..*B*... play the piano well when he was seven.'
A couldn't B could C can
2 I've just taken a loaf out of the oven.
Oh, that's why I … smell fresh bread when I came home.
A was able to B can't C could
3 'How was the test?'
Easy. All the children … pass it.'
A were able to B could C can't
4 What are you doing this summer?'
'I hope I'll … go on holiday with my friends.'
A could B be able to C can

6 Rewrite the sentences using the words in bold.

1 Do you mind if I leave the door open for a while?
can *...Can I leave the door open for a while?...*

2 You're obliged to take notes during the lecture. **have**
3 I'm sorry, but you aren't allowed to enter this room. **must**
4 Jack managed to unlock the door. **able**
5 It wasn't necessary for Ann to cook dinner, but she did. **need**
6 Let's play a game of chess. **could**
7 I'm certain Sarah is bored with her work. **must**
8 I strongly advise you to take up sport. **must**
9 I'm certain Liz isn't interested in your ideas. **can**
10 You may take the car tonight if you want. **can**

7. Study the situations and respond to each one using an appropriate modal verb.

1 You want to go on holiday with your friends this year. Ask your parents for **permission.**
...Can I go on holiday with my friends this year?...
2 You are at a job interview. You type fast, you use computers and you speak two foreign languages. Tell the interviewer about your **abilities**.
3 Your brother is trying to decide what to buy your mother for her birthday. You **suggest** a box of chocolates.
4 Your jacket is dirty and you want to wear it next week. It is **necessary** to take it to the dry cleaner's.
5 You want to have a day off work next week. Ask for your boss' **permission.**
6 You are in the car with your uncle. It's hot and you want him to open the window. Make a **request.**
7 Your mother is going to the shops. She asks you if you want anything. You tell her it **isn't necessary** to get anything for you.

8. Complete the sentences using must or can't.

1 I'm certain they go to bed early on Sunday nights. They *…must go to bed early on Sunday nights…*
2 I'm sure John didn't stay late at the office. John *...can't have stayed late at the office…*
3 I'm certain he hasn't arrived yet. He …
4 I'm certain they are working together. They …
5 I'm sure Amy hasn't finished her homework. Amy …
6 I'm certain she was having a bath when I rang. She …
7 I'm sure he hasn't won the prize. He …
8 I'm sure she is looking for a new house. She …
9 I'm certain Paul didn't invite Linda to the party. Paul …
10 I'm certain you have been planning the project. You …
11 I'm sure she was writing a letter. She …
12 I'm certain they hadn't paid the bill. They …
13 I'm sure he had been fixing the pipe. He …

9. Rephrase the following sentences in as many ways as possible.

1 Perhaps Laura has left the phone off the hook. *...Laura may/might/could have left the phone off the hook…*
2 Surgeons are obliged to scrub their hands before operating on patients.
3 Do you mind if I open the window?
4 It wasn't necessary for Peter to wash the dog, so he didn't.
5 Emily managed to reach the top shelf, even though she didn't have a ladder.
6 It's forbidden to copy files without the manager's permission.
7 Why don't we spend this evening at home?
8 I'm certain Patrick misunderstood my instructions.
9 I'm sure Helen didn't know about her surprise party.

10. Rephrase the following sentences in as many ways as possible.

1 Perhaps they are at work.

They ...*may/might/could be at work*…

2 Perhaps he is waiting outside. He …

3 It's possible she will work late tonight. She …

4 It's likely he was driving too fast. He …

5 It's possible they made a mistake. They …

6 Perhaps he has missed the bus. He …

7 It's possible she has been playing in the snow. She …

8 It's likely we will be leaving tomorrow. We …

9 It's likely he will stay there. He …

10 Perhaps she had been trying to call you. She …

11 It's likely they had seen the film already. They …

12 It's possible he is studying in the library. He …

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)

This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)

Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)

Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.

My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.

to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.

to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:

Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.

б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить

to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять

to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить

to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать

to teach учить to tell сказать и др.

Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.

Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)

A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:

John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.

The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):

He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать

to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать

to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:

He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:

The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:

The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:

The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)

The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:

The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:

The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:

He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:

I am invited to a party.

Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):

Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.

Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.

I was told that you're ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):

They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:

The experiments were made last year.

1) Опыты были проведены в прошлом году.

2) Опыты проводились в прошлом году.

3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:

It is said… Говорят… It was said… Говорили…

It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…

It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. What happens to a car when it is taken for a service? Look at the prompts and make sentences using the present simple passive, as in the example.

1. the oil / change

The oil is changed.

2. the brakes / test
3. the filters / replace
4. air / put / in the tyres
5. the battery / check

6. the lights / test
7. broken parts / repair
8. it / take / for a test drive
9. the radiator / fill / with water

2. Mr Sullivan, who is a director, is preparing a scene for his new film. Read the orders and respond using the present continuous passive, as in the example.

1. Move that scenery, please.
It's being moved now, Mr Sullivan.
2. Put those props in place, please.
3. Call the actors, please.
4. Check their costumes, please.
5. Turn on the lights, please.

3. Detective Maguire is talking to a police officer about a burglary which happened early yesterday morning. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example

1. Have you dusted the house for fingerprints yet?
the house / dust / for fingerprints yesterday
Yes, the house was dusted for fingerprints yesterday.
2. Have you found any evidence yet?
a piece of material / find / this morning
3. Have you interviewed the house owners yet?
they / interview / last night
4. Have you questioned the neighbours yet?
they / question / this morning
5. Have you arrested any suspects yet?
two men / arrest / yesterday evening
6. Have you interrogated the suspects yet?
they / interrogate / last night
7. Have you recovered the stolen goods yet?
they / recover / this morning
8. Have you written your report yet?
it / complete / an hour ago

4. Helen and Chris moved house two years ago. Yesterday, they drove past their old house and saw that it looked very different. Describe the changes using the present perfect simple passive, as in the example.

1. the outside walls / paint
The outside walls have been painted.
2. new windows / put in
3. a garden pond / make
4. the trees / cut down
5. a lot of flowers / plant
6. the old gate / replace

5. A young actress is hoping to star in a new film. Her friend is asking her what is going to happen. Respond to her questions using the passive infinitive, as in the example.

1. Will they audition you for the new film?
Well, I hope to be auditioned.
2. Will they give you a leading role?
3. Will they pay you a lot of money?
4. Will they send you to Hollywood?

5. Will they introduce you to all the stars?
6. Will they ask you to give a TV interview?
7. Will they give you an award?

6. Put the verbs in brackets into the correct passive tense.

1. A: Who looks after your garden for you?
B: It ...*is looked after*... (look after) by my brother.
2. A: That's a beautiful dress. Where did you buy it?
B: Actually, it … (make) for me by my aunt.
3. A: Have you typed that letter yet, Miss Brown?
B: It … (type) right now, sir.
4. A: Did you make the coffee when you got to work this morning?
B: No, it …. (already/make) by the time I got there.
5. A: Are you going to pick up the children today?
B: No, they … (pick up) by Roger. I've already arranged it.
6. A: Where is your watch?
B: I broke it. It … (repair) at the moment.
7. A: Has the new furniture for my bedroom arrived?
B: No, it … (not/deliver) yet.
8. A: They are building a new sports centre in town.
B: I know. It … (open) by the mayor next month.

7. Rewrite the sentences in the passive, where possible.

1. John opened the door.
...The door was opened by John.
2. They didn't come home late last night.
...It cannot be changed.
3. Their nanny takes them to the park every day.
4. I left very early yesterday afternoon.
5. Meg asked the policeman for directions.
6. Charles is moving house next month.
7. The letter arrived two days ago.
8. Sam took these photographs.

8. Fill in by or with.

1. The lock was broken ...*with*... a hammer.
2. This book was written … my favourite author.
3. The cake was decorated… icing.
4. The tiger was shot … a gun.
5. Claire was shouted at … her teacher.
6. He was hit on the head … an umbrella.

9. Rewrite the sentences in the passive.

1. Someone is repairing the garden fence.
...The garden fence is being repaired....
2. Do they teach Latin at this school?
3. I don't like people pointing at me.
4. She hit him on the head with a tennis racquet.
5. Michael has made the preparations.
6. Is Tim cleaning the house?
7. Who built the Pyramids?
8. The boss is going to give us a pay rise.

9. I expect they will deliver my new car soon.
10. The police are questioning the suspects.
11. Did your next door neighbours see the thieves?
12. Paul remembers his teacher asking him to star in the school play.
13. A lot of children use computers nowadays.
14. Who smashed the kitchen window?
15. They won't have completed the work by the end of the month.
16. The children will post the letters.
17. People make wine from grapes.
18. Had Helen closed the windows before she left the house?
19. Jill hasn't done the housework yet.
20. They may not deliver the parcel today.

10. Put the verbs in brackets into the correct passive tense.

A: Do you still work at Browns and Co?
B: Yes, I do. I 1) ...*have been employed*... (employ) by Mr Brown for five years now, you know.
A: Oh. Do you still enjoy it?
B: Oh yes! I 2) … (give) a promotion last year and I'm very happy.
A: A promotion? So, what is your job now?
B: I 3) … (make) Head of European Sales.
A: So, what do you do?
B: Well, sometimes I 4) … (send) to other countries on business.
A: I see. Do they pay you well?
B: Well, I 5) … (pay) quite well and I expect I 6) … (give) a pay rise soon.
A: Good for you!

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.

Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Fill in the gaps with the correct pronoun or possessive adjective.

1. James said, 'My boss wants me to go to London tomorrow.'
James said ...*his*... boss wanted to go to London the following day.
2. Mary said, 'I'm waiting for my son to come out of school.'
Mary said that … was waiting for … son to come out of school.
3. George said, 'I've bought a new car for my mum.'
George said … had bought a new car for … mum.
4. Julie said to me, 'I need you to help me with the shopping.'
Julie told me that … needed … to help … with the shopping.
5. John said, 'I'd like to take you out to dinner.'
John said … 'd like to take … out to dinner.
6. Helen said to Jane, 'I think your new haircut is lovely.'
Helen told Jane that … thought … new haircut was lovely.

2. Turn the following sentences into reported speech.

1. Robin said, These biscuits taste delicious.' ...
Robin said (that) the biscuits tasted delicious....

2. “I can't see you this afternoon because I've got a lot to do,' Ann told me.
3. She came into the room holding some letters in her hand and said, 'I found these while I was tidying the desk drawers.'
4. Fiona said, That picture was painted by my great-grandfather.'
5. “Those were good times for my family,' Jack said.
6. 'I received a parcel this morning, but I haven't opened it yet,' Tom said.
7. "You mustn't do that again,' Mum said to Bob.
8. “These shoes are worn out. You'd better throw them away,' Mum said to me.

3. Turn the following sentences into reported speech.

1 He said, 'I'm going to the station.'

...He said (that) he was going to the station....

2 Tina said, 'You should exercise regularly.'
3 They said, 'We had booked the room before we left.'
4 Tom said, This meal is delicious.'
5 'I've written you a letter,' she said to her friend.
6 'We've decided to spend our holidays in Jordan,' they told us.
7 Jill said, “I’ll go to the bank tomorrow.'
8 She said to him, 'We've been invited to a wedding.'
9 She told me, 'You must leave early tomorrow.'
10 They've gone out for the evening,' Jessie said to me.
11 They said, 'We may visit Joe tonight.'
12 She said, 'I can meet you on Tuesday.'
13 Keith said, There is a letter for you on the table.'
14 'We won't be visiting Tom this evening,' Sam told us.
15 Eric said, They had been talking on the phone for an hour before I interrupted them.'
16 'I haven't spoken to Mary since last week,' Gloria said.
17 They delivered the letters this morning,' she said.
18 He said, 'I'd like to buy this jumper.'
19 They aren't going on holiday this year,' he said.
20 Jane said, 'I haven't finished my homework yet.'
21 'I'm going to bed early tonight,' Caroline said.
22 'My mother is coming to visit us,' I said.
23 'We don't want to watch a film tonight,' the children said.
24 'He's playing in the garden now,' his mother said.
25 She said, 'You must do your homework now.'

4. Turn the sentences into reported speech. In which of the following sentences do the tenses not change? In which do they not have to be changed? Why?

1 The article says, “The artist only uses oil paints.'

...The article says (that) the artist only uses oil paints....

... The tenses do not change because the introductory verb is in the present simple....

2 'They are working hard today,' he said.
3 'I've done the things you asked me to do,' Mary said.
4 The sun rises in the east,' she said.
5 'He broke the window,' they said.
6 'We've never been on holiday abroad,' they said.
7 Mum says, 'Dinner is ready.'
8 “I’ll start cooking at six o'clock,' she said.
9 'We went to the supermarket yesterday,' he said.
10 Mrs Jones says, 'My daughter is going to have a baby.'
11 'You're never going to get a job,' Dad always says.

12 'Fish live in water,' he said.
13 'We went to the beach last weekend,' they said.
14 'He showed me his photographs,' she said.
15 'I'm working on my project now,' Billy said.

5. Turn the following sentences into reported speech.

1 'Seaweed grows in the sea,' the teacher said to the students.

...The teacher said to the students/told the students (that) seaweed grows/grew in the sea....

2 'I saw Amanda at the cinema,' she said, (up-to-date reporting)
3 They don't live here any more,' he said to me. (out-of-date reporting)
4 "Canada is a large country,' he said.
5 The Statue of Liberty is in America,' she said to us
6 "I'll help you with your homework,' he said, (out-of-date reporting)
7 'I would go on holiday if I had enough money,' Bill said, (up-to-date reporting)
8 'If I'm free, I'll call you,' Tom said, (up-to-date reporting)
9 'You should make a decision,' he said to us.
10 'You can ask John for advice,' she said, (up-to-date reporting)

6. Turn the following into reported questions.

1 'Where do you live?' I asked her.

...I asked her where she lived....

2 'How old will you be on your next birthday?" he asked me.
3 'Where is your umbrella?' she asked her daughter.
4 'Do you like playing football?' John asked us.
5 The boss asked, 'What time are you going home today?'
6 'Will you take the children to school today?' he asked.
7 'Who called you today?' she asked.
8 'When will you decorate the kitchen?' Martha asked.
9 'Who broke my vase?' I asked.
10 Father asked, 'Will you help me lift these boxes, please?'
11 'Can you speak a foreign language?' she asked her.
12 'Where is the tourist information centre?' we asked.

7. Yesterday, Marion met a couple who were on holiday in London. They were looking at a map. She asked them some questions. Turn them into reported questions.

1 'Are you lost?'

...Marion asked them if/whether they were lost....

2 'Can you speak English?'
3 'Where are you from?'
4 'Is your hotel near here?'
5 'Where do you want to go?'
6 'Were you looking for Big Ben?'
7 'Have you been to the British Museum?'
8 'Have you visited Buckingham Palace?'
9 'Do you like London?'

8. Fill in the gaps with the introductory verbs in the list in the correct form.

order, tell, ask, beg, suggest

1 'Please visit me in hospital,' Joan said to Colin.

Joan ...*asked*... Colin to visit her in hospital.

2 'Let's eat out this evening,' Paul said to her.

Paul … eating out that evening.

3 'Please, please be careful,' she said to him.
She … him to be careful.
4 'Don't go near the fire,' Dad said to us.
Dad … us not to go near the fire.
5 'Be quiet!' the commander said to the troops.
The commander … the troops to be quiet

9. Turn the following sentences into reported speech.

1 'Let's try the exercise again.'
The ballet teacher suggested trying the exercise again.
2 'Lift your leg higher please, Rachel.'
3 'Turn your head a little more.'
4 'Don't lean back.'

10. Turn the following sentences into reported speech.

1 The doctor said to the patient, 'Come back to see me again next week.'
... The doctor told the patient to go back and see him again the following week/the week after.
2 The guard said to the driver, 'Stop!'
3 He said, 'Shall we go for a walk?'
4 She said to him, 'Please, please don't leave me!'
5 Jenny said to Dave, 'Please help me with this
6 She said to him, 'Open the window, please.'
7 Mother said, 'How about going for a drive?'
8 She said, 'Let's eat now.'

ТЕМА 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность)

Тематика общения:

1. Избранное направление профессиональной деятельности.

4.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure -** *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains -** угловатые зерна *(минералов);* **grained -** *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone -** *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative -** *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary -** *a* осадочный; **sedimentation -** *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose -** *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay -** глинистый сланец; **combustible …**, **oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable -** *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable -** *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence -** *n* залегание; **mode of occurrence -** условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant -** *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble -** *a* растворимый; **solvent -** растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines -** *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated -** *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation -** *n* отношение; **relationship -** *n* родство; свойство; **relative -** *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger -** n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость

heat - v нагревать; *n* теплота

liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding -** *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous -** *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling -** *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (**drore**, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory -** *a* разведочный; **exploration -** *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening -** *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved -** *a* разведанный, достоверный; **proving -** *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable -** *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working -** *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit -** алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking -** проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping -** *a* наклонный; **gently sloping -** с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike -** вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development -** *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal -** *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support -** крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss -** *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v (**broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling -** *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive -** *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader -** *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader -** комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing -** *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper -** *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping -** *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(руды)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

4.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth’s surface and on its surface.
2. Petrology which studies the rocks of the Earth.
3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.
4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.
5. Historic Geology which treats of the Earth's history.
6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.
7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

4.3 Систематизация грамматического материала:

1. Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий.
2. Основные сведения о сослагательном наклонении.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать
to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть

Например:
He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.

Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая
having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),

keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать), look like (выглядеть как), object to (возражать против), persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от), rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в), suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо), be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо), be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо), be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо), be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо), be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо), be used to (привыкать к).

I'm tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Complete the sentences with the correct infinitive tense.

1 She has grown taller. She seems ...*to have grown taller.*
2 He is getting used to his new job. He appears
3 Kate makes friends easily. She tends
4 He has finished the report. He claims
5 It is raining over there. It seems
6 He is on a diet. He appears
7 They have sailed round the world. They claim
8 She is feeling better. She seems

2. Fill in the correct infinitive tense.

1 A: What would you like ...*to do*... (do) tonight?
B: Let's … (go) to an Italian restaurant.
2 A: What's Liz doing?
B: She seems … (look) for something in her bag.
3 A: Alan has been offered a new job!
B: No, he hasn't. He just pretended … (offer) a new job.
4 A: Colin claims … (meet) lots of famous people.
B: I know, but I don't believe him.
5 A: Look at those two men outside. What are they doing?
B: They appear … (empty) the rubbish bins.
6 A: Would you like to go to the cinema tonight?
B: Not really. I would prefer … (go) to the theatre.
7 A: Tara seems … (work) hard all morning.
B: Yes, she hasn't even stopped for a cup of coffee.
8 A: Why is Tom at work so early this morning?
B: He wants … (finish) early so that he can go to the concert tonight.

3. Rephrase the following sentences, as in the example.

1 He must wash the car. I want ...*him to wash the car...*
2 You mustn't be late for work. I don't want …
3 Claire must tidy her bedroom. I want …

4 She mustn't go to the disco. I don't want …
5 They must go to school tomorrow. I want …
6 Gary mustn't make so much noise. I don't want …
7 You mustn't make a mess. I don't want …
8 He must mend his bike. I want …

4. Complete the sentences with too or enough and the adjective in brackets.

1 A: Would you like to come to the disco?
B: Oh no. I'm ...*too tired*... to go to a disco, (tired)
2 A: Can you reach that top shelf?
B: No, I'm not … to reach it. (tall)
3 A: Did they go on a picnic yesterday?
B: No. It was … to go on a picnic, (cold)
4 A: Did Jane enjoy the horror film?
B: No. She was … to enjoy it. (scared)
5 A: Does Tom go to school?
B: No. He isn't … to go to school yet. (old)
6 A: Will you go to London by bus?
B: No. The bus is … . I'll take the train, (slow)
7 A: Did she like the dress you bought?
B: Yes, but it was … .(big)
8 A: Take a photograph of me!
B: I can't. It isn't … in here, (bright)

5. Rewrite the sentences using too.

1 This music is so slow that I can't dance to it.
...This music, is too slow for me to dance to…
2 The bird is so weak that it can't fly.
3 She's so busy that she can't come out with us.
4 The car was so expensive that he couldn't buy it.
5 These shoes are so small that they don't fit me.
6 The book is so boring that she can't read it.
7 I was so tired that I couldn't keep my eyes open.
8 The coffee was so strong that he couldn't drink it.

6. Underline the correct preposition and fill in the gaps with the -ing form of the verb in brackets.

1 He is ill. He is complaining **with/<u>about</u>** ...*having*... (have) a headache.
2 Marcus went out instead **for/of** … (do) his homework.
3 Tracy was very excited **with/about** … (go) to the party.
4 I hope you have a good excuse **of/for** … (be) so late.
5 Sam is interested **in/for** … (take up)French lessons.
6 You can't stop him **to/from** … (take)the job if he wants to.
7 Susie ran because she was worried **about/of** … (miss) the bus.
8 Thank you **to/for** … (help) me with my homework.
9 She felt tired because she wasn't used **to/with** … (work) so hard.
10 His boss blamed him **for/of** … (lose) the deal.
11 I am in charge **in/of** … (make) the Christmas deliveries.
12 We are thinking **of/from** … (buy) a new car next month.
13 Sandra apologised **for/about** … (ruin) the performance.
14 Ian was talking **with/about** … (open) a shop in York.

7. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 It's no use ...*talking*… (talk) to Bob; he won't change his mind.
2 She will … (return) the books next weekend.
3 It was good of you … (help) me fix my bicycle.
4 The man suggested … (call) the police in, to investigate.
5 I can't get used to … (live) in such a hot country.
6 He admitted … (rob) the bank.
7 You had better … (hurry), or you'll be late for work.
8 They refused … (give) me my money back.
9 She is too short … (become) a fashion model.
10 My parents let me … (stay) up late at weekends.
11 Our teacher makes us … (do) homework every evening.
12 The kitchen windows need … (clean).
13 They have begun … (make) preparations for the party.
14 He advised her … (speak) to her boss.
15 I dislike … (go) to the theatre alone.
16 Mr. Roberts was seen … (leave) his house at 12:15 last night.
17 My sister can't stand … (watch) horror films. She gets terribly scared.
18 Can you imagine … (spend) your holidays on the moon?
19 There's no point in … (call) again. There's no one at home.
20 I don't allow people … (smoke) in my house.
21 It was silly of you … (forget) to lock the door.
22 He risks … (lose) his wallet when he leaves it on his desk.

8. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 A: Is Anne in the room?
B: Yes. I can see her ...dancing... (dance) with her husband over there.
2 A: Did you see the robber?
B: Yes. I saw him … (get) into the car and drive away.
3 A: Is John here today?
B: Yes. I heard him … (talk) on the phone as I walked past his office.
4 A: Colin is good at speaking in public, isn't he?
B: Yes. I heard him … (make) a speech last month. It was excellent.
5 A: I walked past the sports centre today.
B: So did I, and I stopped for a moment to watch some boys … (play) football.
6 A: Your hair looks great today.
B: Thanks. I watched the hairdresser … (dry) it so I could learn how to do it myself.
7 A: That's a music school, isn't it?
B: That's right. I often hear the students … (sing) as I walk past.
8 A: Did you stay until the end of the contest?
B: Yes. I listened to the chairman … (announce) the results before I went home.
9 A: How do you know Tim is at home?
B: I saw him … (cut) the grass as I was driving home.
10 A: How do you know that man stole the watch?
B: I saw him … (put) it in his pocket and leave the shop without paying.

9. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 I'll never forget ...*sailing*... (sail) down the Danube on that warm spring night last year.
2 Please don't forget … (pay) the bill.
3 John said he remembers … (buy) the newspaper, but now he can't find it.
4 Did you remember … (post) my letters today?
5 Gloria regrets … (shout) at her sister.
6 I regret … (inform) you that we cannot give you your money back.

7 The students went on … (write) for another hour.
8 After cleaning the windows, he went on … (wash) the car.
9 We are sorry … (announce) that the 7:15 train to Liverpool has been cancelled.
10 I'm sorry for … (miss) your birth day party; I'll make it up to you.
11 She stopped … (go) to the gym after she had got back into shape.
12 They stopped … (have) a rest before they continued their journey.
13 They tried … (open) the door, but it was stuck.
14 You should try … (make) your own clothes. It's much cheaper.
15 I'm sorry. I didn't mean … (break) your vase.
16 Being a teacher means … (correct) a lot of homework.
17 I like … (tidy) my room at week ends because I don't have time during the week.
18 They like … (play) in the sea on hot days.

10. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

My neighbour, Mr. Mason, loves 1) …*spending*… (spend) time in his garden. He would rather 2) … (work) outside than stay indoors, even when it is snowing! Early in the morning, you can 3) … (see) Mr. Mason 4) … (eat) breakfast in his garden, and late at night he is there again, with a cup of cocoa in his hand. I'd like 5) … (help) sometimes when there is lots of work to do, but Mr. Mason prefers 6) … (do) everything himself. He doesn't mind 7) … (get) cold and wet in the winter, and his wife says it's no use 8) … (try) to make him wear a waterproof jacket because he hates 9) … (wear) them! Mr. Mason says he will go on 10) … (garden) until he is too old 11) … (do) it!

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary

			to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Look at the prompts and make Type 1 conditional sentences, as in the example.
e.g. If we cut down all the forests, the world's climate will change.
1 cut down/ all forests / world's climate / change
2 not stop/use / aerosols /destroy / ozone layer
3 find / alternative sources of energy / solve / some of our environmental problems
4 temperatures / go up / by a few degrees /sea levels / rise
5 recycle / waste / save / natural resources
6 population / continue to increase / not be enough food for everyone

2. Lisa is trying to decide where to go on holiday. She would like to go to one of these places. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example.
A) SPAIN FOR A WEEK
£180 Inclusive!!
2-star hotel beach
Free water sports

B) A TWO WEEK CAMPING HOLIDAY IN THE SOUTH OF FRANCE
ONLY £280 per person
Self-catering

1. How long / be away / choose / Spain?
SA: How long will she be away if she chooses Spain?
SB: If she chooses Spain, she'll be away for a week.
2. Where / go / like / camping?
3. How much / pay / go to / France?
4. What / do / go to / Spain?
5. Where / go / want / cheap holiday?

3. Study the situations, then make Type 2 conditional sentences, as in the example.
I don't have a car, so I have to wait for the bus every day.
1. If I ...had... (have) a car, I ...wouldn't have to... (not/have to) wait for the bus every day.
I never do my homework, so my teacher always gets angry with me.
2. If I … (do) my homework, my teacher … (not/get) angry with me.
I live in a small house, so I can't invite friends over.
3. If I … (live) in a bigger house, I … (be able to) invite friends over.
I never get up early, so I y am always late for school.
4. If I … (get up) earlier, I … (not/be) late for school.

4. Complete the sentences to make Type 3 conditional sentences, as in the example.
1. If he ...hadn't noticed... (not/notice) the mould in one of his glass dishes, Alexander Fleming ...would never have discovered... (never/discover) penicillin.
2. If he … (sell) some of his paintings, Van Gogh … (get) some recognition during his lifetime.
3. If Barbara Streisand … (change) the shape of her nose, her career … (never/be) the same.
4. If Anne Sullivan … (not/teach) her, Helen Keller … (not/be able to) communicate.
5. If Naomi Campbell … (not/be) so beautiful, she … (never/become) a supermodel.

5. Read the story below and make Type 3 conditional sentences, as in the example.
e.g. 1) ...if Sally hadn't been in a hurry, she would nave left some important notes at home....
Sally had a terrible day yesterday. She was in a hurry, so she left some important notes at home. She wasn't prepared for her meeting with a new client, so the meeting was a disaster. The client was

disappointed, and as a result he refused to do business with the company. The boss shouted at Sally, so she got upset.

6. Match the items in column A with those in column B in order to make correct Type 0 conditional sentences, as in the example.

e.g. 1 - c ...if you add sugar to a cup of coffee, the coffee tastes sweeter...

A

1. Add sugar to a cup of coffee.
2. Throw salt onto snow.
3. Put an apple in a bowl of water.
4. Water plants regularly.
5. Lie in the sun too long.
6. Take regular exercise.

B

a The apple floats.
b Your skin turns red.
c The coffee tastes sweeter.
d You feel healthy.
e The plants grow.
f The snow melts.

7. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 A: What time will you be home tonight?
B: I'm not sure. If I ...have to... (have to) work late. I ...'ll call... (call) you.
2 A: I felt very tired at work today.
B: Well, if you … (not/watch) the late film, you … (not/feel) so tired
3 A: Should I buy that car?
B: Why not? If I … (have) the money, I … (buy) it myself.
4 A: If you … (pass) a chemist's, … (you/get) me some cough medicine?
B: Yes, certainly.
5 A: My sister seems very upset at the moment.
B: Were I you, I … (talk) to her about it.
6 A: Unless you … (hurry), you … (be) late again.
B: No, I won't. There's plenty of time.
7 A: Oh! I forgot to ask Sarah over for dinner.
B: If I … (speak) to her today, I … (ask) her for you.
8 A: May I join the club, please?
B: Provided you … (be) over eighteen, you can join the club.
9 A: What a lovely restaurant! I'm glad we came here.
B: If you … (not/burn) the dinner, we … (not/come) here!
10 A: Just think. If I … (not/move) to York, I … (never/meet) you.
B: I know, wasn't it lucky?
11 A: Jo doesn't spend enough time with me.
B: Well, if she … (have) the time, I'm sure she … (try), but she's very busy.
12 A: Did you give Bill the message?
B: No, but when I … (see) him, I … (tell) him the news.

8. Choose the correct answer.

1 'If you ...C... that plate, you'll burn your fingers.'

'Why? Has it been in the oven?'
A would touch
B will touch
C touch
2 ‘ … you're busy, we'll talk now.'
‘That's fine. I'm not busy at the moment.'
A If
B Provided
C Unless
3 'If you watch the news, you … a lot.'
'I know. I watch it every day.'
A learn
B were learning
C would learn
4 '… you wear warm clothes, you won't get cold.'
'I'll wear an extra jumper.'
A Unless
B Providing
C Supposing
5 'Shall I invite John to the party?'
'Well, were I you, I … him.'
A would invite
B will invite
C am inviting
6 '… the teacher comes back now, what will you do?'
'I don't know.'
A When
B Providing
C Supposing
7 'Could I see the menu, please?'
'Yes, sir. If you … a seat, I will fetch it for you.'
A take
B had taken
C have taken
8 'Don't cry. Everything will be alright.'
'Yes, but if I … the bus, I wouldn't have been late for school.'
A didn't miss
B hadn't missed
C don't miss
9 'When water boils, it … steam.'
'Yes, I know; and the steam is hot, too.'
A would produce
B produce
C produces
10 'Can you help me, please?'
'Well, if I wasn't studying, I … you.'
A would help
B help
C will help
11 'John crashed his car yesterday.'
'I know, but if he hadn't been changing the cassette, he …'
A won't crash

B wouldn't crash
C wouldn't have crashed
12 'Can I have some chocolate, please?'
'If you behave yourself, I you some later.'
A would buy
B might buy
C buy
13 'Should you see Colin … and tell me.'
'I will.'
A come
B to come
C will come
14 'If we were rich, we … expensive clothes.'
'Well, unfortunately we aren't rich!'
A could afford
B can afford
C afford

9. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 If I ...were... (be) you, I wouldn't drive in the snow.
2 Peter … (be able to) help you if he was here.
3 If I had closed the window, the cat … (not/jump) out.
4 I … (call) for help if I got stuck in a lift.
5 Had I known him, I … (talk) to him.
6 John … (may/lose) his job if he is rude to the boss.
7 If you … (save) some money, you would have been able to go on holiday last year.
8 You may win if you … (take) part in the contest.
9 If I had toothache, I … (go) to the dentist.
10 They would have helped us move house if we … (ask) them.
11 If Jane … (be) older, she could live by herself.
12 We would have changed our plans if we … (hear) the weather forecast.
13 Emma … (send) a card if she had remembered it was their anniversary.
14 Robert … (feel) better if you talked to him.
15 If Sam was still living nearby, you … (can/invite) him for dinner.
16 If you … (put) your money in your wallet, you will not lose it.
17 If you … (like) chocolate, you will love this cake.
18 If Bill … (come) home early, he will eat dinner with us.
19 Sandra will join us later unless she … (have) a lot of work to do.

10. Fill in the gaps using when or if.

1 A: Have you phoned Paul yet?
B: No, I'll phone him ...when... I get home.
2 A: … I get a new job soon, I may have a party.
B: That's a good idea.
3 A: I really liked that dress we saw.
B: Well, you can buy it … you get paid.
4 A: Shall we go somewhere this weekend?
B: Yes … it's sunny, we could go to the beach.
5 A: Did you make this cake yourself?
B: Yes … you like it, I'll give you the recipe.
6 A: Is Jane still asleep?
B: Yes … she wakes up, I'll tell her you're here.

7 A: Have you done your homework?
B: No. I'll do it … we've finished dinner.
8 A: We've run out of milk.
B: Well, … I go to the shops, I'll buy some more.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры

Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Юсупова Л. Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 19.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

горно-механического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям……... 3
1.1 Повторение материала практических занятий……..... 3
1.2 Чтение и перевод учебных текстов……. 42
1.3 Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций) ..……..... 60
1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения) ……. 73
1.5 Подготовка к контрольной работе 73

II. Другие виды самостоятельной работы……. 73
2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания:
2.1.1 Подготовка к ролевой игре……. 73
2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию ……. 74
2.1.3 Подготовка к опросу …… 75
2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного……. 75
2.3 Подготовка доклада…….. 94
2.4 Подготовка к тесту……..... 95
2.5 Подготовка к экзамену…….. 99

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям

1. Повторение материала практических занятий

Практические занятия направлены на развитие умений иноязычного говорения в рамках заданных РПД тем: бытовая сфера общения (Я и моя семья); учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование); социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир); профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность).

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern

Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world's largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o'clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don't like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul's Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It's the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent's Park. The last one is the home of London Zoo.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth's surface and on its surface.

2. Petrology which studies the rocks of the Earth.

3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.

4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.

5. Historic Geology which treats of the Earth's history.

6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.

7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

Практические занятия направлены также на формирование грамматического навыка по темам: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №1:

Таблица №1

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435

Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

Повторите материал практических занятий!

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	**II**	**III Дополнение**			**IV Обстоятельство**
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.
Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?
Примеры с модальными глаголами:
She can drive a car. – Она умеет водить машину.
Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.
Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?
Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not
Например: Are you a student? - Ты студент?
Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.
Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.
Специальные вопросы могут начинаться словами:
who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?
when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?
how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?
how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:
What are you reading? Что ты читаешь?
What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.
When will he come back? – Когда он вернется?
What did he do it for? Зачем он это сделал?
Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?
Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: ”Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?”, например:
What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)
what - что (для неодушевленных существительных)
The teacher read an interesting story to the students yesterday.
Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:

You speak French, don't you? You are looking for something, aren't you? Pete works at a plant, doesn't he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:

It is not very warm today, is it? John doesn't live in London, does he?

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему
she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас

they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother –** брат **father –** отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы** - **основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some		**something –** *что-то, что-нибудь*
any		**anything -** *что-то, что-нибудь*
	thing	
no		**nothing -** *ничего, ничто*

every	**everything -** *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone –** *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone -** *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one -** *никого, никто*
every	**everybody /everyone –** *все, каждый*
Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*	

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere -** *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere -** *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.	
many girls - *много девочек* **many boys -** *много мальчиков* **many books -** *много книжек*	**much snow -** *много снега* **much money -** *много денег* **much time -** *много времени*
How many? **How much?** } **сколько?**	**How many girls? -** *Сколько девочек?* **How much sugar? -** *Сколько сахара?* **How much sugar? -** *Сколько сахара?*
a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, и с неисчисляемыми существительными a lot без (of) используется и без существительного. **Сравните**: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.* He writes **a lot.** *Он много пишет.*	girls – много девочек **a lot of** sugar - много сахара
<u>В утвердительных</u> предложениях используйте **a lot of.** <u>В отрицательных</u> и в вопросительных **many/much,** **Сравните:** (+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*. (-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?* Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":** Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.	

Few, little, a few, a little
С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало), а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг **few girls -** мало девочек **few boys -** мало мальчиков	**little time -** мало времени **little money -** мало денег **little snow -** мало снега
little **few** } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** **a few** } **немного (т.е. пока хватает)**

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	**Возвратное местоимение**	**Пример**	**Перевод**
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	**Примеры**	**Перевод**
определяет неисчисляемые	He spent **all his** time fishing on the	Он провел все свое время,

существительные	lake**.**	ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I've got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You've got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч. (Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)

the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики
2) согласная **+** y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):

This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It's a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**'s**	**bird's house** **child's ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**'s**	**children's bail** **women's rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**'**	**girls' toy** **birds' house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother's book - мамина книга,

this girl's bail - мячик девочки,

the bird's house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово "an hour" (час) начинается с согласной буквы "h", но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю "a" также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)

- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise! Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth

с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner	The table is in the middle of the room.
in the morning, In the evening, in the afternoon	I never drink coffee in the evening.
what's the use?	What's the use of going there so late?
to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	Do you like going to the theatre? He works at the shop.
at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market	The fact is that I have no money at all. Where is the doctor?
the fact is (was) that...	We always spend summer in the country.
where is the…?	
in the country, to the country	

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание "no"	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.

с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc НО: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James' Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное местоимение	what animals can swim? I know what thing you have lost!

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты:

His son goes to school. Его сын учится в школе.

She has written an interesting article. Она написала интересную статью.

A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:

"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.

Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:

Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.

He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?
I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.

Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.

В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?

She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.

Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.

It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)

There are three books on the desk.

They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.

There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.

This is the same town fifty years ago.

There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.
б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.
в) в следующих высказываниях: I've got a headache. I've got a temperature. I've got a cough, I've got a toothache, I've got a cold, I've got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Have they (got)?
They have (got)	They've (got)	They have not (got)	They haven't (got)	

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе

ни приставок, ни суффиксов: small - *маленький***, long -** *длинный***, white -** *белый***.**
К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	Пример	Перевод
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting -** интересный
bored - скучающий	**boring -** скучный
surprised - удивленный	**surprising -** удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**
Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:
- положительная степень сравнения (**Positive Degree**);
- сравнительная степень сравнения (**Comparative Degree**);
- превосходная степень сравнения (**Superlative Degree**).

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и

превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке **-** добавляем "е" (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er -** холоднее	the cold**est -** самый холодный
big - большой	bigg**er -** больше	the bigg**est -** самый большой
kind - добрый	kind**er -** добрее	the kind**est -** самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
clever — умный	clever**er - умнее**	**the** clever**est - самый умный**
easy - простой	eas**ier - проще**	**the** easi**est - самый простой**
able - способный	abl**er - способнее**	**the** abl**est - самый способный**
busy - занятой	bus**ier - более занятой**	**the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **"e" ,** то при прибавлении **– er и – est немое "e" опускается:**

large **– large r - the** large **st /** большой – больше – самый большой

brave **– brave r – the** brave **st /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – bigg**er –** bigg**est /** большой – больше – самый большой

hot – hott**er –** hott**est /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thinn**er –** thinn**est /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на "y" с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **"y" переходит в "i":**

busy – bus**ier –** bus**iest / занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful - красивый	**more beautiful -** красивее	**the most beautiful** - самый красивый
interesting – интересный	**more interesting -** интереснее	**the most interesting** - самый интересный
important - важный	**more important -** важнее	**the most important** - самый важный

Особые формы

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

good - хороший **bad -** плохой **little -** маленький **much/many -** много **far -** далекий/далеко **old -** старый	**better -** лучше **worse -** хуже **less -** меньше **more -** больше **farther/further -** дальше **older/elder -** старше	**the best -** самый лучший **the worst -** самый плохой **the least -** самый маленький, меньше всего **the most -** больше всего **the farthest/furthest -** самый дальний **the oldest/eldest -** самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful – красивый **interesting -** интересный **important -** важный	**less beautiful -** менее красивый **less interesting –** менее интересный **less important -** менее важный	**the least beautiful –** самый некрасивый **the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **"of":**

hundreds of children – сотни детей

thousands of birds- тысячи птиц

millions of insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:
224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],
Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.

Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn't use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday

afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,
They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,
She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,
Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock*.

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Практическая работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: модальные глаголы и их эквиваленты, образование видовременных форм глагола в пассивном залоге, основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь, неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий, основные сведения о сослагательном наклонении.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице:

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Модальные глаголы и их эквиваленты	295	47
Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге	236	71, 115
Основные сведения о согласовании времён	323-328	269
Прямая и косвенная речь	324	268
Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий	311-322	132, 162, 173, 192, 193
Основные сведения о сослагательном наклонении	329	224

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play

		football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника)

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)
This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)
Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)
Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.
My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.
to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.
to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:
Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.
б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить
to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять
to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить
to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать
to teach учить to tell сказать и др.
Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.
Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)
A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:
John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.
The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):
He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать
to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать
to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:
He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:
The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:
The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:
The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)
The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:
The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:
The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:
He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:
I am invited to a party.
Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):
Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.
Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.
I was told that you're ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):
They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:
The experiments were made last year.
1) Опыты были проведены в прошлом году.
2) Опыты проводились в прошлом году.
3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:
It is said… Говорят… It was said… Говорили…
It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…
It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.
Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я

		пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать

to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть
Например:
He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.
Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая

having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),
keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать),
look like (выглядеть как), object to (возражать против),
persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от),
rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в),
suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо),
be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо),
be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо),
be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо),
be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо),
be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо),
be used to (привыкать к).

I’m tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

2. Чтение и перевод учебных текстов (по 2 текста на тему)

№1

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

appear - v появляться; казаться; *ant* **disappear -** исчезать

bed - *n* пласт, слой, подстилающие породы; *syn* **layer, seam; bedded -** *a* пластовый

call for - v требовать; *syn* **demand, require**

carry out - v проводить *(исследование, эксперимент);* выполнять *(план);* завершать; *syn* **conduct, make**

colliery - каменноугольная шахта

concentration (dressing) plant - обогатительная фабрика, обогатительная установка

department - *n* отделение, факультет, кафедра; *syn* **faculty**

direct - v руководить; направлять; управлять; *a* прямой, точный; **directly -** *adv* прямо, непосредственно

education - *n* образование; просвещение; **get an education** получать образование

establish - v основывать, создавать, учреждать; *syn* **found, set up**

ferrous metals - чёрные металлы (**non-ferrous metals** цветные металлы)

iron - *n* железо; **pig iron** чугун; **cast iron** чугун, чугунная отливка

open-cast mines - открытые разработки

ore - *n* руда; **iron ore -** железная руда; **ore mining –** разработка рудных месторождений

process - v обрабатывать; *syn* **work, treat; processing -** n обработка; разделение минералов

rapid - *a* быстрый

research - *n* научное исследование

technique - *n* техника, способ, метод, технический прием; **mining technique -** горная техника, методы ведения горных работ

train - v обучать, готовить *(к чему-л.);* **training** - обучение; подготовка

to be in need of - нуждаться в

to take part in - участвовать в

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 1: The First Mining School in Russia

The Moscow Mining Academy was established in 1918. The main task of the Academy was to train mining engineers and technicians, to popularize technological achievements among miners, to work on important problems of mining and metallurgical engineering arid to direct scientific research.

There were three departments in the Academy: mining, geological prospecting and metallurgy. The Moscow Mining Academy introduced a new course in coal mining mechanization which provided the basis for the development of mining engineering. The two scientists A.M. Terpigorev and M.M. Protodyakonov wrote the first textbook on machinery for mining bedded deposits.

Much credit for the establishment of the Moscow Mining Academy and the development of co-operation among outstanding scientists and educators is due to Academician I.M. Gubkin, a prominent geologist and oil expert.

In 1925 the Moscow Mining Academy was one of the best-known educational institutions in Russia. It had well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of Russian and foreign scientific books and journals.

The Academy established close contacts with the coal and ore mining industries. The scientists carried out scientific research and worked on important mining problems.

The rapid growth of the mining industry called for the training of more highly-qualified specialists and the establishment of new educational institutions.

New collieries and open-cast mines, concentration plants, metallurgical works and metal-working factories for processing non-ferrous and ferrous metals appeared in the country. The people took an active part in the construction of new industrial enterprises.

The Academy alone could not cope with the problem of training specialists. In 1930 the Moscow Mining Academy was transformed into six independent institutes. Among the new colleges which grew out of the Academy's departments were the Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting. Later, the scientific research Institute of Mining appeared near Moscow.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. There were four departments in the Academy.
2. The Academy introduced a new course in coal mining mechanization.
3. In 1925 the Academy had only several well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of books.
4. The Academy established close contacts with the coal industry.
5. In 1930 the Academy was transformed into six independent institutes.
6. The Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting were among the new colleges which grew out of the Academy's departments.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What was the main task of the Academy?
2. What new course did the Academy introduce?
3. Were there three or four departments at the Academy?
4. What industries did the Academy establish contacts with?
5. Who wrote the first textbook on machinery' for mining bedded deposits?
6. Why was the Academy transformed into six independent institutes?
7. Why was the Academy transformed?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) обогатительная фабрика
б) подготовка горных инженеров
в) разведка нефти
г) обработка цветных металлов

д) техническое образование
е) новый (учебный) курс по
ж) принимать активное участие
з) проводить исследования
и) направлять научную деятельность
к) горное оборудование
л) пластовые месторождения

№2

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

change - v изменяться, менять(ся); *syn.* **transform, alter;** *n* изменение, перемена; превращение

determine - v определить, устанавливать

engineering - *n* техника; технология; машиностроение**;** *syn.* **technics, technology, technique; machinery**

composition - *n* структура, состав

connect - v соединяться; *syn* **combine, link**

enterprise - *n* предприятие; предприимчивость

deal (dealt) v **(with) -** иметь дело с; рассматривать

environment - *n* окружающая обстановка**,** среда

demand - *n* спрос

field - *n* область, сфера деятельности; поле, участок, месторождение; бассейн; *syn* **basin, branch**

design - *n* проект; план, чертеж; конструкция; v проектировать, планировать; конструировать

graduate - v окончить (высшее учебное заведение), *амер.* окончить любое учебное заведение; *n* лицо, окончившее высшее учебное заведение; **undergraduate (student) -** студент последнего курса; **postgraduate (student) -** аспирант; **graduation paper -** дипломная работа

hardware - *n* аппаратура, (аппаратное) оборудование, аппаратные средства; техническое обеспечение

hydraulic - *a* гидравлический, гидротехнический

introduction - *n* введение, вступление

management - *n* управление, заведование; *syn.* **administration; direction**

offer - *v* предлагать *(помощь, работу);* предоставлять; *n* предложение

property - *n* свойство

protection - *n* защита, охрана

range - *n* область, сфера; предел; диапазон; радиус действия; ряд; серия

recreation - *n* отдых, восстановление сил; развлечение

reveal - v показывать, обнаруживать

rock - *n* горная порода

shape - *n* форма

software - *n* программное обеспечение; программные средства

skill - *n* мастерство; умение; **skilled -** *a* квалифицированный; опытный; умелый

survey - *n* съемка, маркшейдерская съемка; v производить маркшейдерскую или топографическую съемку, производить изыскания; *n* **surveying** съемка, маркшейдерские работы

value - *n* ценность, стоимость; величина; v ценить, оценивать; **valuable** *a* ценный

workshop - *n* мастерская, цех; семинар

to be of importance - иметь значение

to give an opportunity of - дать возможность

to meet the requirements - удовлетворять требованиям (потребности)

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 2: Mining and Geological Higher Education in Russia

In Russia young people get mining education at special institutes which train geologists and mining engineers for coal and ore mining. The total number of students of an institute includes full-time students, part-time students and postgraduate students.

Russian higher educational establishments offer different specializations for the students. Thus, at the geological institutes, the students specialize in geology, the science which deals with different problems connected with the Earth, its history, the study of rocks, their physical and chemical properties. One of the main tasks of geology is to prospect, discover and study the deposits of useful minerals.

Geology is both a theoretical and an applied science. Mining geology is of great importance to the mining engineer. As a rule, mining geology includes economic geology.

The outstanding Russian geologist V.A. Obruchev says that geology is the science of the Earth which reveals to us how the Earth took shape, its composition and its changes. Geology helps prospect for ores, coal, oil, salt and other useful minerals.

Higher mining schools (universities, academies, institutes and colleges) develop a wide range of courses and programmes that meet the requirements of the society .They offer courses in mining technology, machinery and transport, hydraulic engineering, electrical engineering, industrial electronics, automation, surveying, geodesy, information technology, etc.

The main trend in the development of higher mining education is the introduction of courses in environmental protection, management (environmental human resources), economics and management of mining enterprises, marketing studies, computer-aided design (CAD) and others.

Computer science is also of great importance. The course aims at providing students with understanding how software and hardware technology helps solving problems.

Laboratory work is an important part in training specialists. Experiments in laboratories and workshops will help students to develop their practical skills. They have a short period of field work to gain working experience.

The students go through practical training at mines, plants and other industrial enterprises.. They become familiar with all stages of production and every job from worker to engineer. Here they get practical knowledge and experience necessary for their diploma (graduation) papers.

A lot of students belong to students' scientific groups. They take part in the research projects which their departments usually conduct. Postgraduates carry out research in different fields of science and engineering.

Sport centres give the students opportunities to play different sports such as tennis, football, basketball, volleyball, swimming, ' skiing, water polo, boxing, wrestling and others.

Students graduate from mining and geological higher schools as mining engineers, mining mechanical engineers, ecologists, mining electrical engineers, geologists, economists and managers for mining industry.

1. Переведите следующие сочетания слов.

а) широкий круг проблем
б) денные месторождения полезных ископаемых
в) горный инженер-механик
г) вести научно-исследовательскую работу
д) принимать форму
е) техническое и программное обеспечение
ж) студенты (последнего курса)
з) дипломная работа
и) физические и химические свойства
к) месторождение полезных ископаемых

1. оканчивать институт
2. поступать в университет
3. получать образование

4. готовить геологов и горних инженеров
5. высшие горные учебные заведения
6. приобретать опыт
7. студенческие научные общества
8. заниматься различными видами спорта

№3

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accurate - *a* точный, правильный; **accuracy -** *n* точность

archive - *n* архив

attend - v посещать *(лекции, практические занятия, собрания)*

comprehensive - *a* всесторонний, исчерпывающий

concern - v касаться, относиться; иметь отношение к чему-л.; *n* дело, отношение; важность; **concerning** *prep* относительно, касательно

consider - v рассматривать; считать; **considerable -** значительный, важный; **consideration -** *n* рассмотрение; обсуждение

draw (drew, **drawn**) - v *зд,* чертить, рисовать; **draw the conclusion** делать вывод; *syn* **come to the conclusion**

employ - v применять, использовать; предоставлять *(работу); syn* **use, utilize, apply; employment -** *n* служба; занятие; применение, использование

familiarize - v знакомить; осваивать

fundamental - *n pl* основы *(наук)*

levelling - *n* нивелирование, сглаживание *(различий);* выравнивание

number - *n* число, количество, большое количество; *(порядковый)* номер, ряд

observe - v наблюдать, следить *(за чём-л.),* соблюдать *(правило, обычаи)*

obtain - v получать; достигать; добывать; *syn* **get, receive**

present - v преподносить, дарить; подавать, представлять; **presentation -** *n* изложение; предъявление

proximity - *n* близость, соседство; **in proximity to** поблизости, вблизи от *(чего-л.)*

require - v требовать; *syn* **call for; demand; meet the requirements** удовлетворять требованиям

traversing - *n* горизонтальная съемка

to keep in close touch with - поддерживать связь с

to touch upon (on) затрагивать, касаться вкратце *(вопроса)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 3: Mining Education in Great Britain

In Great Britain the students get mining education at special colleges and at mining departments of universities.

For example, the Mining Department at the University of Nottingham ranks as one of the foremost teaching and research mining schools in Great Britain. The students come to the University from all parts of the country and from abroad. The close proximity of Nottingham to mines extracting coal and different metals makes it possible for the University to keep in close touch with new achievements in mining.

The aim of training at the University is to give the student an understanding of applied science based on lectures, tutorial system, laboratory work and design classes. The laboratory work trains the student in accurate recording of observations, drawing of logical conclusions and presentation of scientific reports. Besides, it gives the student an understanding of experimental methods and familiarizes him (or her) with the characteristics of engineering materials, equipment and machines.

At Nottingham there are two types of laboratories, general and Specialized. General laboratories deal with the fundamentals of engineering science and specialized ones1 study the more specialized problems in different branches of engineering.

During the final two years of his course the student gets a comprehensive training in surveying. Practical work both in the field and in drawing classes forms an important part of this course. Besides, the students have practical work in survey camps during two weeks. The equipment available for carrying out traversing, levelling, tacheometric and astronomical surveying is of the latest design.

The practical and laboratory work throughout the three or four years of study forms a very important part of the course, so the students obtain the required standard in their laboratory course work before they graduate.

British educational system is fee-paying. The annual fee includes registration, tuition, examination, graduation and, in the case of full-time students, membership of the Union of Students.

Students from all over the world (nearly 100 countries) study at the University of Nottingham. For many years the University has had a thriving community of international students.

The University pays much attention to learning foreign languages. For individual study there is a 16-place self-access tape library with a tape archive of 3,000 tapes in 30 languages. There are also 16 video work stations where the students play back video tapes or watch TV broadcasts in a variety of languages.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. In Great Britain the students can get mining education only at special colleges.
2. The training at universities is based on tutorial system.
3. The laboratory work familiarizes the student with modern equipment.
4. There are three types of laboratories at the University of Nottingham.
5. When the students study surveying, they have practical work both in the field and in drawing classes.
6. The students from abroad don't study at Nottingham.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Where can one get mining education in Great Britain?
2. Is the Mining Department at the University of Nottingham one of the foremost research mining schools in Great Britain?
3. What makes it possible for the University to keep in close touch with the, achievements in mining?
4. What are the students supposed to do in the laboratories?
5. Will the students have practical work in survey camps or in the laboratories?
6. What do the students use surveying equipment for?
7. What can you say about studying foreign languages at the University?

№4

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advance - *n* прогресс, успех; продвижение вперед; v делать успехи, развиваться, продвигаться вперед; **advanced courses** курсы по расширенной программе

authority - *n* администрация; начальство

differ - v (from) отличаться (от); **difference** *n* различие; разница; **different** *a* различный; *syn* **various**

excavate - v добывать *(уголь);* вырабатывать полезное ископаемое открытым способом; вынимать *(грунт);* **excavation** - *n* открытая разработка карьером; разрез, карьер; **surface excavation** открытая разработка; *syn* **open-cast (opencast)**

experience - *n* жизненный опыт; опыт работы; стаж

found - v основывать**; *syn* establish, set up; foundation -** *n* основание; учреждение; основа; **lay the foundation** положить начало чему-л , заложить основу чего-л.

manage - v управлять, заведовать, справляться, уметь обращаться; **management -** *n* управление, заведование; правление, дирекция; **management studies -** наука об управлении

mean (meant) - *v* значить, иметь значение, подразумевать; намереваться, иметь в виду; **means -** *n, pl* средства, **meaning -** *n* значение, **by means of** посредством (чего-л)

metalliferous – *a* содержащий металл, рудоносный

preliminary - *a* предварительный**; preliminary course** подготовительные курсы

realize - v представлять, себе; понимать *(во всех деталях); **syn*** **understand**

recognize - *v* признавать; узнавать

work out -v разрабатывать *(план);* решать задачу

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 4: Mining Education in Great Britain (continued)

At present in Great Britain there are a number of universities and colleges which give instruction in mechanical engineering, mining, metallurgy, etc. These institutions provide full-time and part-time education. It should be noted that technical colleges confer diplomas' on college graduates.

A university graduate leaves with the degree of Bachelor of Arts or Bachelor of Science, which is an academic qualification awarded by universities.

For example, the University in Cardiff has become one of the largest in Wales. It is one of the four colleges which together with the Welsh National School of Medicine form the University of Wales. There is the Mining Engineering Department in the University of Wales. The Department deals with the whole range of extractive industries such as coal and metalliferous mining, quarrying and oil technology.

After graduating from the college a student can be recommended for entry to the university by a college authority and he can apply for admission to the university.

At the Mining Department students may take several courses such as geology, mining engineering, mine surveying, quarrying, management studies and others. It has become a tradition that the courses are based on an intensive tutorial system. It means that students are allotted to members of the teaching staff for individual tuition separately in mining, in quarrying and in mine surveying. The system is founded on that of the older universities of Great Britain.

At the Department of Mining Engineering of the Newcastle University mining has now become a technically advanced profession. The Department of Mining Engineering trains industrially experienced engineers through various advanced courses in rock mechanics and surface excavation. For many years the Mining Engineering Department at Newcastle has recognized the need for highly-qualified engineers and realized that the courses in rock mechanics and surface excavation are of great importance for mining engineers.

At the University a student studies for three or four years. The organization of the academic year is based on a three-term system which usually runs from about the beginning of October to the middle of December, from the middle of January to the end of March and from the middle of April to the end of June or the beginning of July.

Students course is designed on a modular basis. Modules are self-contained 'units' of study, which are taught and assessed independently of each other. When a student passes a module, he (she) gains a credit. All modules carry a number of credits. At the end of the term, the number of credits a student gets, determines the award he (she) receives. Each module is continuously assessed by coursework and/or end-of-term examinations.

Admission to the British universities is by examination and selection. The minimum age for admission to the four-year course is normally 18 years. Departments usually interview all the candidates. The aim of the interview is to select better candidates.

Just over half of all university students live in colleges, halls of residence, or other accommodation provided by their university, another third lives in lodgings or privately rented accommodation; and the rest live at home.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. At present there are about a hundred technical institutions in Great Britain.
2. It should be noted that British colleges confer degrees.
3. As a rule a college authority recommends the graduates for entry to the university.
4. At the Mining Engineering Department of the University of Wales the students study only metalliferous mining.
5. At the Mining Engineering Department the courses are based on an intensive tutorial system.
6. The Mining Engineering Department at the Newcastle University has recognized the importance of teaching rock mechanics and surface excavation (open-cast mining).

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Are there many technical institutions in Great Britain?
2. What is the difference between colleges and universities?
3. Is the Mining Engineering Department the only one in the University of Wales?
4. Does the Mining Engineering Department deal only with metalliferous mining?
5. Can a student enter the university after he has graduated from the college?
6. What courses are of special importance for mining engineers?
7. What do you know about the organization of the academic year at British universities?
8. When do the students take their examinations?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) курсы по расширенной программе
б) рудоносные отложения
в) средства производства
г) горный факультет
д) открытые горные работы
е) опытный инженер
ж) администрация колледжа
з) поощрять студентов
и) отвечать требованиям университета
к) наука об управлении

1. зависеть от условий
2. значить, означать
3. признать необходимость (чего-л.)
4. ежегодная производительность (шахты)
5. начальник шахты
6. добывающая промышленность
7. представлять особую важность
8. механика горных пород
9. единственный карьер
10. основывать факультет (школу, систему и т.д.)

№5

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный
adjacent - *a* смежный, примыкающий
ash - *n* зола
belt - *n* пояс; лента; ремень
body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты
common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**
cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**
dust - *n* пыль
dyke – *n* дайка
extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*
fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines -** *n pl* мелочь; мелкий уголь
flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 5: Igneous Rocks

Igneous rocks have crystallized from solidified magma.

Igneous rocks can be classified in a number of ways and one of (hem is based on mode of occurrence. They occur either as intrusive (below the surface) bodies or as extrusive masses solidified at the Earth's surface. The terms "intrusive" and "extrusive" refer to the place where rocks solidified.

The grain size of igneous rocks depends on their occurrence. The intrusive rocks generally cool more slowly than the extrusive rocks and crystallize to a larger grain size. The coarser-grained intrusive rocks with grain size of more than 0.5 mm called plutonic or abyssal are referred to as intrusive igneous rocks because they are intruded into older pre-existing rocks. Extrusive or volcanic rocks have even finer grains, less than 0.05 mm and are glassy.

Exposed igneous rocks are most numerous in mountain zones for two reasons. First, the mountain belts have been zones of major deformation. Second, uplifts in mountain belts have permitted plutonic masses to be formed.

The largest bodies of igneous rocks are called batholiths. Batholiths cooled very slowly. This slow cooling permitted large mineral grains to form. It is not surprising that batholiths are composed mainly of granitic rocks with large crystals called plutons. As is known, granites and diorites belong to the group of intrusive or plutonic rocks formed by solidification of igneous mass under the Earth's crust. Granites sometimes form smaller masses called stocks, when the occurrence has an irregular shape but smaller dimensions than the batholiths.

Laccoliths and sills, which are very similar, are intruded between sedimentary rocks. Sills are thin and they may be horizontal, inclined or vertical. Laccoliths are thicker bodies and in some cases they form mountains.

Dykes are also intrusive bodies. They range in thickness from a few inches to several thousand feet. Dykes are generally much longer than they are wide. Most dykes occupy cracks and have straight parallel walls. These bodies cool much more rapidly and are commonly fine-grained. For example, granite may occur in dykes that cut older rocks.

Pegmatites (quartz, orthoclase and mica) also belong to the group of plutonic or intrusive rocks. They occur in numerous veins which usually cut through other plutonites, most often granite, or adjacent rocks.

Extrusive igneous rocks have been formed from lava flows which come from fissures to the surface and form fields of volcanic rocks such as rhyolite, andesite, basalt, as well as volcanic ashes and dust, tuff, etc. As a rule, these rocks of volcanic origin cool rapidly and are fine-grained. It is interesting to note that basalt is the most abundant of all lavatypes. It is the principal rock type of the ocean floor.

Igneous rocks are rich in minerals that are important economically or have great scientific value. Igneous rocks and their veins are rich in iron, gold, zinc, nickel and other ferrous metals.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Igneous rocks have been formed by sedimentation.
2. Intrusive rocks have been formed by the cooling of rocks of the Earth's crust.
3. Extrusive rocks have been formed the same way.
4. The grain size of igneous rocks depends on mode of occurrence.
5. Exposed igneous rocks are numerous in mountain zones.
6. Granites and diorites belong to the group of extrusive rocks.
7. As a rule, granite may occur in dykes.
8. Pegmatites do not belong to the group of plutonic or intrusive rocks.

2). Ответьте на вопросы:

1. Have igneous rocks crystallized from magma or have they been formed by sedimentation?
2. Which types of igneous rocks do you know?
3. What does the grain size of igneous rocks depend on?
4. Can you give an example of intrusive or plutonic rocks?
5. Are diorites intrusive or extrusive formations?
6. What do you know about batholiths?
7. Do pegmatites belong to the group of plutonic or volcanic rocks?
8. How do pegmatites occur?
9. What minerals are igneous rocks rich in?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	adjacent layers	а) способ залегания
2.	abyssal rocks	б) крупнозернистый
3.	dimensions of crystals	в) зоны крупных нарушений
4.	valuable minerals	г) абиссальные (глубинные) породы
5.	shape and size of grains	д) смежные пласты (слои)
6.	mode of occurrence	е) размеры кристаллов
7.	coarse-grained	ж) взбросы
8.	uplifts	з) форма и размер зерен
9.	zones of major deformation	и) ценные минералы

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1.	затвердевшие массы	а) irregular shape
2.	обломочные породы	б) at a certain depth
3.	медленно остывать	в) economically important
4.	мелкозернистый	г) solidified masses
5.	многочисленные трещины	д) scientific value
6.	неправильная форма	е) to cool slowly
7.	на определенной глубине	ж) existing types of rocks
8.	экономически важный	з) fine-grained
9.	научная ценность	и) fragmentary rocks

10. существующие типы пород к) numerous cracks or fissures

№6

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated -** *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation -** *n* отношение; **relationship -** *n* родство; свойство; **relative -** *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 6: Metamorphic Rocks

The problem discussed concerns metamorphic rocks which compose the third large family of rocks. "Metamorphic" means "changed from". It shows that the original rock has been changed from its primary form to a new one. Being subjected to pressure, heat and chemically active fluids beneath the Earth's surface, various rocks in the Earth's crust undergo changes in texture, in mineral composition and structure and are transformed into metamorphic rocks. The process described is called metamorphism.

As is known, metamorphic rocks have been developed from earlier igneous and sedimentary rocks by the action of heat and pressure.

Gneisses, mica schists, phyllites, marbles, slate, quartz, etc. belong to the same group of rocks. Having the same mineral composition as granite, gneisses consist chiefly of quartz, orthoclase and mica. However unlike granite, they have a schistose structure. It means that their constituents are distributed in bands or layers and run parallel to each other in one direction. If disturbed the rock cleaves easily into separate plates.

The role of water in metamorphism is determined by at least four variable geologically related parameters: rock pressure, temperature, water pressure, and the amount of water present.

During a normal progressive metamorphism rock pressure and temperature are interdependent, and the amount of water and the pressure of water are related to the sediments and to the degree of metamorphism in such a way that, generally speaking, the low-grade metamorphic rocks are

characterized by the excess of water. The medium-grade rocks defined by some deficiency of water and the high-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.

Many of the metamorphic rocks mentioned above consist of flaky materials such as mica and chlorite. These minerals cause the rock to split into thin sheets, and rocks become foliated.

Slate, phyllite, schist and gneiss belong to the group of foliated metamorphic rocks. Marble and quartzite are non-foliated metamorphic rocks.

The structure of metamorphic rocks is of importance because it shows the nature of pre-existing rocks and the mechanism of metamorphic deformation. Every trace of original structure is of great importance to geologists. It gives an opportunity of analysing the causes of its metamorphism.

Being often called crystalline schists, metamorphic rocks such as gneisses and mica have a schistose structure. Metamorphic rocks represent the oldest portion of the Earth's crust. They are mostly found in the regions of mountain belts where great dislocations on the Earth once took place.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Generally speaking, metamorphic rocks have been developed from ores.
2. Marble, slate and phyllite belong to the group of metamorphic rocks.
3. As is known, unlike granite metamorphic rocks have a schistose structure.
4. It is quite obvious that the role of water in metamorphism is great.
5. As a rule, low-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.
6. Flaky materials cause the rock to split into thin sheets.
7. It should be noted that marble and quartzite are foliated metamorphic rocks.
8. The structure of metamorphic rocks shows the nature of older preexisting rocks and the mechanism of metamorphic deformation as well.
9. All metamorphic rocks are non-foliated.

2). Ответьте на вопросы:

1. Do you know how metamorphic rocks have been formed?
2. Which rocks belong to the group of metamorphic?
3. Does gneiss have the same structure as granite?
4. Is the role of water great in metamorphism?
5. What rocks do we call foliated? What can you say about non-foliated metamorphic rocks?
6. How can geologists trace the original structure of metamorphic rocks?
7. Why are metamorphic rocks often called crystalline schists?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. as a result of the chemical and physical changes
2. constituents of rocks
3. to be subjected to constant development
4. to undergo changes
5. excess of water
6. low-grade ores
7. coal band
8. to cleave into separate layers
9. traces of original structure
10. generally speaking

а) полоса (или прослоек) угля
б) составляющие пород
в) расщепляться на отдельные слои
г) вообще говоря

д) в результате химических и физических изменений
е) избыток воды
ж) изменяться
з) находиться в постоянном развитии
и) низкосортные руды
к) следы первоначальной структуры

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. иметь значение
2. упомянутые выше
3. сланцеватая структура
4. в отличие от гранита
5. недостаток воды
6. существовавшие ранее породы
7. слоистые породы
8. мрамор и сланец
9. гнейс
10. давать возможность
11. определять структуру

а) unlike granite
б) to be of importance
в) pre-existing rocks
г) mentioned above
д) schistose structure
е) to give an opportunity (of doing smth)
ж) to define (determine) rock texture
з) deficiency of water
и) flaky rocks
к) marble and slate
л) gneiss

№7

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling -** *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (**drore**, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory -** *a* разведочный; **exploration -** *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening -** *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved -** *a* разведанный, достоверный; **proving -** *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable -** *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working -** *n* разработка, горная выработка

country rock коренная (основная) порода

distinctive properties отличительные свойства

malleable metal ковкий металл

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 7: Prospecting

Mining activities include prospecting and exploration for a mineral deposit through finding, proving, developing, extracting and processing the ore. That is why it is possible to divide the mining activity into three major phases: 1) before mining which involves prospecting and exploration required to locate, characterize and prove a potential ore body; 2) mining which refers to actual coal or ore extraction. Extraction processes include underground or surface mining and dredging; 3) after mining which involves processing and preparing the raw ore for the end product.

As has already been said, before a mineral deposit can be worked, that is, before it can be extracted from the Earth for use by man, it must first be found. The search for economically useful mineral deposits is called prospecting. To establish the quality and quantity of a mineral deposit, the type of country rock, etc. means to prove it and this process is called proving. Prospecting and proving are only two different stages of mining geological exploration, the latter includes drilling and driving of openings.

Last century prospectors looked for visible evidence of mineralization on the surface of the Earth. To recognize valuable minerals it was necessary to know their various distinctive physical properties. For example, gold occurs in nature as a heavy malleable yellow metal. -Galena, the most important mineral containing lead, is dark grey, heavy and lustrous. The first ores of iron to be mined were deposits of magnetite, a black heavy mineral capable of attracting a piece of iron.

As the deposits of mineral that cropped out at the surface were mined, the search for additional supplies of minerals took place. The science of geology was used to explain the occurrence of ore deposits.

The aim of geological prospecting is to provide information on a preliminary estimation of the deposit and the costs of the geological investigations to be made. It also indicates whether it is available to continue the exploration or not.

Prospecting work includes three stages: 1) finding signs of the mineral; 2) finding the deposit; 3) exploring the deposit.

General indications of the possibility of exposing this or that mineral in a locality can be obtained by studying its general topographical relief, the type of ground and its general natural conditions. Thus, in mountainous regions where fissures were formed during the process of mountain formation, ore minerals could be expected in the fissure fillings. In hilly regions, sedimentary deposits would be expected.

Certain deposits are found only in a particular type of ground. Coal seams, for example, are found in sedimentary formations mainly consisting of sandstones and shales. Veins, on the other hand,

are found in crystalline (igneous) rocks, and the type of country rock usually determines the type of minerals.

At present, prospecting methods to be used are as follows:

1. Surface geological and mineralogical prospecting such as panning.
2. Geophysical, geochemical, geobotanical prospecting.
3. Aerial photography with geological interpretation of the data to be obtained is highly effective from aircraft or helicopter. Besides, successful development of space research has made it possible to explore the Earth's resources from space by satellites.

In modern prospecting the methods mentioned above are used together with the study of geological maps.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The search for economically useful mineral deposits is called proving.
2. Last century prospectors looked for visible evidence of mineral deposits.
3. The first ores of iron to be mined were deposits of galena.
4. The science of geology can explain the mode of occurrence of ore deposits.
5. As a rule prospecting includes four stages.
6. The study of general topographical relief and the type of ground makes it possible to expose this or that deposit.
7. Geologists know that certain deposits are only found in a particular type of ground.
8. As is known, veins are found in metamorphic rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is prospecting?
2. What is proving?
3. How did prospectors find mineral deposits in the 19th century?
4. Does gold occur in nature as a heavy malleable yellow metal or as a heavy dark-grey one?
5. What metal is capable of attracting a piece of iron?
6. What does prospecting work provide?
7. What are the three main stages of prospecting?
8. Is it enough to know only the topographical relief of a locality for exposing this or that mineral?
9. What methods of prospecting do you know?
10. What are the most effective aerial methods of prospecting now?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. country rock	а) залегание рудных месторождений
2. panning	б) блестящий металл
3. the search for commercially useful deposits	в) коренная (основная) порода
4. geological exploration	г) дополнительные запасы минералов
5. to look for evidence of mineralization	д) промывка (золотоносного песка в лотке)
6. distinctive properties	е) геологическая разведка (с попутной добычей)
7. lustrous metal	ж) искать доказательства наличия месторождения
8. capable of attracting a piece of iron	з) отличительные свойства
9. additional supplies of minerals	и) поиски экономически полезных месторождений
10. the occurrence of ore deposits	к) способный притягивать кусок металла

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. стоимость геологических исследований — а) the data obtained
2. выходить на поверхность (обнажаться) — б) galena, sandstones and shales
3. произвести предварительную оценку (месторождения) — в) the cost of geological investigations
4. визуальные наблюдения с воздуха — г) to crop out
5. полученные данные — д) certain ore deposits
6. галенит, песчаники и сланцы — е) to make a preliminary estimation (of a deposit)
7. общие показания — ж) visual aerial observations
8. находить признаки месторождения — з) to find the signs of a deposit
9. определенные рудные месторождения — и) general indications

№8

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit -** алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological ~** геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять*;* погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking -** проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping -** *a* наклонный; **gently sloping -** с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike -** вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 8: Exploration of Mineral Deposits

Exploration is known to include a whole complex of investigations carried out for determining the industrial importance of a deposit. The main task is to determine the quality and quantity of mineral and the natural and economic conditions in which it occurs. The exploration of the deposit is divided into three stages, namely preliminary exploration, detailed exploration and exploitation exploration.

The aim of preliminary exploration is to establish the general size of a deposit and to obtain an approximate idea of its shape, dimensions and quality. At this stage the geological map of the deposit is corrected and a detailed survey of its surface is completed.

The information on the preliminary exploration is expected to give an all-round description of the deposit which will enable the cost of its detailed exploration to be estimated.

The following points should be taken into consideration: 1) the shape and area of the deposit; 2) its depth and angles of dip and strike; 3) its thickness; 4) the properties of the surrounding rock and overburden; 5) the degree of uniformity of distribution of the mineral within the deposit and the country rock, etc.

Preliminary explorations can make use of exploratory openings such as trenches, prospecting pits, adits, crosscuts and boreholes. They are planned according to a definite system, and some are driven to a great depth.

All the exploratory workings are plotted on the plan. These data allow the geologist to establish the vertical section of the deposit.

The quality of the mineral deposit is determined on the basis of analyses and tests of samples taken from exploratory workings.

The method of exploration to be chosen in any particular case depends on the thickness of overburden, the angle of dip, the surface relief, the ground water conditions and the shape of the mineral deposit.

The task of the detailed exploration is to obtain reliable information on the mineral reserves, their grades and distribution in the different sectors of the deposit. Detailed exploration data provide a much more exact estimate of the mineral reserves.

Mine or exploitation exploration is known to begin as soon as mining operations start. It provides data for detailed estimates of the ore reserves of individual sections. It facilitates the planning of current production and calculating the balance of reserves and ore mined.

The searching and discovering of new mineralized areas are based on geological survey and regional geophysical prospecting. The results of these investigations provide data on iron-bearing formations and new deposits for commercial extraction.

In detailed exploration both underground workings and borehole survey are used. Core drilling with diamond and carbide bits is widely used. Non-core drilling is also used in loose rocks in combination with borehole geophysical survey.

One of the main methods to explore coal deposits is also core-drilling. Modern drilling equipment makes it possible to accurately measure bed thickness and determine structure of beds, faults and folds. Recording control instruments are attached to drilling rigs which allow the geologists to get reliable samples good for nearly all parameters of coal quality to be determined.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The purpose of preliminary exploration is to determine the mineral reserves and their distribution in the different sectors of the deposit.
2. The properties of the surrounding rock and overburden should be taken into consideration during the preliminary exploration.
3. The purpose of the detailed exploration is to find out the quantity (reserves) of the deposit.
4. Exploitation exploration facilitates the planning of current production.
5. Both core drilling and non-core drilling are widely used.

6. Recording control instruments allow geologists to get reliable ore samples.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What stages does exploration include?
2. What is the main purpose of preliminary exploration?
3. What should be taken into consideration by geologists during preliminary exploration?
4. What exploratory openings do you know?
5. Do you know how the quality of the mineral deposit is determined?
6. What is the aim of a detailed exploration?
7. Is core drilling used in prospecting for loose rocks?
8. What is drilling equipment used for?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. bedded deposits
2. core drilling
3. the angle of dip of the seam
4. the thickness of overburden
5. exploratory workings
6. composition of minerals
7. pits and crosscuts
8. to exploit new oil deposits
9. sampling
10. geological section

а) мощность наносов
б) разрабатывать новые месторождения нефти
в) шурфы и квершлаги
г) пластовые месторождения
д) опробование (отбор) образцов
е) угол падения пласта
ж) колонковое бурение
з) геологический разрез (пород)
и) состав минералов
к) разведочные выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. буровые скважины
2. по простиранию пласта
3. равномерность распределения минерала в залежи
4. водоносность пород
5. карбидные и алмазные коронки
6. детальная разведка
7. использовать новые поисковые методы
8. проникать в залежь
9. коренная порода
10. свойства окружающих пород

а) ground water conditions
б) detailed exploration
в) boreholes
г) along the strike of the bed (seam)
д) carbide and diamond bits
е) the uniformity of mineral distribution in the deposit
ж) the properties of surrounding rocks
з) to make use of new prospecting methods
и) country rock
к) to penetrate into the deposit

3. Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций)

Грамматические конструкции представлены на стр. 6 – 40.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

Семья. Family

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister
приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents

приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать;

образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра; **course of studies** - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере; **to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist’s/a pharmacy/a drugstore - аптека

a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки
a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна

a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure -** *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains -** угловатые зерна *(минералов);* **grained -** *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone -** *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative -** *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary -** *a* осадочный; **sedimentation -** *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose -** *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay -** глинистый сланец; **combustible …**, **oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable -** *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable -** *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence -** *n* залегание; **mode of occurrence -** условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant -** *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble -** *a* растворимый; **solvent -** растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines -** *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы

fragmentary - *a* обломочный, пластический

glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated -** *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation -** *n* отношение; **relationship -** *n* родство; свойство; **relative -** *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger -** n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding -** *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous -** *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling -** *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (**drore**, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory -** *a* разведочный; **exploration -** *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening -** *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved -** *a* разведанный, достоверный; **proving -** *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable -** *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working -** *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit -** алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking -** проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping -** *a* наклонный; **gently sloping -** с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike -** вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development -** *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal -** *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support -** крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss -** *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v (**broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling -** *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive -** *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader -** *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader -** комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing -** *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper -** *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping -** *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(руды)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения)

Самостоятельное изучение тем курса предполагает изучение тем практических занятий, представленных в разделе 1, 2, 3 данных методических указаний студентами заочной формы обучения в межсессионный период.

1.5 Подготовка к контрольной работе и 1.6 Написание контрольной работы

Для выполнения контрольной работы студентами кафедрой подготовлены *Методические рекомендации и задания к контрольной работе для студентов данной специальности.*

II. Другие виды самостоятельной работы

2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (Подготовка к ролевой игре, к практико-ориентированным заданиям, опросу)

2.1.1 Подготовка к ролевой игре

Студенты получают ролевые карточки. Им необходимо обдумать свою роль, стратегию своей роли, вопросы и ответы.

Role card 1

Sasha

The worst thing about your house is lack of privacy. You share your room with a younger sister. You think she goes through all your stuff. She asks you ambarrassing questions about boys, makes little nasty comments about you.

Your parents treat you like a baby. Your father is too much interested in your studying and homework. Your mother makes you do the work about the house alone. You are going to leave home as soon as you are old enough.

- Collect all the arguments to explain your attitude to your family.
- Listen to what the members of your family are saying.
- Don't interrupt them.
- Don't forget that both parents and children are to blame in conflict situations.
- Be polite and friendly

Role card 2

Mother

Your daughter has written a letter of complaint to the youth magazine. She is not satisfied with your attitude to her. You have read this letter. You are worried about the situation in the family and have decided to discuss the problems with a family therapist.

- Say why you have invited the therapist
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha

- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 3

Father

Your daughter is complaining that you treat her like a baby. You don't let her out at night during the week. You always ask her about the boys. You don't believe her when she says she doesn't have any homework to do. Your wife has invited a family therapist to discuss the problems of your family.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha
- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 4

Sister

Sasha is complaining that you don't help her with the work about the house. She also says that she can't keep anything secret in her room, you go through all her stuff. She is irritated by your behaviour. She is going to leave your home as soon as she is old enough.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha
- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 5

Family therapist

- Encourage all the members of the family to speak
- Take notes
- Ask questions
- Summarize what you have heard from all the members of the family
- Try to analyse the situation in a short report

2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию

Подготовьте устные высказывания по темам:

1. From the history of the Ural State Mining University.
2. Faculties and specialities of the University.
3. The layout of the Ural State Mining University.
4. Student's academic work.

Подготовьте письменные ответы на вопросы:

1. Where do you study?
2. What faculty do you study at?
3. How many faculties are there at the Ural State Mining University?
4. What year are you in?
5. What is your future speciality?
6. What specialities are there at your faculty?
7. When did you enter the University?

8. When was the Sverdlovsk Mining Institute founded?
9. When was it reorganized into the University?
10. In how many buildings is the Ural State Mining University housed?
11. In what building is your faculty housed?
12. Who is the dean of your faculty?
13. What books do you take from the library?
14. Where do you live?
15. Where do you usually have your meals?
16. How long does the course of studies for a bachelor's degree last?
17. How long do the students study for a Diplomate Engineer's course and a Magister's degree?
18. What subjects do you study this term?
19. What lectures and practical classes do you like to attend?
20. Where do the students have their practical work?
21. When do the students present their graduation papers for approval?
22. What graduates can enter the post-graduate courses?
23. What kind of sport do yon like?
24. Where do you go in for sports?

2.1.3 Подготовка к опросу

Ответьте на вопросы на иностранном языке:

1. What specialities does the geological faculty train geologic engineers in?
2. What problems does Geology study?
3. What branches is Geology divided into?
4. What does Economic Geology deal with?
5. What does mineralogy investigate?
6. What does paleontology deal with?
7. What is the practical importance of Geology?
8. Where do graduates of the geological faculty of the Mining University work?
9. What is your future speciality?
10. What kind of work do geologists-prospectors conduct?
11. What do geologists explore during the early stages of geological exploration?
12. What work do geologists conduct while working in. the field?
13. When do geologists start exploratory work?
14. What is the purpose of the exploratory work?
15. How is exploratory work conducted?
16. What contribution do geologists make to the development of the National Economy of our country?
17. What does hydrogeology deal with?
18. Where are ground waters used?
19. Where is thermal (hot) water used?
20. What must hydrogeologists do with ground waters which complicate construction work or mineral extraction?

2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного (по 2 текста на тему)

Text 1: A.M. Terpigorev (1873-1959)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

to defend graduation paper (thesis) - защищать дипломную работу (диссертацию)

to pass an entrance examination - сдать вступительный экзамен

to get a higher education - получить высшее образование

to do one's best (one's utmost, all one can, everything in one's power) - сделать все возможное, не жалеть сил

to make contribution (to) - вносить вклад в *(науку, технику* и т.д.)

choose (chose, **chosen**) - v выбирать; **choice -** *n* выбор

collect - v собирать, коллекционировать

dangerous - *a* опасный

deposit - *n* месторождение, залежь; **bedded deposits -** пластовые месторождения

describe - v описывать, изображать; **description -** *n* описание; **descriptive -** *a* описательный

facility - *n (pl* **facilities)** средства; возможности; оборудование; устройства

fire damp - *n* рудничный газ, метан

harm - *n* вред; *v* вредить; **harmful -** *a* вредный

relate - v относиться, иметь отношение

safety - *n* безопасность; **mine safety** безопасность труда при горных работах; техника безопасности; **safety measures** меры безопасности; **safe -** *a* безопасный; надежный

seam - *n* пласт *(угля); syn* **bed, layer; flat seam** горизонтальный, пологопадающий пласт; **inclined seam** наклонный пласт; **steep seam** крутопадающий пласт; **thick seam** мощный пласт; **thin seam** тонкий пласт

state - *n* состояние; государство; штат; *a* государственный; v заявлять; констатировать; излагать

success - *v* успех; удача; **be a success** иметь успех; **successful** *a* успешный

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Academician A.M. Terpigorev is a well-known mining engineer who successfully combined his practical experience with scientific research. He was bom in 1873 in Tambov. In 1892 he finished school with honours1 and decided to get a higher education. He chose the Mining Institute in St. Petersburg, passed all the entrance examinations successfully and became a student of the Mining Institute.

At the Institute he studied the full range of subjects2 relating to metallurgy, mining and mining mechanics.

At that time students' specialization was based on descriptive courses and elementary practical training. One of the best lecturers was A. P. Karpinsky. His lectures on historical geology were very popular.

During his practical training Terpigorev visited mines and saw that the miners' work was very difficult. While he was working in the Donbas he collected material for his graduation paper which he soon defended. The Mining of flat seams in the Donbas was carefully studied and described in it.

In 1897 Terpigorev graduated from the Institute with a first-class diploma of a mining engineer.

His first job as a mining engineer was at the Sulin mines where he worked for more than three years first as Assistant Manager and later as Manager.

From 1900 till 1922 Terpigorev worked at the Yekaterinoslav Mining Institute (now the Mining Institute in Dnepropetrovsk).

In 1922 he accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Academy and moved to Moscow. From 1930 he headed the chairs5 of Mining Transport and Mining of Bedded Deposits at the Moscow Mining Institute.

Academician Terpigorev took a particular interest in mine safety. As a result of his investigations a series of safety measures in gassy collieries was worked out. For some time he was working on the problem of fire damp, the most harmful and dangerous of all the gases in mines.

His two-volume work Coal Mining and Mine Transport Facilities is a full description of the state of mechanization and the economy of the Donbas. His other works are about mining transport facilities, mechanization of coal mining and mining machinery. He is one of the pioneers in scientific methods of coal gasification.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. After school Terpigorev decided to work in a mine.
2. Terpigorev collected material for his graduation paper which dealt with mining thick seams in the Donbas.
3. For more than three years Terpigorev worked at the Sulin mines.
4. In 1922 Terpigorev accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Institute.
5. He investigated the problems of mine safety.
6. He was one of the first to work on the problem of gasification of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. When and where was Terpigorev born?
2. What institute did he graduate from?
3. What material did he collect while he was working in the Donbas?
4. Where did Terpigorev work from 1900 till 1922?
5. At what institute did Terpigorev head the chair of Mining Bedded Deposits?
6. What did Terpigorev take a particular interest in?
7. What works by Terpigorev do you know?
8. What problems do Terpigorev's works deal with?
9. What was the result of his investigations on mine safety?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) охрана труда в шахтах
б) подтверждать
в) добыча угля
г) эксплуатация месторождений
д) метан
е) принять предложение
ж) выполнить задачу, задание
з) горизонтальный пласт
и) собирать материал

1. поступить в институт
2. решать важные проблемы
3. выдающиеся исследователи
4. успешно провести эксперименты
5. выбрать профессию
6. описательный курс
7. происхождение железной руды
8. начальник шахты
9. мероприятия по охране труда

Text 2: A.P. Karpinsky (1847-1936)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abroad - *adv* за рубежом
confirm - v подтверждать; утверждать
consider - v считать, полагать, рассматривать
contribute - v вносить вклад; **contribution** вклад
crust - *n* земная кора
detailed - a подробный, детальный
elect - v избирать, выбирать *(голосованием);* назначать *(на должность)*
embrace - v охватывать; обнимать
entire - *a* весь, целый; полный; *syn* **whole**
exist – *v* существовать, быть, жить
foreign - *a* иностранный
former - *a* прежний

investigate - v исследовать; изучать

prominent - *a* знаменитый, выдающийся, известный; *syn* **remarkable, outstanding**

regularity - *n* закономерность

significant - *a* значительный; **significance -** *n* значение, важность; **exhaust the significance** исчерпывать значение

society – *n* общество

staff - *n* персонал; личный состав; штат

various - *a* различный, разный, разнообразный

to advance the view - высказывать мнение *(точку зрения)*

to be interested in - быть заинтересованным *(чём-л.),* интересоваться

to take (an) interest in - заинтересоваться *(чём-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

V.A. Obruchev, I.M. Gubkin, A.Y. Fersman, V.I. Vernadsky and A. P. Karpinsky were the prominent Russian scientists who laid the foundation1 of the Russian school of geology and mining.

An entire epoch in the history of Russian geology is connected with Karpinsky's name. One of the greatest Russian geologists, he was a member and for some time President of the Academy of Sciences of the former USSR and a member of several Academies abroad. The Geological Society of London elected him a foreign member in 1901. His greatest contribution to geology was a new detailed geological map of the European part of Russia and the Urals.

For many years he headed the Russian Geological Committee the staff of which was made up of his pupils. He was one of those geologists who embraced the whole of geological science. He created the new stratigraphy of Russia. He studied the geological systems in various regions of the country and was the first to establish3 the regularity of the Earth's crust movement. His paleontological studies are of no less importance, especially those on palaeozoic ammonoids. He also took an interest in deposits of useful minerals and gave a classification of volcanic rocks. He advanced the view that petroleum deposits existed in Russian, which was confirmed later. He studied some ore and platinum deposits and may be justly considered5 the founder of practical geology of the Urals. He was the first Russian scientist who introduced microscope in the study of petrographic slides.

Karpinsky was a prominent scientist, an excellent man and citizen. He was one of the best lecturers at the Mining Institute in his time. He was also one of the greatest Russian scientists who later became the first elected President of the Academy of Sciences of the USSR. Students were attracted to him not only because he was a great scientist but also because of his charming personality and gentle manner.

Every geologist and every geology student knows very well Karpinsky's most significant work An Outline of the Physical and Geographical Conditions in European Russia in Past Geological Periods.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Karpinsky was the first President of the Academy of Sciences.
2. He worked at the Mining Institute in St.Petersburg.
3. Karpinsky was a member of many Academies abroad.
4. Karpinsky made up a detailed map of the Asian part of our country.
5. He headed the Russian Geological Committee.
6. Karpinsky created a new branch of geology, namely stratigraphy.
7. He only tried to establish the regularity of the Earth's crust movement.
8. Karpinsky may be justly considered the founder of the practical geology of the Urals.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What society elected Karpinsky a foreign member and when?
2. Did he head the Russian Geological Committee or was he a member of that Committee?

3. Did Karpinsky investigate various regions of the Russian territory?
4. Which of his works are the most remarkable?
5. What can you say about Karpinsky's investigations in petrology?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) земная кора
б) составить подробную карту
в) замечательные работы
г) выдающийся ученый
д) залежи полезных ископаемых
е) научное общество
ж) избирать председателя (президента)
з) заложить основы школы
и) интересоваться геологией
к) высказать точку зрения
л) возглавлять комитет

Text 3: Sedimentary Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**
clay - *n* глина; глинозем
consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**
crust - *n* кора; *геол.* земная кора
decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение
derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать
destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный
dissolve v растворять
expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure -** *n* обнажение
external - *a* внешний
extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*
force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие
glacier - *n* ледник, глетчер
grain - *n* зерно; **angular grains -** угловатые зерна *(минералов);* **grained -** *a* зернистый
gravel - *n* гравий, крупный песок
internal - *a* внутренний
intrusive - *a* интрузивный, плутонический
iron - *n* железо
layer - *n* пласт
like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно
lime - *n* известь; **limestone -** *n* известняк
loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый
make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*
particle - *n* частица; включение
peat - *n* торф; торфяник
represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative -** *a* характерный, типичный
rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода
sand - *n* песок
sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник
sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary -** *a* осадочный; **sedimentation -** *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose -** *a* сланцеватый, слоистый
shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay -** глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец
siltstone - *n* алеврит
stratification - *n* напластование, залегание
stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**
substance - *n* вещество, материал; сущность
thickness - *n* толщина, мощность
value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable -** *a* ценный *(о руде)*
vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable -** *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The rocks of the Earth's crust are divided into three main groups: sedimentary rocks, which consist of fragments or particles of pre-existing rocks; igneous rocks which have solidified from magma and metamorphic rocks. Metamorphic rocks have been derived from either igneous or sedimentary rocks.

Sedimentary rocks represent one of the three major groups of rocks that make up the crust of the Earth. Most sedimentary rocks have originated by sedimentation. They are layered or stratified. Thus, stratification is the most important characteristic of sediments and sedimentary rocks. It is necessary to note that the processes which lead to the formation of sedimentary rocks are going on around us.

Sediments are formed at or very near the surface of the Earth by the action of heat, water (rivers, glaciers, seas and lakes) and organisms.

It should be noted that 95 per cent of the Earth's crust is made up of igneous rocks and that only 5 per cent is sedimentary. In contrast, the amount of sedimentary rocks on the Earth's surface is three times that of igneous rocks.

Strictly speaking, sedimentary rocks form a very small proportion by volume of the rocks of the Earth's crust. On the contrary, about three quarters of the Earth's surface is occupied by sedimentary rocks. It means that most of sedimentary rocks are formed by sediments, accumulations of solid material on the Earth's surface.

The thickness of the layers of sedimentary rocks can vary greatly from place to place. They can be formed by the mechanical action of water, wind, frost and organic decay. Such sediments as gravel, sand and clay can be transformed into conglomerates, sandstones and clay schists as a result of the accumulation of materials achieved by the destructive mechanical action of water and wind.

Mechanical sediments can be unconsolidated and consolidated. For example, gravel, sand and clay form the group of unconsolidated mechanical sediments, because they consist of loose uncemented particles (grains).

On the Earth's surface we also find consolidated rocks, which are very similar to the loose sediments whose particles are firmly cemented to one another by some substance. The usual cementing substances are sand, clay, calcium carbonate and others. Thus sandstones are consolidated rocks composed of round or angular sand grains, more or less firmly consolidated. Like sand, sandstones can be divided into fine-grained, medium-grained and coarse-grained.

On the other hand, chemical sediments are the result of deposits or accumulations of substances achieved by the destructive chemical action of water. The minerals such as rock salt, gypsum and others are formed through sedimentation of mineral substances that are dissolved in water.

Sediments can also be formed by the decay of the remains of organisms, by the accumulation of plant relics.1 They are called organic sediments. Limestones, peat, coal, mineral oil and other sediments may serve as an example of organic sediments.

The most principal kinds of sedimentary rocks are conglomerate, sandstone, siltstone, shale, limestone and dolomite. Many other kinds with large practical value include common salt, gypsum, phosphate, iron oxide and coal.

As is known, water, wind and organisms are called external forces, because their action depends on the energy which our planet receives from the Sun.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The rocks of the Earth's crust are divided into two main groups.
2. Igneous rocks are composed of particles of pre-existing rocks.
3. Sedimentary rocks are stratified.
4. Sediments are formed by the action of glaciers.
5. Igneous rocks make up 75 per cent of exposed rocks.
6. Conglomerates are formed as a result of the accumulation of materials caused by the destructive mechanical action of water.
7. Sandstones are consolidated rocks.
8. Clays are unconsolidated mechanical sediments.
9. Chemical sediments are formed by the destructive chemical action of water.
10. Peat and coal are the organic sediments which are of great practical value.
11. Clay schist was formed at the beginning of the sedimentation period and clay was formed later.

2). Ответьте на вопросы:

1. What main groups of rocks do you know?
2. Do sedimentary rocks consist of particles of pre-existing rocks?
3. How were igneous rocks formed?
4. Do you know how sedimentary rocks have originated?
5. What is the most important characteristic feature of sediments?
6. Do sedimentary rocks account for 10 per cent of the Earth's crust?
7. Is gravel consolidated mechanical sediment? And what about sand and clay?
8. What are cementing substances? Can calcium carbonate be used as a cementing substance?
9. Are there only fine-grained sandstones?
10. What can you say about chemical sediments?
11. Can you give an example of organic sediments? How are they formed?

3) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	земная кора	а) sandstone
2.	растворяться в воде	б) fine-grained sand
3.	песчаник	в) the Earth's crust
4.	уплотненные осадки	г) exposed rocks
5.	изверженные породы	д) to dissolve in water
6.	мелкозернистый песок	е) like gypsum
7.	затвердевать	ж) consolidated sediments
8.	подобно гипсу	з) igneous rocks
9.	обнаженные породы	и) to solidify, to consolidate

б) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов.

1.	coarse-grained sand	а) разрушительная сила воды
2.	siltstone and shale	б) пластовые месторождения
3.	the destructive action of water	в) доледниковый период

4.	existing rocks	г) крупнозернистый (грубо- зернистый) песок
5.	chemical decay	д) частицы вещества
6.	sedimentary rocks	е) алеврит и сланец
7.	stratified deposits	ж) существующие породы
8.	pre-glacial period	з) осадочные породы
9.	particles of a substance	и) химический распад

Text 4: Weathering of Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

contain - v содержать *(в себе),* вмещать
crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться
contract - v сжиматься; сокращаться
dust - *n* пыль
expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**
fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель
fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*
freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать
gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно
hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом
hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф
influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*
lateral - *a* боковой
occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence -** *n* залегание; **mode of occurrence -** условия залегания
penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*
phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**
pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы
rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**
refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*
resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant -** *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся
size - *n* размер; величина; класс *(угля)*
solution – *n* раствор; **soluble -** *a* растворимый; **solvent -** растворитель; *a* растворяющий
succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно
undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*
uniform – *a* однородный; одинаковый
weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*
to be subjected to подвергаться

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

All rocks which are exposed on the Earth's surface (high mountain peaks, deserts) are decomposed to a certain degree. The process of rock disintegration by the direct influence of local atmospheric conditions on the Earth's surface is called weathering. This phenomenon is often referred to in geology because weathering is an active process. It takes place in the upper layers of the Earth's crust.

The main cause of physical weathering is the change in temperature that takes place with the succession of day and night. This phenomenon can best be observed in the deserts and high mountains where the changes in temperature are common.

During the day under the influence of heat, rocks expand whereas at night they begin to contract. As rocks are generally composed of different minerals, their expansion and contraction do not occur uniformly. As a result of this rocks crack. At the beginning these cracks or fissures are hardly noticeable but gradually they become wider and deeper until the whole surface of rock is finally transformed into gravel, sand or dust.

In the regions of a moderate or cold climate, where the temperature in winter goes down to below 0 (zero), the decomposition of rocks is greatly facilitated by the action of water. When water freezes it increases in volume and develops enormous lateral pressure. Under the action of water, rocks decompose to pieces of varied forms and sizes.

The decomposition of rocks under the direct influence of heat and cold is called physical weathering.

Rocks are subjected not only to physical decomposition but also to chemical weathering, i.e. to the action of chemical agents, such as water, carbon dioxide and oxygen. In a general way, chemical weathering is an acid attack on the rocks of the Earth's crust, in particular an attack on the most abundant minerals — quartz (sand) and aluminosilicates (clays). Only few minerals and rocks are resistant to the action of natural waters. The solvent action of water is stronger when it contains carbon dioxide. Water causes more complex and varied changes. With the participation of oxygen and carbon dioxide up to 90 per cent of rocks is transformed into soluble minerals, which are carried away by the waters.

Organisms and plants also take part in the disintegration of rocks. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks by making holes in them to live in. The action of plants can often be even more destructive. Their roots penetrate into the fissures of rocks and develop the lateral pressure which fractures and destroys rocks.

1. Укажите, какие предложены соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The process of sedimentation is called weathering.
2. The change in temperature causes physical weathering.
3. As a rule during the night rocks expand.
4. When freezing water decreases in volume and develops enormous lateral pressure.
5. The decomposition of rocks is due to the influence of heat and cold.
6. As a rule water contains dissolved mineral substances.
7. The solvent action of water is stronger when it does not contain carbon dioxide.
8. It should be noticed that the action of organisms and plants is destructive.
9. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What process is called weathering?
2. What process is called physical weathering?
3. Where can the phenomenon of physical weathering be best observed?
4. What process is called chemical weathering?
5. What substances can act as solvents?
6. Are all minerals and rocks resistant to the action of natural waters or only few minerals and rocks can resist the action of water?
7. How do organisms act on the destruction of rocks?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. the Earth's surface
2. to be composed of different minerals
3. the expansion of rocks
4. changes in temperature

5. under the influence of heat
6. weathering
7. destructive forces
8. a great number of fractures
9. to penetrate into fissures

а) под влиянием тепла
б) разрушительные силы
в) выветривание
г) большое количество трещин
д) состоять из различных минералов
е) расширение пород
ж) проникать в трещины
з) изменения температуры
и) поверхность земли

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. увеличиваться в объеме
2. развивать боковое давление
3. способствовать разрушению пород
4. подвергаться гниению
5. растворять вещества
6. сопротивляться (чему-л.)
7. некоторые органические вещества
8. ускорять процесс выветривания
9. куски породы различных размеров

а) to facilitate the decomposition of rocks
б) to increase in volume
в) to resist (smth)
г) rock pieces of varied (different) sizes
д) to accelerate the process of weathering
е) to be subjected to decay
ж) to dissolve substances
з) to develop lateral pressure
и) certain organic substances

Text 5: Fossil Fuels

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger -** n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**
mudstone - *n* аргиллит
purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**
shale - *n* глинистый сланец
the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The chief sources of energy available to man today are oil, natural gas, coal, water power and atomic energy. Coal, gas and oil represent energy that has been concentrated by the decay of organic materials (plants and animals) accumulated in the geologic past. These fuels-are often referred to as fossil fuels.

The word fossil (derived from the Latin fodere "to dig up") originally referred to anything that was dug from the ground, particularly a mineral. Today the term fossil generally means any direct evidence of past life, for example, the footprints of ancient animals. Fossils are usually found in sedimentary rocks, although sometimes they may be found in igneous and metamorphic rocks as well. They are most abundant in mudstone, shale and limestone, but fossils are also found in sandstone, dolomite and conglomerate.

Most fuels are carbon-containing substances that are burned in air. In burning fuels give off heat which is used for different purposes.

Fuels may be solid, liquid and gaseous. Solid fuels may be divided into two main groups, natural and manufactured. The former category includes coal, wood, peat and other plant products. The latter category includes coke and charcoal obtained by heating coal in the absence of air.

Liquid fuels are derived almost from petroleum. In general, natural petroleum, or crude oil, as it is widely known, is the basis of practically all industrial fuels. Petroleum is a mixture of hundreds of different hydrocarbons — compounds composed of hydrogen and carbon — together with the small amount of other elements such as sulphur, oxygen and nitrogen. Petroleum is usually associated with water and natural gas. It is found in porous sedimentary rocks where the geological formation allowed the oil to collect from a wide area. Petroleum is one of the most efficient fuels and raw materials.

Of gaseous fuels the most important are those derived from natural gas, chiefly methane or petroleum. Using gaseous fuels makes it possible to obtain high thermal efficiency, ease of distribution and control. Gas is the most economical and convenient type of fuels. Today gas is widely utilized in the home and as a raw material for producing synthetics.

Scientists consider that a most promising source of natural resources may be the floor of the sea, a subject which now has become an important field of research.

Generally speaking, all types of fossil fuels described in the text are of great economic importance as they represent the sources of energy the man uses today.

1. Укажете, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Coal, water power and atomic energy are the only sources of energy available to man today.
2. Coal, wood and peat represent natural group of solid fuels.
3. As a rule fossil fuels are found in sedimentary rocks.
4. Crude oil is widely used for producing solid fuels.
5. Petroleum can be found in porous sedimentary rocks.
6. Gas is used to produce synthetic materials.
7. Not all types of fossil fuels burn.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What fuels are often referred to as fossil fuels?
2. What does the word fossil mean?
3. What rocks are most abundant hi fossil fuels?

4. What types of fossil fuels do you know?
5. Is coke a natural or manufactured solid fuel? And what can you say about coal and peat?
6. How are coke and charcoal produced?
7. What rocks is petroleum usually associated with?
8. What are the advantages of gaseous fuels?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов сочетаний слов.

1.	fossil fuel	а) дерево и торф
2.	raw material	б) небольшое количество аргиллита
3.	crude oil	в) органическое топливо
4.	the chief sources of energy	г) сланец и известняк
5.	to refer to	д) сырье
6.	any direct or indirect evidence of the deposit	е) материалы, содержащие углерод
7.	shale and limestone	ж) главные источники энергии
8.	carbon-containing materials	з) любые прямые или косвенные признаки месторождения
9.	wood and peat	и) сырая (неочищенная) нефть
10.	the small amount of mudstone	к) относиться к (чему-л.); ссылаться на (что-л.)

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	древесный уголь и кокс	а) to collect data
2.	жидкое топливо	б) charcoal and coke
3.	накапливать	в) to be composed of limestones
4.	собирать данные	г) liquid fuel
5.	происходить от	д) to accumulate
6.	получать хорошие результаты	е) to derive from
7.	богатый горючими сланцами	ж) to obtain good results
8.	состоять из известняков	з) abundant in oil shales

Text 6: Coal and Its Classification

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*
blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)
combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание
continuity - *n* непрерывность, неразрывность
domestic - *a* внутренний; отечественный
estimate - v оценивать; *n* оценка; смета
fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов
fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding -** *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва
inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя
intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный
liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*
luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous -** *a* блестящий
matter - *n* вещество; материя
moisture - *n* влажность, сырость; влага
parting - *n* прослоек
plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования
rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля
regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**
smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*
store - v запасать, хранить на складе; вмещать
strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**
thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*
uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие
utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**
volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Coal is the product of vegetable matter that has been formed by the action of decay, weathering, the effects of pressure, temperature and time millions of years ago.

Although coal is not a true mineral, its formation processes are similar to those of sedimentary rocks.

Structurally coal beds are geological strata characterized by the same irregularities in thickness, uniformity and continuity as other strata of sedimentary origin. Coal beds may consist of essentially uniform continuous strata or like other sedimentary deposits may be made up of different bands or benches of varying thickness.

You can see a seam limited by two more or less parallel planes, a shape which is typical of sedimentary rocks. The benches may be separated by thin layers, of clay, shale, pyrite or other mineral matter, commonly called partings. Like other sedimentary rocks coal beds may be structurally disturbed by folding and faulting.

According to the amount of carbon coals are classified into: brown coals, bituminous coals and anthracite. Brown coals are in their turn subdivided into lignite and common brown coal. Although carbon is the most important element in coal, as many as 72 elements have been found in some coal deposits, including lithium, chromium, cobalt, copper, nickel, tungsten and others.

Lignite is intermediate in properties between peat and bituminous coal, containing when dry about 60 to 75 per cent of carbon and a variable proportion of ash. Lignite is a low-rank brown-to-black coal containing 30 to 40 per cent of moisture. Developing heat it gives from 2,500 to 4,500 calories. It is easily inflammable but burns with a smoky flame. Lignite is liable to spontaneous combustion. It has been estimated that about 50 per cent of the world's total coal reserves are lignitic.

Brown coal is harder than lignite, containing from 60 to 65 per cent of carbon and developing greater heat than lignite (4,000-7,000 calories). It is very combustible and gives a brown powder. Bituminous coal is the most abundant variety, varying from medium to high rank. It is a soft, black, usually banded coal. It gives a black powder and contains 75 to 90 per cent of carbon. It weathers only slightly and may be kept in open piles with little danger of spontaneous combustion if properly stored. Medium-to-low volatile bituminous coals may be of coking quality. Coal is used intensively in blast furnaces for smelting iron ore. There are non-coking varieties of coal.

As for the thickness, the beds of this kind of coal are not very thick (1-1.5 meters). The great quantities of bituminous coal are found in the Russian Federation.

Anthracite or "hard" coal has a brilliant lustre containing more than 90 per cent of carbon and low percentage of volatile matter. It is used primarily as a domestic fuel, although it can sometimes be blended with bituminous grades of coal to produce a mixture with improved coking qualities. The largest beds of anthracite are found in Russia, the USA and Great Britain.

Coal is still of great importance for the development of modern industry. It may be used for domestic and industrial purposes. Being the main source of coke, coal is widely used in the iron and steel industry. Lignite, for example either in the raw state or in briquetted form, is a source of industrial carbon and industrial gases.

There is a strong tendency now for increased research into new technologies to utilize coal. No doubt, coal will be used as a raw material for the chemical industry and petrochemical processes. All

these processes involve coal conversion which include gasification designed to produce synthetic gas from coal as the basis for hydrogen manufacture, liquefaction (разжижение) for making liquid fuel from coal and other processes.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Anthracite coals may be divided into lignite and common brown coal.
2. Coals are ranked according to the percentage of carbon they contain.
3. Peat, with the least amount of carbon is the lowest rank, then comes lignite or brown coal.
4. Brown coal is hard and it is not liable to spontaneous combustion.
5. Bituminous coal weathers rapidly and one cannot keep it in open piles.
6. Being intensively used in the iron and steel industry bituminous coal varies from medium to high rank.
7. Anthracite or hard coal, the highest in percentage of carbon, can be blended with bituminous grades of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is the classification of coal based on?
2. Is carbon the only element in coal? (Prove it.)
3. Is lignite intermediate in properties between peat and bituminous coal?
4. What heat value does lignite develop when burnt?
5. What coals are liable to spontaneous combustion?
6. What is the difference between lignite and brown coal?
7. Is bituminous coal high- or low-volatile?
8. Does anthracite contain 90 per cent of carbon?
9. Where are the largest deposits of anthracite found? And what can you say about bituminous coal?
10. What do you know about the utilization of coal?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	spontaneous combustion	а) легковоспламеняющийся газ
2.	moisture and ash content	б) высокосортный уголь
3.	the most abundant variety	в) плавить железную руду
4.	in its turn	г) самовозгорание
5.	the amount of volatile matter	д) содержание влаги и золы
6.	easily inflammable gas	е) дымное пламя
7.	brilliant lustre	ж) наиболее широко распространенные угли
8.	to smelt iron ore	з) яркий блеск
9.	high-rank coal	и) в свою очередь
10.	a smoky flame	к) количество летучих веществ

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов н сочетаний слов:

1.	тип угля	а) heat value
2.	некоксующийся уголь	б) amount of carbon
3.	доменная печь	в) coal rank
4.	содержание углерода	г) to store coal
5.	смешиваться с другими углями	д) to weather rapidly
6.	улучшенного качества	е) non-coking coal
7.	складировать уголь	ж) blast furnace
8.	теплотворная способность	з) of improved quality
9.	быстро выветриваться	и) to blend with other coals

Text 7: General Information on Mining

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development -** *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal -** *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support -** крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

As has been said, mining refers to actual ore extraction. Broadly speaking, mining is the industrial process of removing a mineral-bearing substance from the place of its natural occurrence in the Earth's crust. The term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells; metal, non-metallic minerals, coal, peat, oil shale and other hydrocarbons from the earth. In other words, the work done to extract mineral, or to prepare for its extraction is called mining.

The tendency in mining has been towards the increased use of mining machinery so that modern mines are characterized by tremendous capacities. This has contributed to: 1) improving working conditions and raising labour productivity; 2) the exploitation of lower-grade metal-bearing substances and 3) the building of mines of great dimensions.

Mining can be done either as a surface operation (quarries, opencasts or open pits) or by an underground method. The mode of occurrence of the sought-for metallic substance governs to a large degree the type of mining that is practised. The problem of depth also affects the mining method. If the rock containing the metallic substance is at a shallow site and is massive, it may be economically excavated by a pit or quarry-like opening on the surface. If the metal-bearing mass is tabular, as a bed or vein, and goes to a great distance beneath the surface, then it will be worked by some method of underground mining.

Working or exploiting the deposit means the extraction of mineral. With this point in view a number of underground workings is driven in barren (waste) rock and in mineral. Mine workings vary in shape, dimensions, location and function.

Depending on their function mine workings are described as exploratory, if they are driven with a view to finding or proving mineral, and as productive if they are used for the immediate extraction of useful mineral. Productive mining can be divided into capital investment work, development work, and face or production work. Investment work aims at ensuring access to the deposit from the surface. Development work prepares for the face work, and mineral is extracted (or produced) in bulk.

The rock surfaces at the sides of workings are called the sides, or hi coal, the ribs. The surface above the workings is the roof in coal mining while in metal mining it is called the back. The surface below is called the floor.

The factors such as function, direct access to the surface, driving in mineral or in barren rock can be used for classifying mine workings:

I. Underground workings:

a) Long or deep by comparison with their cross-section may be: 1) vertical (shaft, blind pit); 2) sloping (slopes, sloping drifts, inclines); 3) horizontal (drifts, levels, drives, gate roads, adits, crosscuts).

b) Large openings having cross dimensions comparable with their length.

c) Production faces, whose dimensions depend on the thick ness of the deposit being worked, and on the method of mining it.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. As a rule, the term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells as well as coal, iron ores and other useful minerals from the earth.
2. The increased use of mining machinery has greatly contributed to raising labour productivity and improving working conditions.
3. It is quite obvious that the problem of depth is not always taken into consideration in choosing the mining method.
4. Productive workings are usually used for the immediate extraction of useful mineral.
5. Underground workings are driven in barren rock or in mineral.
6. A shaft is a vertical underground working which is long and deep in comparison with its cross-section.
7. The surface above the mine working is usually called the floor.
8. The rock surfaces at the sides of mine workings arc called the ribs.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is mining?
2. What has contributed to the better working conditions of the miners?
3. What factors influence the choice of the mining method?
4. In what case is useful mineral worked by open pits?
5. Are exploratory workings driven with a view to finding and proving mineral or are they driven for immediate extraction of mineral?
6. What is the difference between development and production work?
7. What main factors are used for classifying mine workings?
8. What do the dimensions of production faces depend on?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. direct access to the surface
2. open-cast mining
3. tabular (or bedded) deposits
4. oil well
5. underground workings
6. cross-section of a working
7. production face
8. the roof of the mine working
9. to drive mine workings in barren rock
10. to affect the mining method

а) нефтяная скважина
б) проходить горные выработки по пустой породе
в) влиять на метод разработки
г) прямой доступ к поверхности
д) пластовые месторождения
е) открытая разработка
ж) поперечное сечение выработки
з) подземные выработки
и) очистной забой
к) кровля горной выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов сочетаний слов:

1. способствовать чему-л.
2. размер ствола
3. извлекать, добывать (уголь)
4. штреки и квершлаги
5. пустая порода
6. вообще говоря
7. удалять, перемещать (крепь, вскрышу и др.)
8. с целью ...
9. подготовительные работы
10. мощность пласта

а) thickness of a seam
б) shaft dimension
в) with a view to
г) to contribute to smth.
д) development work
е) to remove (timber, overburden, etc.)
ж) drifts (gate roads) and crosscuts
з) generally speaking

и) to recover (coal)
к) waste (barren) rock

Text 8: Methods of Working Bedded Deposits Underground

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss -** *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The method of working (or method of mining) includes a definite sequence and organization of development work of a deposit, its openings and its face work in certain geological conditions. It depends on the mining plan and machines and develops with their improvements. A rational method of working should satisfy the following requirements in any particular conditions: 1) safety of the man; 2) maximum output of mineral; 3) minimum development work (per 1,000 tons output); 4) minimum production cost and 5) minimum losses of mineral.

Notwithstanding the considerable number of mining methods in existence, they can be reduced to the following main types: 1. Methods of working with long faces (continuous mining); 2. Methods of working with short faces (room-and-pillar). The characteristic feature of the continuous mining is the absence of any development openings made in advance of production faces. The main advantage of long continuous faces is that they yield more mineral. Besides, they allow the maximum use of combines (shearers), cutting machines, powered supports and conveyers. The longwall method permits an almost 100 per cent recovery of mineral instead of 50 to 80 per cent obtainable in room-and-pillar methods.

The basic principle of room-and-pillar method is that rooms from 4 to 12 meters wide (usually 6-7) are driven from the entries, each room is separated from each other by a rib pillar. Rib pillars are recovered or robbed after the rooms are excavated. The main disadvantage of shortwall work is a considerable loss of mineral and the difficulty of ventilation. In working bedded deposits methods of mining mentioned above may be used either with stowing or with caving.

In Russia, Germany (the Ruhr coal-field), France and Belgium nearly all the faces are now long ones. In Britain longwall faces predominate.

The USA, Canada, Australia and to some extent India are developing shortwall faces and creating the machines for them. In these countries shortwall faces are widely used.

In Russia the thick seams are taken out to full thickness up to 4.5 m thick if they are steep, and up to 3.5 m thick if they are gently sloping or inclined. In the Kuznetsk coal-field long faces are worked to the dip with ashield protection, using a method proposed by N.Chinakal. In shield mining coal is delivered to the lower working by gravity so that additional haulage is not required.

It should also be noted that in Russia hydraulic mining is widely used as it is one of the most economic and advantageous methods of coal getting. New hydraulic mines are coming into use in a number of coal-fields. Hydraulic mining is developing in other countries as well.

The aim of hydraulic mining is to remove coal by the monitors (or giants) which win coal and transport it hydraulically from the place of work right to the surface. It is quite obvious that the choice of the method of mining will primarily depend on the depth and the shape and the general type of the deposit.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. A definite sequence and organization of development work is called mining.
2. Mining methods in existence can be reduced to the two main types.
3. The depth and the shape of the deposit influence the choice of the method of working.
4. As is known, in Belgium all the faces are short now, in Great Britain they amount to 84 per cent.
5. In Australian collieries shortwall faces are widely used.
6. The room-and-pillar method is characterized by the absence of any development openings.
7. High-capacity monitors win coal and transport it hydraulically right to the surface.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What factors does mining depend on?
2. What is mining?
3. What are the most important factors which affect the choice of the method of working?
4. Do short faces or long faces predominate in Russia? What can you say about the Ruhr coal-field?
5. Is Canada developing shortwall faces or longwall faces?
6. What are the main disadvantages of shortwall faces?
7. What are the two main methods of working?
8. What is the main advantage of long continuous faces?
9. What methods of mining long faces do you know?
10. What method of mining is characterized by the absence of development openings?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	development face	а) сплошная система разработки
2.	great losses	б) выемка целиков
3.	shield method of mining	в) подготовительный забой
4.	continuous mining	г) большие потери
5.	longwall advancing to the dip	д) удовлетворять требованиям
6.	the room-and-pillar method of mining	е) зависеть от геологических условий
7.	to open up a deposit	ж) выемка лавами прямым ходом по падению

8. pillar mining з) щитовая система разработки
9. to satisfy the requirements и) вскрывать месторождение
10. to depend upon the geological conditions к) камерно-столбовая система разработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. включать (в себя) а) safety
2. выемка лавами обратным ходом б) annual output
3. достигать 50% в) to involve
4. превышать 60% г) to propose a new method of mining
5. безопасность д) long wall retreating
6. годовая добыча е) in connection with difficulties
7. основной недостаток системы разработки ж) to exceed 60 per cent
8. под-этаж з) notwithstanding (in spite of)
9. крутопадающий пласт и) to reach 50 per cent
10. щитовая система разработки к) the main disadvantage of the method of mining
11. предложить новый способ разработки л) sublevel
12. в связи с трудностями м) the shield method of mining
13. несмотря на н) open up a deposit
14. вскрывать месторождение о) steep seam

2.3 Подготовка доклада

Подготовьте доклад по одной из предложенных тем.

1. Inigo Jones (1573-1652)
2. Christopher Wren (1632-1723)
3. Geoffrey Chaucer (1340-1400)
4. Samuel Johnson (1709-1784)
5. Alfred Tennyson (1809-1892)
6. Thomas Hardy (1840-1928)
7. John Milton (1608-1674)
8. William Makepeace Thackeray (1811-1863)
9. Henry Wadsworth Longfellow (1807 – 1882)
10. Joshua Reynolds (1723-1792)
11. Thomas More (1478 – 1535)
12. J.M.W. Turner (1775-1851)
13. Thomas Gainsborough (1727 – 1788)
14. Henry Moor (1898-1986)
15. Henry Irving (1838-1905)
16. William Gilbert (1836-1911)
17. Arthur Sullivan (1842-1900)
18. James Watt (1736 - 1819)
19. Thomas Telford (1757 - 1834)
20. Isambard Kingdom Brunel (1806 – 1859)
21. George Stephenson (1781 – 1848)
22. David Livingstone (1813 – 1873)
23. Tony Blair (1953)
24. Winston Churchill (1874 - 1965)
25. Margaret Hilda Thatcher (1925)
26. Sir Isaac Newton (1642 – 1727
27. Alexander Graham Bell (1847 - 1922)

28. Robert Burns (1759 – 1796)

Правила предоставления информации в докладе

Размер	**А4**
Шрифт	Текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman 12
Поля	слева – 2 см., сверху и справа – 1 см., снизу – 1
Абзацный отступ	1 см устанавливается автоматически
Стиль	Примеры выделяются курсивом
Интервал	межстрочный интервал – 1
Объем	1 -2 страницы (до 7 минут устного выступления)
Шапка доклада	***Иванова Мария Ивановна*** Екатеринбург, Россия ФГБОУ ВПО УГГУ, МД-13 НАЗВАНИЕ ДОКЛАДА
	Список использованной литературы

Краткое содержание статьи должно быть представлено на 7-10 слайдах, выполненных в PowerPoint.

2.4 Подготовка к тесту

Тест направлен на проверку страноведческих знаний и знаний межкультурной коммуникации. Для этого студентам необходимо повторить материал, представленный в *Социально-культурной сфере общения* по теме «Страны изучаемого языка» (Я и мир). Для успешного написания теста изучите следующий материал:

THE GEOGRAPHICAL POSITION OF GREAT BRITAIN

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland covers an area of some 244 thousand square miles. It is situated on the British Isles. The British Isles are separated from Europe by the Strait of Dover and the English Channel. The British Isles are washed by the North Sea in the east and the Atlantic Ocean in the west.

England is in the southern and central part of Great Britain. Scotland is in the north of the island. Wales is in the west. Northern Ireland is situated in the north-eastern part of Ireland.

England is the richest, the most fertile and most populated part in the country. There are mountains in the north and in the west of England, but all the rest of the territory is a vast plain. In the northwestern part of England there are many beautiful lakes. This part of the country is called Lake District.

Scotland is a land of mountains. The Highlands of Scotland are among the oldest mountains in the world. The highest mountain of Great Britain is in Scotland too. The chain of mountains in Scotland is called the Grampians. Its highest peak is Ben Nevis. It is the highest peak not only in Scotland but in the whole Great Britain as well. In England there is the Pennine Chain. In Wales there are the Cumbrian Mountains.

There are no great forests on the British Isles today. Historically, the most famous forest is Sherwood Forest in the east of England, to the north of London. It was the home of Robin Hood, the famous hero of a number of legends.

The British Isles have many rivers but they are not very long. The longest of the English rivers is the Severn. It flows into the Irish Sea. The most important river of Scotland is the Clyde. Glasgow stands on it. Many of the English and Scottish rivers are joined by canals, so that it is possible to travel by water from one end of Great Britain to the other.

The Thames is over 200 miles long. It flows through the rich agricultural and industrial districts of the country. London, the capital of Great Britain, stands on it. The Thames has a wide mouth, that's

why the big ocean liners can go up to the London port. Geographical position of Great Britain is rather good as the country lies on the crossways of the see routes from Europe to other parts of the world. The sea connects Britain with most European countries such as Belgium, Holland, Denmark, Norway and some other countries. The main sea route from Europe to America also passes through the English Channel.

United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland occupies the territory of the British Isles. They lie to the north-west of Europe.

Once upon a time the British Isles were an integral part of the mainland. As a result of sinking of the land surface they became segregated. Great Britain is separated from the continent by the English Channel. The country is washed by the waters of the Atlantic Ocean. Great Britain is separated from Belgium and Holland by the North Sea, and from Ireland — by the Irish Sea.

There are several islands along the coasts. The total area of the British Isles is 325 000 km2. The main islands are Great Britain and Ireland.

The surface of the country is much varied. Great Britain is the country of valleys and plains.

The insular geographical position of Great Britain promoted the development of shipbuilding, different trading contacts with other countries. It has also allowed the country to stay independent for quite a long period of time.

THE BRITISH PARLIAMENT

The British Parliament is the oldest in the world. It originated in the 12th century as Witenagemot, the body of wise councillors whom the King needed to consult pursuing his policy. The British Parliament consists of the House of Lords and the House of Commons and the Queen as its head.

The House of Commons plays the major role in law-making. It consists of Members of Parliament (called MPs for short). Each of them represents an area in England, Scotland, Wales and Ireland.

MPs are elected either at a general election or at a by-election following the death or retirement. Parliamentary elections are held every 5 years and it is the Prime Minister who decides on the exact day of the election. The minimum voting age is 18. And the voting is taken by secret ballot.

The election campaign lasts about 3 weeks, The British parliamentary system depends on political parties.

The party which wins the majority of seats forms the government and its leader usually becomes Prime Minister. The Prime Minister chooses about 20 MPs from his party to become the cabinet of ministers. Each minister is responsible for a particular area in the government. The second largest party becomes the official opposition with its own leader and «shadow cabinet». The leader of the opposition is a recognized post in the House of Commons.

The parliament and the monarch have different roles in the government and they only meet together on symbolic occasions, such as coronation of a new monarch or the opening of the parliament. In reality, the House of Commons is the one of three which has true power.

The House of Commons is made up of six hundred and fifty elected members, it is presided over by the speaker, a member acceptable to the whole house. MPs sit on two sides of the hall, one side for the governing party and the other for the opposition. The first 2 rows of seats are occupied by the leading members of both parties (called «front benches»). The back benches belong to the rank-and-life MPs.

Each session of the House of Commons lasts for 160-175 days. Parliament has intervals during his work. MPs are paid for their parliamentary work and have to attend the sittings.

As mention above, the House of Commons plays the major role in law making. The procedure is the following: a proposed law («a bill») has to go through three stages in order to become an act of Parliament; these are called «readings».

The first reading is a formality and is simply the publication of the proposal. The second reading involves debate on the principles of the bill; it is examination by parliamentary committee.

And the third reading is a report stage, when the work of the committee is reported on to the house. This is usually the most important stage in the process.

When the bill passes through the House of Commons, it is sent to the House of Lords for discussion, when the Lords agree it, the bill is taken to the Queen for royal assent, when the Queen sings the bill, it becomes act of the Parliament and the Law of the Land.

The House of Lords has more than 1000 members, although only about 250 take an active part in the work in the house. Members of this Upper House are not elected; they sit there because of their rank. The chairman of the House of Lords is the Lord Chancellor. And he sits on a special seat, called «Woolsack».

The members of the House of Lords debate the bill after it has been passed by the House of Commons. Some changes may be recommended and the agreement between the two houses is reached by negotiations.

BRITISH TRADITIONS AND CUSTOMS

British nation is considered to be the most conservative in Europe. It is not a secret that every nation and every country has its own customs and traditions. In Great Britain people attach greater importance to traditions and customs than in other European countries. Englishmen are proud of their traditions and carefully keep them up. The best examples are their queen, money system, their weights and measures.

There are many customs and some of them are very old. There is, for example, the Marble Championship, where the British Champion is crowned; he wins a silver cup known among folk dancers as Morris Dancing. Morris Dancing is an event where people, worn in beautiful clothes with ribbons and bells, dance with handkerchiefs or big sticks in their hands, while traditional music-sounds.

Another example is the Boat Race, which takes place on the river Thames, often on Easter Sunday. A boat with a team from Oxford University and one with a team from Cambridge University hold a race.

British people think that the Grand National horse race is the most exciting horse race in the world. It takes place near Liverpool every year. Sometimes it happens the same day as the Boat Race takes place, sometimes a week later. Amateur riders as well as professional jockeys can participate. It is a very famous event.

There are many celebrations in May, especially in the countryside.

Halloween is a day on which many children dress up in unusual costumes. In fact, this holiday has a Celtic origin. The day was originally called All Halloween's Eve, because it happens on October 31, the eve of all Saint's Day. The name was later shortened to Halloween. The Celts celebrated the coming of New Year on that day.

Another tradition is the holiday called Bonfire Night. On November 5, 1605, a man called Guy Fawkes planned to blow up the Houses of Parliament where the king James 1st was to open Parliament on that day. But Guy Fawkes was unable to realize his plan and was caught and later, hanged. The British still remember that Guy Fawkes' Night. It is another name for this holiday. This day one can see children with figures, made of sacks and straw and dressed in old clothes. On November 5th, children put their figures on the bonfire, burn them, and light their fireworks.

In the end of the year, there is the most famous New Year celebration. In London, many people go to Trafalgar Square on New Year's Eve. There is singing and dancing at 12 o'clock on December 31st.

A popular Scottish event is the Edinburgh Festival of music and drama, which takes place every year. A truly Welsh event is the Eisteddfod, a national festival of traditional poetry and music, with a competition for the best new poem in Welsh. If we look at English weights and measures, we can be convinced that the British are very conservative people. They do not use the internationally accepted measurements. They have conserved their old measures. There are nine essential measures. For general use, the smallest weight is one ounce, then 16 ounce is equal to a pound. Fourteen pounds is one stone.

The English always give people's weight in pounds and stones. Liquids they measure in pints, quarts and gallons. There are two pints in a quart and four quarts or eight pints are in one gallon. For length, they have inches: foot, yards and miles.

LONDON

As well as being the capital of England, London is the capital of the United Kingdom. London was founded by the Romans in 43 A.D. and was called Londinium. In 61 A.D. the town was burnt down and when it was rebuilt by the Romans it was surrounded by a wall. That area within the wall is now called the City of London. It is London's commercial and business centre. It contains the Bank of England, the Stock Exchange and the head offices of numerous companies and corporations. Here is situated the Tower of London.

The Tower was built by William the Conqueror who conquered England in 1066. He was crowned at Westminster Abbey. Now most of the Government buildings are located there.

During the Tudor period (16th century) London became an important economic and financial centre. The Londoners of the Elizabethan period built the first theatres. Nowadays the theatre land is stretched around Piccadilly Circus. Not far from it one can see the British Museum and the «Covent Garden» Opera House.

During the Victorian period (19th century) London was one of the most important centers of the Industrial Revolution and the centre of the British Empire. Today London is a great political centre, a great commercial centre, a paradise for theatre-goers and tourists, but it is also a very quiet place with its parks and its ancient buildings, museums and libraries.

LONDON

London is the capital of Great Britain, its political, economic and commercial center. It`s one of the largest cities in the world and the largest city in Europe. Its population is about 9 million. London is one of the oldest and most interesting cities in the world. Traditionally it`s divided into several parts: the City, Westminster, the West End and the East End.

They are very different from each other and seem to belong to different towns and epochs. The heart of London is the City, its financial and business center. Numerous banks, offices and firms are situated there, including the Bank of England, the Stock Exchange and the Old Bailey. Few people live here, but over a million people come to the City to work. There are some famous ancient buildings within the City. Perhaps the most striking of them in St. Paul`s Cathedral, the greatest of British churches. St. Paul`s Cathedral has always dominated the center of London. It stands on the site of former Saxon and Norman churches. They latter were destroyed in the Great Fire and the present building, completed in 1710, is the work of the eminent architect Sir Christopher Wren. It is an architectural masterpiece.

Londoners have a particular affection for St. Paul`s, which is the largest Protestant Church in England. Its high dome, containing the remarkable Whispering Gallery, is a prominent landmark towering above the multistoried buildings which line the river-bank.

The Tower of London was one of the first and most impressive castles built after the Norman invasion of England in 1066. Since the times of William I various kings have built and extended the Tower of London and used it for many purposes. The Tower has been used as a royal palace, an observatory, an arsenal, a state prison, and many famous and infamous people have been executed within its walls. It is now a museum. For many visitors the principal attraction is the Crown Jewels, the finest precious stones of the nation. A fine collection of armour is exhibited in the keep. The security of the Tower is ensured by a military garnison and by the Yeoman Warders or Beefeaters, who still wear their picturesque Tudor uniform.

Westminster is the historic, the governmental part of London. Westminster Abbey is a national shrine where the kings and queens are crowned and famous people are buried. Founded by Edward the Confessor in 1050, the Abbey was a monastery for along time. The present building dates largely from the times of Henry 3, who began to rebuild the church, a task which lasted nearly 300 years. The West towers were added in the eighteenth century. Since William I almost every English monarch has been

crowned in this great church, which contains the tombs and memorials of many of Britain`s most eminent citizens: Newton, Darwin, Chaucer, Dickens, Tennyson, Kipling and etc. One of the greatest treasures of the Abbey is the oaken Coronation Chair made in 1300. The Abbey is also known for its Poet`s Corner. Graves and memorials to many English poets and writers are clustered round about.

Across the road from Westminster Abbey is Westminster Palace, or the Houses of Parliament, the seat of the British Parliament. The Parliament of Great Britain and Northern Ireland consists of the House of Lords and the House of Commons. The House of Lords consists of just over 1,000 members of the different grades of nobility — dukes, marquises, earls, viscounts and barons.

The House of Commons consists of 650 members. They are elected by secret ballot by men and women aged 18 and over. Every Parliament is divided into Sessions. Each of these may last a year and usually begins early in November. The Clock Tower, which contains the hour-bell called Big Ben, is known over the world. The bell is named after Sir Benjamin Hall.

Buckingham Palace is the official residence of the Queen. The West End is the richest and most beautiful part of London. It is the symbol of wealth and luxury. The best hotels, shops, restaurants, clubs, and theatres are situated there. There are splendid houses and lovely gardens belonging to wealthy people.

Trafalgar Square is the geographical center of London. It was named in memory of Admiral Nelson`s victory in the battle of Trafalgar in 1805. The tall Nelson`s Column stands in the middle of the square. On the north side of Trafalgar Square is the National Gallery and the National Portrait Gallery.

Not far away is the British Museum — the biggest museum in London. It contains a priceless collection of ancient manuscripts, coins, sculptures, est., and is famous for its library.

The East End is the poorest district of London. There are a lot of factories, workshops and docks here. The streets are narrow, the buildings are unimpressive. The East End is densely populated by working class families.

PLACES OF INTERESTS IN GREAT BRITAIN

Britain is rich in its historic places which link the present with the past. The oldest part of London is Lud Hill, where the city is originated. About a mile west of it there is Westminster Palace, where the king lived and the Parliament met, and there is also Westminster Abby, the coronation church. Liverpool, the «city of ships», is England's second greatest port, ranking after London. The most interesting sight in the Liverpool is the docks. They occupy a river frontage of seven miles.

The University of Liverpool, established in 1903, is noted for its School of Tropical Medicine. And in the music world Liverpool is a well-known name, for it's the home town of «The Beatles».

Stratford-on-Avon lies 93 miles north-west of London. Shakespeare was born here in 1564, and here he died in 1616.

Cambridge and Oxford Universities are famous centers of learning. Stonehenge is a prehistoric monument, presumably built by Druids, members of an order of priests in ancient Britain. Tintagel Castle is King Arthur's reputed birthplace. Canterbury Cathedral is the seat of the Archbishop of Canterbury, head of the Church of England.

The British Museum is the largest and richest museum in the world. It was founded in 1753 and contains one of the world's richest collections of antiquities. The Egyptian Galleries contain human and animal mummies. Some parts of Athens' Parthenon are in the Greek section.

Madam Tussaud's Museum is an exhibition of hundreds of life-size wax models of famous people of yesterday and today. The collection was started by Madam Tussaud, a French modeller in wax, in the 18th century. Here you can meet Marilyn Monroe, Elton John, Picasso, the Royal Family, the Beatles and many others: writers, movie stars, singers, politicians, sportsmen, etc.

5. Подготовка к экзамену

Подготовка к экзамену включает в себя повторение всех изученных тем курса.

Билет на экзамен включает в себя тест и практико-ориентированное задание.

Наименование оценочного средства	*Характеристика оценочного средства*	*Методика применения оценочного средства*	*Наполнение оценочного средства в КОС*	*Составляющая компетенции, подлежащая оцениванию*
Экзамен:				
Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Тест состоит из 20 вопросов.	КОС - тестовые задания	Оценивание уровня знаний, умений, владений
Практико-ориентированное задание	Задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию	Количество заданий в билете – 1. Предлагаются задания по изученным темам в виде практических ситуаций.	КОС- Комплект заданий	Оценивание уровня знаний, умений и навыков

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

по дисциплине

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Авторы: Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.

Одобрена на заседании кафедры

Безопасности горного производства

(название кафедры)

Зав. кафедрой _____

(подпись)

Елохин В.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 20.09.2023

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Горно-механического факультета

(название факультета)

Председатель _____

(подпись)

Осипов П.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 20.10.2023

(Дата)

Екатеринбург

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Цель практического занятия — закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Человек и среда обитания: воздействия негативных факторов окружающей среды на человека», и формирование практических навыков расчета воздухообмена в производственных помещениях необходимого для очистки воздуха от вредностей: для удаления вредных веществ (выделяющихся вредных газов, паров и пыли); для удаления излишних водяных паров; для удаления избыточного тепла.

Общие сведения. Среда обитания — это окружающая человека среда, осуществляющая через совокупность факторов (физических, биологических, химических и социальных) прямое или косвенное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье, трудоспособность и потомство. В жизненном цикле человек и окружающая среда обитания непрерывно взаимодействуют и образуют постоянно действующую систему «человек — среда обитания», в которой человек реализует свои физиологические и социальные потребности. В составе окружающей среды выделяют природную, техногенную, производственную и бытовую среду. Каждая среда может представлять опасность для человека. В данной работе рассматривается расчет потребного воздухообмена (L м^3/ч), для очистки воздуха от вредных газов и паров и для удаления избыточного тепла с помощью механической общеобменной вентиляции.

Задание. В помещении объемом V работают n человек со средней производительностью a каждый. Они производят покраску и шпаклевку изделий нитро- (на основе ацетона) красками, эмалями и шпаклевками, для чего используется ручное и механизированное оборудование. В этом же помещении производится пайка N контактов припоем ПОС-60. Источники тепловыделения

– оборудование мощностью Рном и осветительная сеть мощностью Роев из люминесцентных ламп. Расчеты вести для холодного периода года. Помещение имеет *К* окон направленных на север размерами 2,5х1,75 м с двойным остеклением и деревянными рамами. Категория работ – III (тяжелая).

Рассчитать потребный воздухообмен и определить кратность воздухообмена для: 1) испарений растворителей и лаков; 2) при пайке припоем ПОС-60; 3) удаления выделяемой людьми углекислоты; 4) удаления избыточного тепла.

Методика и порядок расчета воздухообмена для очистки воздуха.

Потребный воздухообмен определяется по формуле

м^3/ч, (1.1)

где *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; *G*, г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; $x_в$, мг/м^3 – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [1]; $x_н$, мг/м^3 – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338- 03) 4 .

Применяется также понятие кратности воздухообмена (n), которая показывает сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Значение n может быть достигнуто естественным воздухообменом без устройства механической вентиляции.

Кратность воздухообмена определяется по формуле

ч$^{-1}$, (1.2)

где n, раз/ч – кратность воздухообмена; *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; V_n – внутренний объем помещения, м^3.

Согласно СП 2.2.1.1312-03, кратность воздухообмена n > 10 недопустима.

Так как $x_н$ определяется по табл. 1.1 прил.1, а $x_в$ по табл. 1.2 прил.1, то для расчета потребного воздухообмена необходимо в каждом случае определять

количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения.

Таблица 1.0

Исходные данные для расчёта потребного воздухообмена

№ вар.	*a*, $м^2/ч$	Материал	*n* чел.	*V* $м^3$	*N* шт/час	Местность	$P_{ном.}$ кВт	$P_{осв.}$ кВт	*m* окон
1	2	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	100	40	Сельские населенные пункты	10	0,5	2
2	1,5		2	200	35		20	0,5	3
3	1		3	300	400		30	1	4
4	2		4	400	45	Малые города	40	1	5
5	3	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	500	305		200	1	6
6	4		1	600	48		150	1,5	6
7	3,5		1	700	450	Большие города	200	1	6
8	5		1	800	480		100	2	8
9	0,2	Шпаклевка кистью	3	80	325		10	0,5	2
10	0,3		4	200	420	Сельские населенные пункты	20	1	4
11	1,5	Шпаклевка механизир,	1	200	250		30	1	3
12	1		2	300	450		40	1,5	4
13	0,8	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	150	300	Малые города	50	0,6	2
14	1		2	150	48		60	0,8	3
15	1,2		1	120	335		70	1	2
16	0,7		2	200	400	Большие города	80	1,2	4
17	2	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	200	280		90	0,6	4
18	2,5		2	400	480		100	0,8	6
19	2,2		1	400	290	Сельские населенные пункты	150	1,2	8
20	1,8		2	600	300		200	1,5	8
21	0,3	Шпаклевка кистью	1	80	200		250	0,5	I
22	0,4		2	100	250	Малые города	300	0,6	2
23	1	Шпаклевка механизир.	1	150	242		60	1	2
24	1		2	400	440	Большие города	80	1	3
25	1,5	Шпаклевка	1	100	270		100	1,2	4

26	2	кистью	3	200	180		150	0,5	6

Рассмотрим отдельные характерные случаи выделения вредных веществ в воздух помещения и определения потребного воздухообмена.

1.1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле

$$G = \frac{a \cdot A \cdot m \cdot n}{200}, \text{ г/ч}, \qquad (1.3)$$

где a, м^2/ч – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью – 12 м^2/ч, пульверизатором – 50 м^2/ч); A, г/м^2 – расход лакокрасочных материалов; m, % – процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах; n – число рабочих, одновременно занятых на покраске.

Численные значения величин A и m определяются по табл. 1.3 прил. 1.

Пример. Определить количество выделяющихся в воздух помещения летучих растворителей.

Решение:

По табл. 3 прил. 1 для цветного аэролака при окраске распылением находим, что A = 180 г/м^2, m = 75 %, тогда G = 50·180·75·2/100 = 13500 г/ч. Далее определяем потребный воздухообмен в помещении по формуле (1.3). Находим для ацетона из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1, что $x_в$ = 200 мг/м^3, $x_н$ = 0,35 мг/м^3, тогда L = 13500·1000/(200 - 0,35) = 67500 м^3/ч.

Ответ: L = 67500 м^3/ч.

1.2. Определение потребного воздухообмена при пайке электронных схем

Пайка осуществляется свинцово-оловянным припоем ПОС-60, который содержит C = 0,4 доли объема свинца и 60 % олова. Наиболее ядовиты аэрозоли (пары) свинца.

В процессе пайки из припоя испаряется до B = 0,1 % свинца, а на 1 пайку расходуется 10 мг припоя. При числе паек – N, количество выделяемых паров свинца определяется по формуле

[illegible] мг/ч, (1.4)

где G, г/ч – количество выделяемых паров свинца; C – содержание свинца; B – % свинца; N – число паек.

Пример. В помещении объемом $V_п$ = 1050 м^3 три человека осуществляют пайку припоем ПОС-40 с производительностью по 100 контактов в час. Найти требуемую кратность воздухообмена.

Решение:

По формуле (1.4) определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух: G = 0,6·0,001·10·100·3 = 1,8 мг/ч. Далее определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1). Находим из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1 для свинца и его соединений $x_в$ = 0,01 мг/м^3; $x_н$ = 0,001 мг/м^3. Тогда L = 1,8 / (0,01- 0,001) = 200,0 м^3/ч.

Ответ: L = 185,5 м^3/ч.

1.3. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота (CO_2). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой концентрации её.

Количество углекислоты в зависимости от возраста человека и

выполняемой работы, а также допустимые концентрации углекислоты для различных помещений приведены в табл. 1.4 и 1.5 прил. 1.

Содержание углекислоты в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержания CO_2 следующие значения: для сельских населенных пунктов – 0,33 л/м^3, для малых городов (до 300 тыс. жителей) – 0,4 л/м^3, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – 0,5 л/м^3.

Пример. Определить потребную кратность воздухообмена в помещении, где работают 3 человека.

Решение:

По табл. 1.4 прил.1 определяем количество CO_2, выделяемой одним человеком g = 23 л/ч. По табл. 1.5 прил. 1 определяем допустимую концентрацию CO_2. Тогда $x_в$ = 1 л/м3 и содержание CO_2 в наружном воздухе для больших городов $x_н$ = 0,5 л/м^3 .Определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1) $L = 23 \cdot 3/(1- 0,5) = 138$ м$^{3/}$ч. Ответ: L = 138 м^3/ч.

1.4. Определение потребного воздухообмена при выделении газов (паров) через неплотности аппаратуры, находящейся под давлением

Производственная аппаратура, работающая под давлением, как правило, не является вполне герметичной. Степень герметичности аппаратуры уменьшается по мере ее износа. Считая, что просачивание газов через неплотности подчиняется тем же законам, что и истечение через небольшие отверстия, и, предполагая, что истечение происходит адиабатически, количество газов, просочившихся через неплотности, можно определить по формуле

$$G = k \cdot c \cdot v \sqrt{\frac{M}{T}}, \text{ кг/ч,} \qquad (1.5)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования (k = 1–2); c – коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате; v – внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м^3; M – молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре; T – абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Таблица 1.2

Коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате

Давление p, атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

Пример. Система, состоящая из аппаратов и трубопроводов, заполнена сероводородом. Рабочее давление в аппаратуре p_a = 3 атм, а в проводящих трубопроводах $p_а$=4 атм. Внутренний объем аппаратуры v_a = 5 м^3, объём трубопроводов, $v_{тр}$ = 1,2 м^3. Температура газа в аппаратуре – $t_а$ = 120 °С, в трубопроводе – $t_{тр}$ = 25 °С. Определить потребный воздухообмен в помещении.

Решение:

Определяем величины утечек сероводорода (H_2S) из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем k = 1,5; c = 0,169 (по табл. 1.2); M = 34, для H_2S; Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_а = 1{,}5 \cdot 0{,}169 \cdot 5 \sqrt{\frac{34}{293}} = 0{,}372$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{тр} = 1{,}5 \cdot 0{,}172 \cdot 1{,}2 = 0{,}106$$

$$G = G_а + G_{тр} = 0{,}372 + 0{,}104 = 0{,}476 \text{ кг/ч}$$

Используя данные табл. 1.1 прил. 1, находим, что для сероводорода

$x_в$ =10 мг/м^3; $x_н$ = 0,008 мг/м^3. Потребный воздухообмен равен

Ответ: L = 47638,1 м^3/ч

Вывод: В воздух помещения одновременно могут выделяться несколько вредных веществ. По действию на организм человека они могут быть однонаправленными и разнонаправленными. Для однонаправленных веществ расчетные значения потребного воздухообмена суммируются, а для разнонаправленных веществ выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Пример. Для первой вредности в воздухе рабочей зоны – вредных (токсичны) веществ в рассмотренных примерах все относятся к веществам разнонаправленного действия, поэтому принимаем к дальнейшему расчету максимальное из полученных значений, т. е. L = 67500 м^3/ч (потребный воздухообмен для паров растворителей при окраске).

Для проверки соответствия требованиям устройства вентиляции определим кратность воздухообмена n = 67500/4800 = 14,1 ч$^{-1}$. Данное значение превышает установленную величину – 10 ч$^{-1}$, поэтому необходимо принять дополнительное решение по устройству вентиляции в помещении. Например, таким решением может быть исключение распространения от двух мест окраски растворителей по всему помещению за счет применения местной вытяжной вентиляции.

Расчет объёма воздуха удаляемого местной вентиляцией определяется по формуле

, (1.6)

где F – площадь сечения всасывающих отверстий, м^2; v – скорость воздуха

в сечении вытяжной вентиляции, м/с. Рекомендуется принимать значение скорости в интервале 0,8-1,5 м/с.

Таким образом, потребный воздухообмен для оставшихся вредных веществ принимаем для выделений сероводорода: $L = 47638{,}1$ м^3/ч.

Проверка:

$$n = 47638,\ 1/4800 = 9,\ 9\ \text{ч}^{-1}.$$

1.5. Расчёт потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле

$$L = \frac{Q_{изб}}{\gamma_в \cdot c_в \cdot \Delta t},\ \text{м}^3/\text{ч}, \qquad (1.7)$$

где L, м^3/ч – потребный воздухообмен; $Q_{изб}$, ккал/ч – избыточное тепло; $\gamma_в$ = 1,206 кг/м^3 – удельная масса приточного воздуха; $c_в$ = 0,24 ккал/кг град – теплоемкость воздуха;

$$\Delta t = t_{вых} - t_{пр},\ ^oC \qquad (1.8)$$

где $t_{вых}$, ^{o}C – температура удаляемого воздуха; $t_{пр}$, ^{o}C – температура приточного воздуха.

Величина Δt при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха – $Q_н$: при $Q_н \le 20$ ккал/м^3·ч $\Delta t = 6\ ^o$C; при $Q_н > 20$ ккал/м^3·ч $\Delta t = 8\ ^o$C;

$$Q_н = \frac{Q_{изб}}{V_n},\ \text{ккал/ м}^3\cdot\text{ч}, \qquad (1.9)$$

где V_n, м^3 – внутренний объем помещения.

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле

$$Q_{изб} = Q_{яв} + Q_{скр} + Q_л + Q_р - Q_{отд},\ \text{ккал/ч}, \qquad (1.10)$$

где $Q_{об}$, ккал/ч – тепло, выделяемое оборудованием; $Q_{осв}$, ккал/ч – тепло, выделяемое системой освещения; $Q_{л}$, ккал/ч – тепло, выделяемое людьми в помещении; $Q_{р}$, ккал/ч – тепло, вносимое за счет солнечной радиации; $Q_{отд}$, ккал/ч – теплоотдача естественным путем.

Определяем количество тепла, выделяемого оборудованием

$$Q_{об} = 860 \times P_{об} \times y_1, \text{ ккал/ч} \quad (1.11)$$

где Y_1 – коэффициент перехода тепла в помещение, зависящий от вида оборудования; $P_{об}$, кВт – мощность, потребляемая оборудованием;

$$P_{об} = P_{ном} \times y_2 \times y_3 \times y_4, \text{ кВт}, \quad (1.12)$$

где $P_{ном}$, кВт – номинальная (установленная) мощность электрооборудования помещения; Y_2 – коэффициент использования установленной мощности, учитывающий превышение номинальной мощности над фактически необходимой; Y_3 – коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности (во времени) к максимально необходимой; Y_4 – коэффициент одновременности работы оборудования.

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принимать равным:

$$y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 = 0,25 \quad (1.13)$$

Определяем количество тепла, выделяемого системой освещения

$$Q_{осв} = 1000 \times P_{осв} \times \alpha \times b \times \cos(\varphi), \quad (1.14)$$

где α – коэф. перевода электрической энергии в тепловую для лампы накаливания α = 0,92 – 0,97, люминесцентной лампы α = 0,46 – 0,48; b – коэффициент одновременности работы (при работе всех светильников b = 1); cos (φ) = 0,7 – 0,8 – коэффициент мощности; $P_{осв}$, кВт – мощность осветительной установки.

Определяем количество тепла, выделяемого находящимися в помещении людьми

$$Q_{л} = N \times q_{л}, \quad (1.15)$$

где N – количество людей в помещении; $q_л$, ккал/ч – тепловыделения одного человека табл. 1.6 прил. 1.

Определяем количество тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$Q_р = K \times S \times q_{ост}, \quad (1.16)$$

где K – количество окон; S, м^2 – площадь одного окна; $q_{ост}$, ккал/ч – солнечная радиация через остекленную поверхность табл. 1.7 прил. 1.

Определяем теплоотдачу, происходящую естественным путем. Если нет дополнительных условий, то можно считать ориентировочно, что $Q_{отд} = Q_р$ для холодного и переходного периодов года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 ^{o}C). Для теплого периода года (среднесуточная температура воздуха выше +10 ^{o}C) принимаем $Q_{отд} = 0$.

Общий вывод: Среди полученных расчетных значений потребного воздухообмена для вредных веществ и удаления избыточного тепла выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Приложение 1

Таблица 1.1

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03)

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Азота диоксид	0,085	0,04	п
Азота оксид	0,6	0,06	п
Акролеин	0,03	0,03	п
Амилацетат	0,10	0,10	п
Аммиак	0,2	0,04	п
Ацетон	0,35	0,35	п
Бензин (углеводороды)	5,0	1,5	п
Бензол	1,5	0,1	п
Бутан	200	-	п
Бутилацетат	0,1	0,1	п
Винилацетат	0,15	0,15	п
Дихлорэтан	3,0	1,0	п
Ксилол	0,2	0,2	п
Марганец и его соединения	0,01	0,001	а
Метилацетат	0,07	0,07	п
Мышьяк и его неорг. соединения	-	0,003	а
Озон	0,16	0,03	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	0,15	0,05	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	0,5	0,15	а
Ртути хлорид (сулема)	-	0,0003	а
Сажа	0,15	0,05	а
Свинец и его соединения	0,001	0,0003	а
Сернистый ангидрид	0,5	0,15	п
Серная кислота	0,3	0,1	а

Продолжение табл. 1.1

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Сероводород	0,008	-	п
Сероуглерод	0,03	0,005	п
Спирт бутиловый	0,16	-	п
Спирт изобутиловый	0,1	0,1	п
Спирт метиловый	1,0	0,5	п
Спирт этиловый	5	5	п
Стирол	0,04	0,002	п
Толуол	0,6	0,6	п
Углерода оксид	5,0	3,0	п
Фенол	0,01	0,003	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,02	0,005	п
Хлор	0,1	0,03	п
Хлористый водород	0,2	0,2	п
Этилацетат	0,1	0,1	п

Примечание: п – пары и/или газы; а – аэрозоль

Таблица 1.2

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухерабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88)

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Азота диоксид	2,0	3	п
Азота оксиды	5,0	3	п
Акролеин	0,2	2	п
Амилацетат	100	4	п
Аммиак	20	4	п
Ацетон	200	4	п
Бензин (углеводороды)	100	4	п
Бензол	15/5	2	п
Бутан	300	4	п
Бутилацетат	200	4	п
Винилацетат	10,0	4	п
Дихлорэтан	10,0	2	п
Ксилол	50,0	3	п
Марганец и его соединения (от 2-30 %)	0,1	2	а
Метилацетат	100	4	п
Мышьяк и его неорг. соединения	0,04/0,01	2	а
Озон	0,1	1	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	1,5	4	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	4,0	4	а
Ртути хлорид (сулема)	0,2/0,05	1	а
Сажа	4,0	3	а
Свинец и его соединения	0,01/0,005	1	а
Серная кислота	1,0	2	а
Сернистый ангидрид	10	3	п
Сероводород	10,0	3	п

Продолжение табл. 1.2

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Сероуглерод	1,0	3	п
Спирт бутиловый	10,0	3	п
Спирт изобутиловый	10,0	3	п
Спирт метиловый	5,0	3	п
Спирт этиловый	1000	4	п
Стирол	30/10	3	п
Толуол	50	3	п
Углерода оксид	20	4	п
Фенол	0,3	2	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,5/0,1	2	п
Хлор	1,0	2	п
Хлористый водород	5,0	1	п
Этилацетат	200	4	п

Примечание: значение в числителе – максимально разовые; в знаменателе – среднесменные

Таблица 1.3

Расходы лакокрасочных материалов на один слой покрытия изделий и содержание в них летучих растворителей

Наименование лакокрасочных материалов/способ нанесения краски	Расход лакокрасочных материалов, *A*, г/м^2	Содержание летучей час- ти, *m*, %
Нитролаки и краски		
Бесцветный аэролак /кистью	200	92
Цветные аэролаки/распыление пульверизатором	180	75
Нитрошпаклевка /кистью	100-180	10-35
Нитроклей /кистью	160	80-85
Масляные лаки и эмали		
Окраска распылением	60-90	35

Таблица 1.4

Количество углекислоты, выделяемой человеком при разной работе

Возраст человека и характер работы	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/ч
Взрослые:		
при физической работе	45	68
при легкой работе (в учреждениях)	23	35
в состоянии покоя	23	35
Дети до 12 лет	12	18

Таблица 1.5

Предельно-допустимые концентрации углекислоты

Наименование помещений	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/кг
Для постоянного пребывания людей (жилые ком.)	1	1,5
Для пребывания детей и больных	0,7	1
Для учреждений	1,25	1,75
Для кратковременного пребывания людей	2	3

Таблица 1.6

Количество тепловыделений одним человеком при различной работе

Категория тяжести работы		Количество тепловыделений $q_л$, ккал/ч в зависимости от окружающей температуры воздуха			
		15 ºС	20 ºС	25 ºС	30 ºС
Легкая	I	100	70	50	30
Средней тяжести	II-а	100	70	60	30
Средней тяжести	II-б	110	80	70	35
Тяжелая	III	110	80	80	35

Таблица 1.7

Солнечная радиация через остекленную поверхность

	Солнечная радиация, $q_{ост}$, ккал/ч от стороны света и широты, град.														
	ЮГ			ЮГО-ВОСТОК ЮГО-ЗАПАД				ВОСТОК ЗАПАД				СЕВЕР, СЕВЕР. ВОСТОК СЕВЕРО-ЗАПАД			
	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением и деревянными рамами	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением и металлическими рамами	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фо- нарь с двойным остеклением и металлическими переплет.	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 342 с.

2. Каменев П.Н. Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 289 с.

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

4. ГН2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2. ОЦЕНКА РИСКА

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Основы теории безопасности: системный анализ безопасности», и формирование практических навыков расчета индивидуального и группового (социального) риска в конкретных ситуациях.

Общие сведения. Опасность – одно из центральных понятий безопасности жизнедеятельности (БЖД).

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически или биологически активные компоненты, а также характеристики (параметры), несоответствующие условиям жизнедеятельности человека. Можно сказать, что опасность – это риск неблагоприятного воздействия.

Практика свидетельствует, что абсолютная безопасность недостижима. Стремление к абсолютной безопасности часто вступает в антагонистические противоречия с законами техносферы.

В сентябре 1990 г. в г. Кельне состоялся первый Всемирный конгресс по безопасности жизнедеятельности человека как научной дисциплине. Девиз конгресса: «Жизнь в безопасности». Участники конгресса постоянно оперировали понятием «риск».

Возможны следующие определения риска:

1. Это количественная оценка опасности, вероятность реализации опасности;

2. При наличии статистических данных, это частота реализации опасностей.

Различают опасности реальные и потенциальные. В качестве аксиомы принимаются, что любая деятельность человека потенциально опасна. Реализация потенциальной опасности происходит через ПРИЧИНЫ и приводит к НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫМ ПОСЛЕДСТВИЯМ.

Сейчас перед специалистами ставится задача – не исключение до нуля безопасности (что в принципе невозможно). А достижение заранее заданной величины риска реализации опасности. При этом сопоставлять затраты и получаемую от снижения риска выгоду. Во многих западных странах для более объективной оценки риска и получаемых при этом затрат и выгод, вводят финансовую меру человеческой жизни. Заметим, что такой подход имеет противников, их довод – человеческая жизнь свята, бесценна и какие-то финансовые оценки недопустимы. Тем не менее, по зарубежным исследованиям, человеческая жизнь оценивается, что позволяет более объективно рассчитывать ставки страховых тарифов при страховании и обосновывать суммы выплат.

Поскольку абсолютная безопасность (нулевой риск) невозможна, современный мир пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска.

Суть концепции заключается в стремлении к такой безопасности, которую принимает общество в данное время. При этом учитывается уровень технического развития, экономические, социальные, политические и др. возможности. Приемлемый риск – это компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Это можно рассмотреть в следующей ситуации. После крупной аварии на Чернобыльской АЭС, правительство СССР решило повысить надежность всех ядерных реакторов. Средства были взяты из госбюджета и, следовательно, уменьшилось финансирование социальных программ здравоохранения, образования и культуры, что в свою очередь привело к увеличению социально-экономического риска. Поэтому следует всесторонне оценивать ситуацию и находить компромисс – между затратами и величиной риска.

Переход к «риску» дает дополнительные возможности повышения безопасности техносферы. К техническим, организационным, административным добавляются и экономические методы управления риском (страхование, денежные компенсации ущерба, платежи за риск и

др.). Есть здравый смысл в том, чтобы законодательно ввести квоты за риск. При этом возникает проблема расчета риска: статистический, вероятностный, моделирование, экспертных оценок, социологических опросов и др. Все эти методы дают приблизительную оценку, поэтому целесообразно создавать базы и банки данных по рискам в условиях предприятий, регионов и т.д.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с общими сведениями. Записать определения.
2. Выполнить практические задачи.

Практические задачи

Задача 1. В таблице 2.0 приведен ряд профессий по степени индивидуального риска фатального исхода в год. Используя данные табл.1 методом экспертных оценок охарактеризуйте вашу настоящую деятельность и условия вашей будущей работы.

Таблица 2.0

Классификация профессиональной безопасности

Категория	Условия профессиональной деятельности	Риск смерти (на человека в год)	Профессия
1	Безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	Текстильщики, обувщики, работники лесной промышленности, бумажного производства и др.
2	Относительно безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	Шахтеры, металлурги, судостроители и др.
3	Опасные	$1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$	Рыбопромысловики, верхолазы, трактористы и др.
4	Особо опасные	больше $1 \cdot 10^{-2}$	Летчики-испытатели, летчики реактивных самолетов.

После обсуждения письменно сформулируйте свою оценку.

Для решения следующих задач используйте формулу определения индивидуального риска

, (2.1)

где Р – индивидуальный риск (травмы, гибели, болезни и пр.); h – количество реализации опасности с нежелательными последствиями за определенный период времени (день, год и т.д.); Н – общее число участников (людей, приборов и пр.), на которых распространяется опасность.

Пример решения задачи по формуле (2.1).

Пример. Задача 1. Ежегодно неестественной смертью гибнет 250 тыс. человек. Определить индивидуальный риск гибели жителя страны при населении в 150 млн. человек.

Решение.

$Рж = 2{,}5 \cdot 10^{5} / 1{,}5 \cdot 10^{8} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}$

Или будет 0,0017. Иначе можно сказать, что ежегодно примерно 17 человек 10000 погибает неестественной смертью. Если пофантазировать и предположить, что срок биологической жизни человека равен 1000 лет, то по нашим данным оказывается, что уже через 588 лет (1:0,0017) вероятность гибели человека неестественной смертью близка к 1 (или 100%).

Примечание. Здесь и в задачах №2,3 данные приближены к России.

Задача 2. Опасность гибели человека на производстве реализуется в год 7 тыс. раз. Определить индивидуальный риск погибших на производстве при условии, что всего работающих 60 млн. человек. Сравните полученный результат с вашей экспертной оценкой из задачи 1.

Задача 3. Определить риск погибших в дорожно-транспортном происшествии (ДТП), если известно, что ежегодно гибнет в ДТП 40 тыс. человек при населении 150 млн. человек.

Задача 4. Используя данные индивидуального риска фатального

исхода в год для населения США (данных по России нет), определите свой индивидуальный риск фатального исхода на конкретный год. При этом можно субъективно менять коэффициенты и набор опасностей.

Таблица 2.1

Индивидуальный иск гибели в год

Причина	Риск	Причина	Риск
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$	Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Падения	$9 \cdot 10^{-5}$	Падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
Пожар и ожог	$4 \cdot 10^{-5}$	Электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$	Железная дорога	$4 \cdot 10^{-6}$
Отравление	$2 \cdot 10^{-5}$	Молния	$5 \cdot 10^{-7}$
Огнестрельное оружие	$1 \cdot 10^{-5}$	Все прочие	$4 \cdot 10^{-5}$
Станочное оборудование	$1 \cdot 10^{-5}$	Ядерная энергетика	$2 \cdot 10^{-10}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$	(пренебрегаемо мал. риск)	

Риск общий для американца: $P_{общ} = 6 \cdot 10^{-4}$

Сравнить полученный результат с результатом примера решения.

Задачи на риск гибели неестественной смертью в России и с риском гибели в год для американца ($P_{общ}$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русак О.Н. Труд без опасности. Л. «Лениздат», 1986, 191 с.

2. Береговой Г.Т. и др. Безопасность космических полетов. М., «Машиностроение», 1977, 320 с.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель практического занятия :закрепление теоретических знаний, полученных при изучении раздела “Гелиофизические и метеорологические фактора: микроклимат производственных помещений”, и формирование практических навыков расчета метеорологических условий в производственном помещении и гигиенической оценки параметров микроклимата.

Общие сведения:

Одним из основных условий эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях. Параметры микроклимата оказывают существенное влияние на терморегуляцию организма человека и могут привести кпереохлаждение или перегреву тела

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, определяемый действующими на организм человека факторами: сочетанием температуры воздуха, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового облучения, температуры поверхности ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, технологическое оборудование и т.д

Под рабочей зоной понимается пространство высотой до 2м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Причиной ряда заболеваний является местное и общее охлаждение. Переохлаждение организма ведет к простудным заболеваниям: ангине, катару верхних дыхательных путей, пневмонии. Установлено, что при

переохлаждении ног и туловища возникает спазм сосудов слизистых оболочек дыхательного тракта.

Перегревание возникает при избыточном накоплении тепла в организме, которое возникает при действии повышенных температур. Основными признаками перегревания являются повышение температуры тела до 38°Си более, обильное потоотделение, слабость, головная боль, учащение дыхания и пульса, изменение артериального давления и состав крови, шум в ушах, искажение цветового восприятия

Тепловой удар – это быстрое повышение температуры тела 40°С и выше. В этом случае падает артериальное давление, потоотделение прекращается, человек теряет сознание.

Организм человека обладает свойством терморегуляции – поддержание температуры тела в определенных границах (36,1…37,2°С) Терморегуляция обеспечивает равновесие между количеством тепла, непрерывно образующегося в организме человека в процессе обмена веществ, теплопродукцией и излишком тепла, непрерывно выделяемого в окружающую среду, - теплоотдачей, т.е сохраняет тепловой баланс организма человека. Количество выделившейся теплоты меняется от 8Вт до 50 Вт.

Теплопродукция. Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени в мышцах и печени. В процессе работы в организме происходят различные биохимические процессы, связанные с деятельностью мышечного аппарата и нервной системы. Энергозатраты человека, выполняющего различную работу, могут быть классифицированы на категории.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы, средние физические работы, тяжелые физические работы.

К категории 1а относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

К категории 1б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140…174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (в полиграфической промышленности, на часовом, швейном производствах, в сфере управления)

К категории 2а относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…232 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, перемещением мелких изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории 2б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории 3 относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

Теплоотдача. Количество тепла, отдаваемого организмом человека, зависит от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Теплоотдача осуществляется путем радиации, конвекции, испарения пота и дыхания. Для человека, находящегося в состояние покоя и одетого в обычную комнатную одежду, соотношение составляющих теплоотдачи имеет следующие распределения, % радиацией – 45, конвекцией – 30, испарением и дыханием – 25.

Основное значение имеет регулирование теплоотдачи, так как она является наиболее изменчивой и управляемой. Комфортные тепло ощущения у человека возникают при наличии теплового баланса организма, а также при условии его некоторого нарушения. Это обеспечивается тем, что в организме человека имеется некоторый резерв тепла, который используется им в случае охлаждения. Этот потенциальный запас тепла составляет в среднем 8360 кДж и находится главным образом во внешних слоях тканей организма на глубине 2-3

см от кожи. При известном уменьшении запаса тепла у человека появляются субъективно ощущения «прохлады», которые, если охлаждение продолжается, сменяются ощущениями «холодно», «очень холодно»

Действующими нормативными документами, регламентирующими метеорологические условия производственной среды, являются ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» Этими документами установлены влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с учетом избытков явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

В соответствии с вышеуказанным стандартом теплым периодом года считается сезон, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С.

Допустимыми считаются такие параметры микроклимата, которые при длительном воздействии могут вызывать напряжения реакции терморегуляции человека, но к нарушению состояния здоровья не приводят.

Оптимальными являются такие микроклиматические параметры, которые не вызывают напряжения реакций терморегуляции и обеспечивают высокую работоспособность человека.

Расчет показателей микроклимата базируются на опытных данных о давлении, температуре и скорости движения воздуха на рабочем месте полученных при замерах на нем с помощью соответствующих приборов

Показатели микроклимата вычисляются в следующей последовательности:

1. Атмосферное давление В, Па, на рабочем месте, измеренное с помощью барометра-анероида БАММ-1

(3.1)

где В– исправленное значение замеренного давления, Па; Вп – отсчет по прибору, Па; Вш – шкаловая поправка;Вт – температурная поправка, равная произведению температуры прибора на удельную температуру поправки прибора; Вд – добавочная поправка, Па.

Рис. 3.1 Барометр-анероид «БААМ-1»

Барометр-анероид «БААМ-1» измеряет атмосферное давление в наземных условиях в диапазоне температур от 0 до +40 С° и при относительной влажности воздуха более 80%

2. Температура воздушной среды измеряется с помощью ртутных или спиртовых термометров, а также с помощью термографов, обеспечивающих непрерывную запись температуры на ленте за определенный период времени. Температуру воздушной среды можно измерить также с помощью психрометров и термометров

3. Влажность воздуха – абсолютная и относительная определяется с помощью психрометров. Психрометр состоит из сухого и влажного термометров. Резервуар влажного термометра покрыт тканью, которая опущена в мензурку с водой. Испаряясь, вода охлаждает влажный термометр, поэтому его показания всегда ниже показания сухого.

Психрометры бывают типа Августа (Рис 3.2) и переносными, типа Ассмана (Рис 3.3). Психрометр Ассмана является более совершенным и точным прибором по сравнению с психрометром Августа. Принцип его устройства тот же, но термометры заключены в металлическую оправу, шарики термометра находятся в двойных металлических гильзах, а в головке прибора помещается вентилятор с постоянно скоростью 4 м/с.

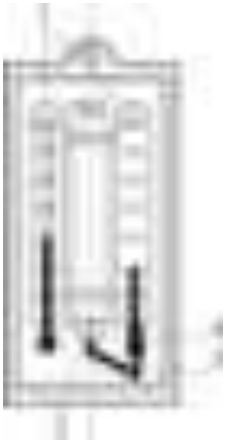


Рис. 3.2 Психрометры Августа

Рис. 3.3 Психрометр Ассмана

Влажность воздуха может быть рассчитана: 1) по давлению водяного пара, находящегося в воздухе или 2) по плотности водяного пара

При первом способе сначала определяется давление водяного параЮ находящегося в воздухе при данной температуре

$$P_{в} = P_{н.в} - cB(t_c - t_в) \quad (3.2)$$

где Рн.в– давление насыщенного водяного пара при температуре tв, зафиксированной влажным термометром, Па;с–коэффициент психрометра, зависящий от скорости движения воздуха около шарика мокрого термометра (при скорости движения воздуха до 4 м/с принимают с = 0.00074, свыше 4 м/с – 0,00066) tc и tв – температура сухого и влажного термометра,В–

барометрическое давление воздуха в момент измерения температур психрометром, Па

Определив порациональнее давление водяного пара, находят относительную влажность воздуха

$$\varphi = \frac{P_c}{P_H} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где P_{t_c} – давление насыщенного водяного пара при температуре t_c, зафиксированной влажным термометром,

При расчете влажности воздуха по плотности водяного пара определяются:

а) абсолютная влажность воздуха (масса водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре)

$$f = \frac{0{,}0035 \cdot b}{461{,}5 \cdot (273 + t_c)}, \quad (3.4)$$

где 461,5 – удельная газовая постоянная водяного пара Дж/(кг *К);

б) максимальная абсолютная влажность воздуха

$$A_{max} = \frac{0{,}0035 \cdot b_{max}}{461{,}5 \cdot (273 + t_c)}, \quad (3.5)$$

в) относительная влажность воздуха φ

$$\varphi = \frac{f}{A_{max}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

Таблица 3.0

Давление насыщенного водяного пара Р, Па при температуре воздуха

t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па
0	611	10	1228	20	2328	30	4242
1	657	11	1312	21	2486	31	4493
2	705	12	1403	22	2644	32	4754
3	759	13	1497	23	2809	33	5030
4	813	14	1599	24	2894	34	5320
5	872	15	1705	25	3168	35	5624
6	935	16	1817	26	3361	36	5941

7	1001	17	1937	27	3565	37	6275
8	1073	18	2064	28	3780	38	6625
9	1148	19	2197	29	4005	39	6991

Значение относительной влажности , найденного описанными способами, может быть проверено по данным психометрической таблицы

4. Скорость движения воздуха измеряется с помощью крыльчатых или чашечных анемометров (Рис 3.4). Крыльчатый анемометр принимается для измерения скорости воздуха до 10 м/с, а чашечный – до 30м/с. Принцип действия анемометров обоих типов основан на том, что частоты вращения крыльчатки тем больше, чем больше скорость движения воздуха. Вращение крыльчатки передается на счетный механизм. Разница в показаниях до и после измерения, деленная на время наблюдения, показывает число делений в 1 с. Специальный тарировочный паспорт, предлагаемый к каждому прибору позволяет по вычисленной величине делений определить скорость движения воздуха.

Рис 3.4 Чашечный анемометр

Рис. 3.5 Кататермометр

Скорость движения воздуха в интервале величин от 0.1 до 0.5 м/с можно определить с помощью кататермометра (Рис.3.5). Шаровой кататермометр представляет собой стартовый термометр с двумя резервуарами: шаровым внизу и цилиндрическим вверху. Шкала кататермометра имеет давление от 31 до 41 градуса. Для работы с этим прибором его предварительно нагревают на водяной бане, затем вытирают насухо и помещают в исследуемое место. По величине падения столба спирта в единицу времени на кататермометре при его охлаждении судят о скорости движения воздуха. Для измерения малых скоростей (от 0.03 до 5 м/с) при температуре в производственных помещениях не ниже 10С применяется термоанемометр. Это электрический прибор на полупроводниках, принцип его действия основан на измерении величины сопротивления датчика при изменении температуры и скорости движения воздуха.

Таблица 3.1

Значения относительной влажности

	Разность показаний сухого и влажного термометров -									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность									
0	100	81	63	45	28	11				

1	100	83	65	48	32	16				
2	100	84	68	51	35	20				
3	100	84	69	54	39	24	10			
4	100	85	70	56	42	28	14			
5	100	86	72	58	45	32	19	6		
6	100	86	73	60	47	35	23	10		
7	100	87	74	61	49	37	26	14		
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7	
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5

Продолжение табл. 3.1

11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41

28	100	93	85	78	71	65	59	52	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Скорость движения воздуха V, м/с , при замере ее анемометром АСО-3 подсчитывается по формуле

(3.7)

где n число делений в 1 с; ; и – начальный и конечный отсчеты по анемометру; t зам – продолжительность замера по прибору.

При выполнении настоящего практического занятия рекомендуется использовать формулу:

5. Гигиеническая оценка результатов расчета параметров микроклимата: производится по санитарным нормам, приведенным в ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 3.2

Оптимальные нормы температуры, относительно влажности и скорости движения воздуха по рабочей зоне производственных помещений

Период Года	Категория Работ	Температура,	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха м/с не более
Холодный (температура наружного воздуха ниже +10)	Легкая – 1 Легкая – 1б Средней тяжести – Па Средней тяжести – Пб Тяжелая – III	22-24 21-23 18-20 17-19 16-18	40-60 40-60 40-60 40-60 40-60	0,1 0,1 0,2 0,2 0,3

Теплый (температура наружного воздуха +10°С и выше)	Легкая – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легкая – 1б	22-24	40-60	0,2
	Средней тяжести – Па	21-23	40-60	0,3
	Средней тяжести – Пб	20-22	40-60	0,3
	Тяжелая - III	18-20	40-60	0,4

Пример расчета:

Исходный данные: $P_б$= 87937 Па, $P_{ср}$ = -50 Па, $t_в$ = 22 °С, $t_н$ = 16 °С, $\Delta t = -\frac{t_в - t_н}{2}$, $P_д$ = +100 Па, $n_{об}$=6000, t зам= 200с, период года – теплый.

Решение:

1. Атмосферное давление на рабочем месте (при температурной поправке)

$$P_t = t_в * \Delta t = 22 * (-10) = -220 \text{ Па}$$

$$P = P_б + P_{ср} + P_t + P_д = 87837 - 50 - 220 + 110 = 87667 \text{ Па.}$$

2. Скорость движения воздуха по исходным данным, полученным при помощи анемометра АСО-3. При числе давлений в 1с

$$n = \frac{N_{об}}{t_{зам}} = 6000 \frac{\text{об}}{200\text{с}} = 0{,}2 \text{ дел/с}$$

Скорость движения воздуха составляет;

$$V = 0{,}45n + 0{,}01 = 0{,}45 * 0{,}2 + 0{,}01 = 0{,}10 \text{ м/с}$$

3. Относительная влажность воздуха по давлению водяного пара. При давлении насыщенного водяного пара при температуре сухого термометра Рн.с = 2644 Па и температуре влажного термометра Р н.в = 1817 Па и парциальном давлении водяного пара в воздухе:

$$P_{вл} = P_{н.в} - A(t_с - t_в) \cdot B = 1817 - 0{,}0007 \cdot (22 - 16) \cdot 97837 = 1427 \text{ Па}$$

относительная влажность воздуха:

3б. Относительная влажность воздуха по плотности (массе) водяного пара. При абсолютной влажности воздуха:

И максимальной влажности воздуха:

относительная влажность воздуха равна:

3в. Правильность произведенных подсчетов подтверждают данные таблицы. При разности показаний сухого и влажного термометров Тс – Тв = 22 – 16 = 6 относительная влажность воздуха равна 54%

Варианты заданий

Для выполнения задания даются следующие показатели: отсчет по барометру Вп Температура воздуха по сухому (Тс) и влажному (Тв) термометрам психрометра, начальный (Nн) и конечный (Nк) отсчеты по анемометру, продолжительность замера скорости движения воздуха Тзам, период года (холодный, теплый) Для отсчета скорости движения воздуха использовать формулу

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте полагать равной 50 Вт/. Числовые значения исходных данных приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Числовые значения поправок к барометру

вариант	Вв, Па	Вш, Па	[illegible]	Ва, Па	Тс, °С	Тв, °С	Nн	Nк	Т зам, °С	Период года
1	110146	-100	-10	+100	23	18	6000	6246	140	Холодный
2	105752	-100	-10	+100	22	16	6107	6138	155	То же
3	97989	+75	-10	+100	18	13	6357	6407	160	То же
4	90498	+25	-10	+100	17	11	6841	6909	170	То же
5	94232	+150	-10	+100	16	11	6944	7051	200	То же
6	103379	-50	-10	+100	24	17	6107	6387	150	Теплый
7	107509	-100	-10	+100	23	17	6305	6696	187	То же
8	89371	0	-10	+100	22	15	6421	6501	190	То же
9	94263	+150	-10	+100	20	15	6725	6830	175	То же
10	96946	+100	-10	+100	19	12	6100	6176	11	То же

Порядок выполнения работы

1. Расчет и оформление практической работы провести в соответствии с примером расчета. Варианты заданий определяются пр-ем.

2. Результаты расчетов микроклимата на рабочем месте в производственном помещении занести в таблицу.

Таблица 3.4

Пример заполнения таблицы

Температура воздуха		Относительная влажность %		Скорость движения воздуха	
Фактическая данная	Оптимальная по нормам	Фактическая рассчитанная	Оптимальная по нормам	Фактическая рассчитанная	Оптимальная по нормам

3. На основании полученных результатов определить категорию работ, в соответствии с периодом года.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под микроклиматом производственных помещений?
2. Опишите характер действия климатических факторов на организм человека.
3. В чем состоит нормирование воздействий климатических факторов на человека?
4. Как определяют давление, температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха?
5. Назовите способы и средства нормализации микроклимата на рабочих местах.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ И БОРЬБА С ИЗБЫТОЧНЫМ ТЕПЛОМ В ШАХТАХ

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Комфортные условия жизнедеятельности», и овладение методикой расчета тепловыделений в выработки глубоких шахт и выбора технических решений по борьбе с избыточным теплом.

Общие сведения. Климатические условия в подземных выработках, особенно в глубоких шахтах, как правило, отличаются от климатических условий на земной поверхности. Микроклимат горных выработок (т. е. действующее в них на организм человека сочетание температуры, влажности, скорости движения воздуха, его давления и температуры окружающих поверхностей) в значительной степени зависит от теплообменных процессов, происходящих на пути движения воздуха. Под воздействием этих процессов температура шахтного воздуха в выработках существенно повышается с увеличением глубины ведения горных работ.

Нагревание воздуха, движущегося по горным выработкам, происходит в результате:

- теплообмена между потоком шахтного воздуха и окружающим выработки массивом горных пород, т. е. охлаждения пород;
- естественного адиабатического сжатия воздуха при движении его вниз по вертикальным и наклонным выработкам;
- изменения содержания влаги в воздухе;
- теплообмена между воздухом и подземной водой, текущей по выработкам;
- окисления угля, угольной пыли, сульфидных руд, крепежного леса и некоторых других веществ;
- охлаждения отбитых и транспортируемых масс угля и породы;
- работы горных машин и механизмов;
- выделения тепла осветительными установками, электрическими кабелями, трубопроводами сжатого воздуха, телом человека, а также действия других второстепенных факторов.
- Вызванное перечисленными факторами приращение температуры шахтного воздуха (оС = К), может быть определено из выражения

, (4.1)

где $\sum Q_i$ - суммарное количество теплоты, идущее на нагревание воздуха, кДж/ч; C_p - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; V - объемный расход воздуха, м^3/ч.

Шахтный воздух уже при температуре свыше 25 °С оказывает отрицательное тепловое воздействие на физиологию и гигиену труда подземных рабочих. При задержке отдачи телом человека накопившегося в нем тепла возникает перегрев организма, осложняющий протекание жизненных процессов. Чрезмерный перегрев организма вызывает ухудшение самочувствия человека, приводит к серьезным заболеваниям (в наиболее тяжелых случаях - к

тепловому удару, или стрессу, или даже к смерти), увеличивает вероятность травматизма, снижает производительность труда.

Изменение температуры воздуха (и других параметров микроклимата) в подземных выработках оказывает влияние также на физико-механические свойства горных пород и на безопасное состояние сооружений и выработок.

Расчет выделения теплоты в выработки глубоких шахт ведется по следующим зависимостям.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород. Количество теплоты $Q_{охл}$, кДж/ч, выделяющееся вследствие охлаждения окружающих выработку горных пород, описывается уравнением Ньютона для конвективного теплообмена

$$Q_{охл} = K_\tau P l (t_п - t_в), \qquad (4.2)$$

где K_τ - коэффициент нестационарного теплообмена между массивом горных пород и воздухом, кДж/(м^2·ч·К) (рассчитывается по формуле, приводимой ниже); P и l - периметр и длина выработки, м; $t_п$ - естественная температура неохлажденных пород на данной глубине, ($^oC = K$, расчет приводится ниже); $t_в = t_{пб}$ - допустимая температура воздуха в выработке, ^oC (принимается согласно Правилам безопасности).

Коэффициент K_τ, кДж/(м^2·ч·К) определяется по формуле

$$K_\tau = \frac{\lambda}{\alpha_0 R_э + A\sqrt{a\tau}}, \qquad (4.5)$$

где λ - коэффициент теплопроводности породы, кДж/(м·ч·К) (принимается по табл. 3.1); α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи от стен шахтной выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К) (расчет ниже); $R_э$ - эквивалентный радиус выработки, м: $R_э = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0{,}564\sqrt{S}$, a - коэффициент температуропроводности

породы, м^2/ч: (принимается по табл. 3.1); $c_п$ - удельная теплоемкость породы, кДж/(кг·К) (принимается по табл. 3.1); $\rho_п$ - плотность породы, кг/м^3 (принимается по табл. 3.1); τ - расчетное время процесса теполообмена, ч (например, при длительности процесса теплообмена 4 года значение τ = 4·365·24 = = 35040 ч).

Таблица 4.0

Тепловая характеристика пород

Порода	ρ, кг/м^3	$c_п$, кДж/(кг·К)	λ, кДж/(м·ч·К)	a, м^2/ч
Песчаник (Центральный Донбасс)	2475	0,854	9,211	0,00436
Глинистые и песчанистые сланцы (там же)	2450	0,904	6,363	0,00287
Уголь (там же)	1225	1,184	1,051	0,00073
Бурый уголь (Челябинский бассейн)	1210	1,130	0,913	0,00067
Каменный уголь (Карагандинский бассейн)	1275	1,055	0,963	0,00072
Углистый сланец	1765	1,021	3,006	0,00167
Глинистый сланец	2433	0,992	3,354	0.00139
Змеевик	2690	0,950	5,694	0,00223
Гранит	2722	0,917	7,972	0.00319
Серный колчедан (Дегтярское месторождение)	4620	0,908	15,010	0,00358
Медный колчедан (там же)	4716	0,862	15,165	0,00373

Суммарный коэффициент теплоотдачи с поверхности горной выработки α_0, кДж/(м^2·ч·К), находится их выражения

,

где $\alpha_к$ - конвективный коэффициент теплоотдачи от стен выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К)

где v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; $Д_э$ - эквивалентный диаметр выработки, м: ; $\alpha_и$ - коэффициент, учитывающий испарения влаги с мокрых стен выработки, кДж/(м^2·ч·К)

где β - коэффициент массоотдачи (коэффициент испарения), кг/(м^2·ч·К), принимается равным 0,01 - для стволов, 0,15 - для капитальных выработок, 0,03 - для лав; r - теплота парообразования воды, принимается r = 2256 кДж/кг.

Температура горных пород в массиве $t_п$, ºС, на заданной глубине H, м, от земной поверхности определяется по формулам:

или , (4.6)

где $t_п$ - температура пород нейтрального слоя (зоны с постоянной температурой пород) в данной местности; принимается примерно равной среднегодовой температуре воздуха на земной поверхности в данном районе, ºС; $t_н$ = 8,5; 2,5; 2,5; 3,0 °С для условий соответственно Донбасса, Кузбасса, Караганды и Мосбасса; H_0 - глубина (толщина) нейтрального слоя, м: H_0 = 20-40 м; $Г_{ст}$ - геотермическая ступень данного района, м/ºС: в среднем $Г_{ст}$ составляет для угольных месторождений 30–40 м/ ºС, рудных 50-140 м/ ºС, нефтяных 15-20 м/ ºС; δ - геотермический градиент, ºС/м.

2. Тепловыделение при сжатии воздуха. Количество теплоты $Q_{сж}$, кДж/ч, выделяющееся при движении воздуха вниз по вертикальным и наклонным выработкам, определяется выражением

(4.7)

где ρ - плотность воздуха, кг/м^3; $V_в$ - количество воздуха, проходящего по выработке (объемный часовой расход воздуха), м^3/ч:

v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; S - площадь поперечного сечения выработки, м^2; H - глубина расположения выработки, м; для наклонной выработки

$$H = l_н \cdot \sin \psi, \qquad (4.8)$$

где $l_н$ - длина наклонной выработки; ψ - угол наклона выработки, град.

3. Тепловыделение при окислительных процессах. Количество теплоты $Q_{ок}$, кДж/ч, образующееся при окислении угля, угленосных сланцев, сульфидных руд и древесины, подсчитывается по формуле А. Ф. Воропаева

$$Q_{ок} = q_{ок} \cdot V^{0,8} \cdot S^{0,6}, \qquad (4.9)$$

где $q_{ок}$ - тепловыделение в результате окислительных процессов, приведенное к скорости движения воздуха в выработке, V = 1 м/с, кДж/(м^2·ч); $q_{ок}$ можно принимать равным 12-21 кДж/(м^2·ч).

4. Тепловыделение от местных источников. К местным источникам теплоты относят электродвигатели, трансформаторы, светильники, электрические кабели, трубопроводы сжатого воздуха, пневматические двигатели, другие тепловыделяющие машины, механизмы и устройства, а также работы, производимые с применением бетона на участке выработки или в призабойной зоне, когда тепло выделяется при его отвердении.

Расчетные формулы для определения количества теплоты от местных источников имеют следующий вид:

4.1. Тепловыделение при работе ***электродвигателей*** горных машин и освещения $Q_{эд}$, кДж/ч

$$Q_{эд} = \frac{N_{потр} \cdot k_з \cdot \eta_э}{\eta_э}, \qquad (4.10)$$

где $N_{потр}$ - потребляемая мощность электродвигателей и осветительных установок, кВт; $k_з$ - коэффициент загрузки оборудования во времени: $k_з$ = 0,8; $\eta_э$ - к. п. д. электродвигателя: $\eta_э$ = 0,95.

4.2. Тепловыделение в выработку (ствол, уклон, бремсберг и др.) при эксплуатации ***лебедок*** $Q_л$, кДж/ч:

- при подъеме груза лебедкой $Q_{л.п} = 3600 \cdot N_л \cdot \eta_м (1 - \eta_м)$;

- при спуске груза лебедкой $Q_{л.с} = 3600 \cdot N_л \cdot \eta_м$

где $N_л$ - установленная мощность электродвигателя лебедки, кВт; $\eta_м$ - механический к. п. д.: $\eta_м = 0{,}8$.

4.3. Тепловыделение при работе ***трансформатора*** $Q_{тр}$, кДж/ч

$$Q_{тр} = 3600 \cdot N_{тр} \cdot p_{тр} \qquad (4.11)$$

где $N_{тр}$ - мощность трансформатора, кВт; $p_{тр}$ - тепловые потери трансформатора: $p_{тр} = 0{,}04 \div 0{,}05$.

4.4. Тепловыделение при затвердевании монолитной ***бетонной крепи*** $Q_б$, кДж/ч

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц \qquad (4.12)$$

где $q_б$ - удельное выделение теплоты при отвердевании бетона, кДж/(м^2·ч); принимается $q_б$ = 200÷400 кДж/(м^2/ч); P - периметр выработки, м; $l_ц$ - длина участка бетонирования, контактирующего с вентиляционной струей за один цикл проходки, м.

4.5. Тепловыделение при ***взрыве ВВ***. В выработке большого сечения при использовании более 100 кт ВВ тепловыделение при взрыве $Q_{взр}$, кДж/ч, рассчитывается по формуле

$$Q_{взр} = 0{,}8 \cdot q_{взр} \cdot m_з \qquad (4.13)$$

где $q_{взр}$ - удельное тепловыделение при взрыве 1 кг ВВ, кДж/кт; $m_з$ - масса заряда, кг.

Таблица 4.1

Рекомендуемые значения $q_{взр}$ для применяемых ВВ

Аммонит ПЖВ-20	3360		Аммонит АП-5ЖВ	3780

Угленит Э-6	2570		Аммонит скальный №1	5400
Победит ВП-4	3810		Аммонит № 6 ЖВ	4290
Аммонит АП-4ЖВ	3560		Игданит	3790

4.6. Тепловыделение при работе шахтных ***вентиляторов*** происходит в результате работы электродвигателя, внутренних потерь энергии в вентиляторе и аэродинамического сжатия воздуха. Количество теплоты $Q_{вен}$, кДж/ч, поступающее в выработку при работе вентилятора, выражается формулой

$$Q_{вен} = 3600 \cdot V_{вс} \frac{h_в}{1000 \eta_в} = 3{,}6 \cdot V_{вс} \frac{h_в}{\eta_в} \qquad (4.14)$$

где $V_{вс}$ - количество воздуха, проходящего по выработке (секундный расход), м^3/с; $h_в$ - депрессия выработки, Па;

$$h_в = \alpha_в \cdot \frac{P \cdot l}{S} v^2, \qquad (4.15)$$

где $\alpha_в$ - коэффициент аэродинамического сопротивления трения выработки, Н·с^2/м^4 = Па· с^2/м^2; P, l, S - периметр, длина и площадь поперечного сечения выработки, м, м, м^2; v - средняя скорость движения воздуха по выработке, м/с;

$$\eta_{вт} = \eta_в \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п \qquad (4.16)$$

$\eta_в$ = 0,6÷0,8; $\eta_{дв}$ = 0,85÷0,95 и $\eta_п$ - к. п. д. соответственно вентиляторной установки, вентилятора, двигателя и редукторной ($\eta_п$ = 1) или ременной ($\eta_п$ = = 0,9÷0,95) передач.

Подставляя (4.15) в (4.16) и учитывая, что

$$V_{вс} = v \cdot S \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (4.17)$$

получим (кДж/ч)

$$Q_{вен} = 3{,}6 \cdot \alpha_в \cdot P \cdot l \frac{v^3}{\eta_{вт}} \qquad (4.18)$$

4.7. Тепловыделение при работе ***людей*** $Q_л$, кДж/ч

$$Q_л = q_л \cdot n_л \qquad (4.19)$$

где $q_л$ - количество теплоты, выделяемое работающим человеком, кДж/ч·чел $q_л$ = 1050÷2500 кДж/ч·чел.; $n_л$ - число одновременно работающих людей в выработке.

5. Общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$, кДж/ч, находится суммированием всех частных выделений теплоты

$$Q_{общ} = \sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad (4.20)$$

Способы искусственного охлаждения шахтного воздуха

Целью искусственного охлаждения шахтного воздуха является отвод определенного («излишнего») количества теплоты от него при помощи охлаждающего вещества. Тепло от воздуха можно отвести путем соприкосновения последнего с какой-либо холодной поверхностью или путем смешения его с газообразной струей, имеющей температуру ниже температуры воздуха.

Борьба с избыточным выделением теплоты в горные выработки ведется по нескольким направлениям:

- предохранение воздуха от нагревания при его движении к местам потребления;
- охлаждение воздуха без применения специальных холодильных машин;
- охлаждение воздуха с применением холодильных машин (кондиционирование).

Способы предупреждения нагревания шахтного воздуха включают в себя следующее:

- увеличение количества подаваемого в выработки воздуха путем повышения мощности вентиляторных установок, увеличения скорости движения воздуха, расширения сечений воздухоподающих выработок;

- замена машин с электроприводам машинами с пневматическим приводом;
- тепло- и гидроизоляция стен выработок;
- теплоизоляция и тщательное уплотнение воздухоподающих трубопроводов;
- предупреждение возникновения интенсивных окислительных процессов;
- сокращение пути движения воздуха к местам потребления путем выбора соответствующей схемы проветривания, проведения дополнительных выработок и скважин;
- подача воздуха к местам потребления по специально пройденным выработкам, где скорость движения воздуха может быть существенно увеличена;
- замена восходящего проветривания очистных выработок нисходящим проветриванием (при соблюдении соответствующих требований ПБ).

Для предотвращения нагревания воздуха без применения холодильных машин используются следующие способы:

- осушение воздуха сорбентами, т. е. веществами, способными поглощать влагу из воздуха (например, хлористым кальцием);
- охлаждение воздуха льдом;
- охлаждение воздуха жидким воздухам, при испарении которого поглощается значительное количество теплоты;
- охлаждение воздуха сжатым воздухам (например, от пневмо-кондиционеров);
- охлаждение воздуха водой: путем непосредственного соприкосновения охлаждающей воды с воздухом либо через поверхность труб, где воздух охлаждается в специальных теплообменниках;

- пропускание воздуха через тепловыравнивающие каналы путем подвода воздуха к стволу по горизонтальным выработкам, пройденным на глубине среднегодовой температуры.

Наиболее эффективным является искусственное охлаждение воздуха в системах кондиционирования: в компрессорных и абсорбционных холодильных установках. Холодильные установки бывают передвижные и стационарные. Передвижные установки предназначены для охлаждения воздуха в тупиковых выработках или в отдаленных очистных забоях. Стационарные установки располагаются как на земной поверхности, так и в подземных условиях.

Хладопроизводительность (холодильная мощность) **отечественных шахтных холодильных агрегатов и кондиционеров составляет:**

- передвижных кондиционеров ВК-230 - 230 кВт, КПШ-3 – 105 кВт, КПШ-40 - 47 кВт, КПШ-40П с пневмоприводом - 52 кВт;
- турбокомпрессионных холодильных машин ШХТМ-1300 - 1500 кВт, ХТМФ-235М-2000 - 2325 кВт, ХТМФ-248-4000 - 4650 кВт;
- поршневой холодильной машины МФ-220-1РШ - 255 кВт;
- абсорбционной холодильной машины АБХА-2500-2В – 2800 кВт.

Для стационарной работы на поверхности используются машины ХТМФ-235-2000, ХТМФ-248-4000, АБХА-2500-2В, а машины ШХТМ-1300 и МФ-220-1РШ устанавливаются на глубоких горизонтах.

Охлаждение шахтного воздуха с применением холодильных машин становится необходимым, когда общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$ превышает тепловыделение в нее, допускаемое Правилами безопасности, $Q_{пб}$, т. е. при условии

$$Q_{общ} > Q_{пб}$$

Поскольку эти количества теплоты описываются формулами:

$Q_{общ} = c_{в} \rho V_{общ} (t_{вк} - t_{н})$ и $Q_{пб} = c_{в} \rho V_{в} (t_{вк} - t_{н})$,

то критерий необходимости кондиционирования воздуха в выработке может быть записан в виде соотношения

$$V_{теп} > V_{в},$$

где $V_{теп}$ - количество воздуха, которое необходимо подать в выработку по тепловому фактору без охлаждения воздуха, м^3/ч;

$$V_{теп} = \frac{Q_{выд}}{c_{р} \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad (4.21)$$

где $c_р$ - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К) $c_р$ = 0,241 ккал/(кг·К)·4,1868 кДж/ккал = 1,009 кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; Δt - перепад температур между выходящим (отработанным) и входящим (свежим) воздухам, проходящим по выработке, К (°С):

для стволов $\Delta t = t_{в} - t_{в}$, для подземных выработок $\Delta t = t_{в} - t_{в}$

При необходимости кондиционирования воздуха следует выбрать тип кондиционера, рассчитать потребное количество кондиционеров и проверить правильность их установки.

Требуемая хладопроизводительность кондиционера $N_к'$, кВт, находится по формуле

$$N_к' = \frac{1,2 c_{р} \rho V_{в} (t_{в} - t_{см})}{1000} \quad (4.22)$$

К установке принимают кондиционер хладопроизводительностью

$$N_к \geq N_к'$$

При установке кондиционера в выработке (обычно одного) температура смеси за кондиционером $t_{см}$, °С (=К), определяется соотношением

$$t_{см} = t_{в} - 1000 \frac{N_к}{c_{р} \rho V_{в}} \quad (4.23)$$

Достаточность установки кондиционера проверяется по условию

$$t_{см} \leq t_{в}$$

Если $t_{см} > t_{в}$, то необходимо установить более мощный кондиционер.

Пример расчета. Исходные данные:

выработка - ствол шахты,

$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 38{,}5$ м^2,

$r_э = 3{,}5$ м,

$d = d_э = 7$ м,

$P = \pi \cdot d = 22$ м,

$l = H = 1200$ м,

$\alpha = 0^o$,

$H_0 = 20$ м,

$\delta = \frac{1}{\Gamma_{ст}} = 0{,}035$ м/^{o}C,

порода - песчаник,

$\rho_п = 2400$ кг/м^3,

$c_п = 0{,}858$ кДж/(кг·К),

$\lambda = 9{,}21$ кДж/(м·ч·К),

$a = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п} = 0{,}00477$ м^2/ч,

v = 2 м/с,

$\tau = 7$ лет $= 7 \cdot 365 \cdot 24 = 61320$ ч,

$t_н = 8{,}5$ ^{o}C,

$t_в = t_{пб} = 24$ ^{o}C,

$N_{потр} = 100$ кВт,

$N_п = 90$ кВт,

$\alpha_б = 0{,}0040$ кгс·с^2/м^4 =

$= 0{,}0392$ Па· с^2/м^2,

$N_{тр} = 100$ кВт,

$n = 7$ человек.

Для обеспечения возможности выполнения расчета тепловыделений по приведенным выше формулам принимаем дополнительно следующие данные (параметры):

$\beta = 0{,}01$ кг/(м^2·ч·К),

$r = 2256$ кДж/кг,

$\rho = 1{,}25$ кг/м^3,

$q_{ок} = 16$ кДж/(м^2·ч),

$к_з = 0{,}8$,

$\eta_{дв} = 0{,}95$,

$P_{тр} = 0{,}05$,

$q_б = 200$ кДж/(м^2·ч),

$l_ц = 5$ м,

$q_п = 2000$ кДж/(ч·чел),

$\eta_{ву} = \eta_у \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п = 0{,}7 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}95 = 0{,}56$,

$c_р = 1{,}009$ кДж/(кг·К).

Подсчитываем количества теплоты, выделяющиеся в выработку.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород

$$\alpha_к = 12{,}4\frac{\rho_{пп}}{\rho_{гп}} = 12{,}4\cdot\frac{\rho_{пп}}{\rho_{гп}} = 14{,}12,$$ кДж/(м^2·ч·К;

$$\alpha_{ш} = 1{,}3\cdot\beta\cdot\varepsilon = 1{,}3\cdot 0{,}001\cdot 3258 = 29{,}33,$$ кДж/(м^2·ч·К);

$$\alpha_{ш} = \alpha_к + \alpha_ш = 14{,}82 + 29{,}33 = 43{,}65,$$ кДж/(м^2·ч·К);

$$K_т = \frac{1}{1+\frac{\lambda}{\alpha_ш\delta_ш}}\cdot\left[\frac{1}{\alpha_к}+\frac{\delta}{\lambda(1+\frac{\lambda}{\alpha_ш\delta_ш})}\right] =$$

$$\frac{1}{1+\frac{0{,}93}{43{,}65\cdot 0{,}01}}\cdot\left[\frac{1}{2{,}44}+\frac{0{,}3}{2{,}44\cdot(1+\frac{0{,}93}{43{,}65\cdot 0{,}01})}\right] = 1{,}57,$$

кДж/(м^2·ч·К);

$$t_к = t_{гп} + (H - H_{ш})\delta = 0{,}5\cdot(3300 - 2600)0{,}03 = 32{,}5\,^{\circ}C;$$

$$Q_{тп} = K_т\cdot P\cdot(t_к - t_в) = 1{,}57\cdot 23\cdot(32{,}5 - 24) = 307{,}64$$ кДж/ч.

2. Тепловыделение при сжатии шахтного воздуха

$$V_в = 3600\cdot v\cdot S = 3600\cdot 2\cdot 38{,}5 = 277200$$ м^3/ч;

$$Q_{сж} = 0{,}00981\cdot g\cdot V_в\cdot H = 0{,}00981\cdot 1{,}25\cdot 277200\cdot 1100 = 4078960$$

кДж/ч.

3. Тепловыделение при окислительных процессах

$$Q_{тр} = q_{уд}\cdot V^{0{,}8}\cdot P\cdot l = 14\cdot 2^{0{,}8}\cdot 23\cdot 1200 = 735441$$ кДж/ч.

4. Тепловыделение от местных источников:

- при работе электродвигателей горных машин и освещения

$$Q_{эд} = \frac{1000\cdot N_{уст}\cdot k_з}{\eta_{эд}} = \frac{1000\cdot 1000{,}8}{0{,}85} = 1177788$$ кДж/ч;

- при спуске груза лебедкой

$$Q_{сп} = 3600\cdot N_л\cdot K_л = 3600\cdot 98\cdot 0{,}8 = 352800$$ кДж/ч;

- при работе трансформатора

$$Q_{тр} = 3600\cdot N_{тр}\cdot k_{тр} = 3600\cdot 180\cdot 0{,}5 = 180000$$ кДж/ч;

- при работе шахтных вентиляторов

$$Q_{выд.в} = 3{,}6 \cdot q_в \cdot P \cdot t\frac{T^0}{T^0_{воз}} = 1{,}6 \cdot 0{,}0393 \cdot 22 \cdot 1200\frac{4}{4{,}044} = 57751$$ кДж/ч;

- при затвердевании монолитной бетонной крепи

$$Q_к = q_к \cdot P \cdot t_к = 200 \cdot 22 \cdot 5 = 22000$$ кДж/ч;

- при работе людей

$$Q_л = q_л \cdot n_л = 2000 \cdot 7 = 14000$$ кДж/ч.

5. Общее тепловыделение в ствол

$$Q_{выд.} = \sum_1^n Q_i = Q_{маш} + Q_{эл} + Q_{тр} + Q_{ск} + Q_{л} + Q_{пр} + Q_{вып} = Q_1 + Q_2 = 107648 + 407898 + 132441 + 103150 + 259200 + 18000 + 52751 + 22000 + 14000 = 6561196$$

кДж/ч.

Находим количество воздуха, необходимое для проветривания выработки по тепловому фактору без охлаждения воздуха

$$V_{теп} = \frac{Q_{выд}}{c_в \cdot \rho_{ср} \cdot (t_{ср} - t_в)} = \frac{6561196}{1{,}009 \cdot 1{,}2 \cdot (34{,}5 - 23)} = 339611$$ м^3/ч.

Проверяем условие достаточности расхода воздуха по тепловому фактору $V_{теп} \langle V_в$.

В рассматриваемом случае это условие не выполняется, так как

$$V_{теп} = 339611 < V_в = 277200$$

Следовательно, требуется искусственное охлаждение воздуха при помощи холодильных машин.

Определяем требуемую хладопроизводительность холодильной машины

$$N_к = \frac{V_в \cdot \rho \cdot (h_с - h_в)}{1000} = \frac{4{,}62 \cdot 1{,}2 \cdot (1{,}009 \cdot 34{,}5 + 34{,}5)}{1000} = 2525$$ кВт.

Принимаем $N_к$ = 2550 кВт. Температура смеси теплого и охлажденного воздуха за кондиционером составит

$$t_{см} = t_в - \frac{3600 \cdot N_к}{c_в \cdot \rho \cdot V_в} = 50 - \frac{3600 \cdot 2550}{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200} = 33{,}7$$

что удовлетворяет требованиям ПБ.

Варианты заданий

Перечень вариантов заданий к расчету тепловыделений в горные выработки приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчетов тепловыделений

	Величины	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Выработка	Штрек		Уклон		Квершлаг		Бремберг		Ствол	
2	S, м^2	8	10	7	6	12	14	10	12	44,2	33,2
3	P, м	11,8	13,2	11,0	10,2	14,4	15,6	13,2	14,4	23,6	20,4
4	L, м	900	1000	300	500	700	600	1000	900	1100	1200
5	α, °	6	8	40	50	10	8	15	20	90	90
6	H, м	800	900	600	700	1000	800	1200	1500	1100	1200

Продолжение табл. 4.2

7	H_0, м	20	21	22	23	24	25	30	35	28	30
8	$\Gamma_{ст}$, м/°С	30	25	26	27	31	29	32	28	34	27
9	Порода	Бурый уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Песчаник	Песчаник	Каменный уголь	Каменный уголь	Глинистый и песчанистый сланец	Песчаник
10	V, м/с	0,5	0,75	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	1,0	0,5
11	τ, м/с	3	2	6	8	5	9	10	7	6	4
12	$t_н$, °С	8,5	2,5	3,0	2,5	7,5	8,3	7,9	4,2	8,0	7,5
13	$t_в = t_{пб}$, °С	24	23	20	25	23	25	24	26	24	23
14	$N_{потр}$, кВт	70	60	50	40	100	90	50	50	100	100
15	$N_л$, кВт	-	-	50	50	-	-	-	-	-	100

16	$N_{тр}$, кВт	5	10	-	-	5	5	5	5	10	10
17	$\alpha_в$, Па·с^2/м^2	0,017	0,019	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,020	0,049	0,049
18	$n_л$, чел.	7	6	3	3	6	5	6	6	5	8

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте климатические условия в горных выработках глубоких шахт.

2. Как осуществляется теплоотдача тела человека в окружающую среду?

3. Какой микроклимат в выработках глубоких шахт считается допустимым?

4. Перечислите виды (формы) нагревания воздуха, движущегося по горным выработкам.

5. Как выполняется тепловое кондиционирование воздуха в горных выработках?

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. ЦВЕТА СИГНАЛЬНЫЕ И ЗНАКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы – ривить практические навыки в применении сигнальных цветов и знаков безопасности; изучить назначение, характеристики и порядок применения сигнальных цветов и знаков безопасности.

Теоретические положения.

Для предупреждения многих несчастных случаев на производстве и в быту эффективным средством является цветовое оформление машин, приборов, помещений и рациональное применение сигнальных цветов и знаков безопасности, которые устанавливает ГОСТ Р 12.4.026–01 [1].

Различают прямое психологическое воздействие цвета на челове- ка, вызывающее, например, чувство радости или печали, создающее впе- чатление легкости или тяжести какого-либо предмета, удаленности или близости его, и вторичное воздействие, связанное с ассоциациями. Напри- мер, красный, оранжевый и желтый цвета ассоциируются с огнем, солн- цем, т. е. теплом. Такие цвета создают впечатление тепла и называются те- плыми цветами. Белый, голубой, зеленый и некоторые другие цвета ассо- циируются с холодом и называются холодными цветами.

Сигнальные цвета применяются для окраски поверхностей конст- рукций, приспособлений и элементов производственного оборудования, которые могут служить источником опасности для работающих.

ГОСТом установлены красный, желтый, зеленый и синий сигналь- ные цвета. Для усиления контраста сигнальных цветов они применяются на фоне контрастных цветов. Контрастные цвета применяются также для выполнения символов и поясняющих надписей.

Красный сигнальный цвет применяется: для запрещающих знаков; надписей и символов на знаках пожарной безопасности, обозначений от-

ключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных; внутренних поверхностей открывающихся кожухов и корпусов, ограждающих движущиеся элементы механизмов и машин и их крышек; рукояток кранов аварийного сброса давления; корпусов масляных выключателей, находя- щихся в рабочем состоянии под напряжением, и обозначения пожарной техники.

Желтый сигнальный цвет используется: для предупреждающих знаков элементов строительных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм (низкие балки, выступы и перепады в полости пола, малозаметные ступени, пандусы), мест, в которых существует опасность падения, сужений проездов, колонн, стоянок и опор производствен- ного оборудования (открытые движущиеся части оборудования); кромок штампов, прессов, ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, и т. п. элементов внутрицехового и межцехового транспорта, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, кабин и ограждений кранов, боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек и постоянных и временных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных и временных ограждений лестниц, перекрытий строящихся зданий; балконов и других мест, где возможно падение с высоты, емкостей, содержащих вещества с опасными и вредными свойствами, на которые предупреждающую окраску наносят в виде полосы шириной 50–100 мм в зависимости от размещения емкости; границ подходов к эвакуационным или запасным выходам.

Зеленый сигнальный цвет применяется для предписывающих знаков дверей и светового табло эвакуационных или запасных выходов, сигнальных ламп.

Синий сигнальный цвет используется для указательных знаков. Символ на знаках безопасности – это простое, всем понятное изображение характера опасности, мер предосторожности, инструктивных указаний или информации

по безопасности. Знаки должны быть установлены в местах, пребывание в которых связано с возможной опасностью для работающих, а также на производственном оборудовании, являющемся источником такой опасности. Знаки безопасности, устанавливаемые на воротах и входных дверях помещений, обозначают, что зона их действия – все помещение. При необходимости ограничения зоны действия знака приводятся соответствующие указания с вышеуказанным ГОСТом. Они контрастно выделются на окружающем их фоне и находятся в поле зрения людей, для которых предназначены. На местах и участках, являющихся временно опасными, устанавливаются переносные знаки и временные ограждения, окрашенные в сигнальный цвет. Всего предусмотрено четыре группы знаков безопасности:

1 запрещающий (в виде круга);

2 предупреждающий (в виде треугольника);

3 предписывающий (в виде квадрата);

4 указательный (в виде вертикального прямоугольника).

Для более полного усвоения формы символов на знаках и мест их установки следует дополнительно изучить раздел 3 ГОСТ Р 12.4.026-01 [1]. Для этого ниже дается необходимая выдержка из данного ГОСТа.

Стандарт не распространяется:

- на цвета, применяемые для световой сигнализации всех видов транспорта, транспортных средств и дорожного движения;
- цвета, знаки и маркировочные щитки баллонов, трубопроводов, емкостей для хранения и транспортирования газов и жидкостей;
- дорожные знаки и разметку, путевые и сигнальные знаки железных дорог, знаки для обеспечения безопасности движения всех видов транспорта (кроме знаков безопасности для подъемно-транспортных меха- низмов, внутризаводского, пассажирского и общественного транспорта);
- знаки и маркировку опасных грузов, грузовых единиц, требующих специальных условий транспортирования и хранения;

- знаки для электротехники.

Назначение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки состоит в обеспечении однозначного понимания определенных требований, касающихся безопасности, сохранения жизни и здоровья людей, снижения материального ущерба без применения слов или с их минимальным количеством.

Сигнальные цвета, знаки безопасности и сигнальную разметку следует применять для привлечения внимания людей, находящихся на производственных, общественных объектах и в иных местах, к опасности, опасной ситуации, предостережения в целях избегания опасности, сообщения о возможном исходе в случае пренебрежения опасностью, предписания или требования определенных действий, а также для сообщения необходимой информации.

Применение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки на производственных, общественных объектах и в иных местах не заменяет необходимости проведения организационных и технических мероприятий по обеспечению условий безопасности, использования средств индивидуальной и коллективной защиты, обучения и инструктажа по технике безопасности.

Размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах должна проводить организация-изготовитель. При необходимости дополнительное размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах, находящихся в эксплуатации, проводит эксплуатирующая их организация.

Графические символы и поясняющие надписи на знаках безопасности отраслевого назначения, не предусмотренные настоящим стандартом, необходимо устанавливать в отраслевых стандартах, нормах, правилах с соблюдением требований настоящего стандарта.

Назначение и правила применения сигнальных цветов.

Стандарт устанавливает следующие сигнальные цвета: красный, желтый, зеленый, синий. Для усиления зрительного восприятия цветографических изображений знаков безопасности и сигнальной разметки сигнальные цвета следует применять в сочетании с контрастными цветами – белым или черным. Контрастные цвета необходимо использовать для выполнения графических символов и поясняющих надписей.

Сигнальные цвета необходимо применять:

- для обозначения поверхностей, конструкций (или элементов конструкций), приспособлений, узлов и элементов оборудования, машин, механизмов и т. п., которые могут служить источниками опасности для лю- дей, поверхности ограждений и других защитных устройств, систем бло- кировок и т. п.;
- обозначения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов;
- знаков безопасности, сигнальной разметки, планов эвакуации и других визуальных средств обеспечения безопасности;
- светящихся (световых) средств безопасности (сигнальные лампы, табло и др.);
- обозначения пути эвакуации.

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета установлены в табл. 5.0.

Красный сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения отключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных;
- внутренних поверхностей крышек (дверец) шкафов с открытыми токоведущими элементами оборудования, машин, механизмов и т. п. (если оборудование, машины, механизмы имеют красный цвет, то внутренние поверхности крышек (дверец) должны быть окрашены лакокрасочными

материалами желтого сигнального цвета);

- рукояток кранов аварийного сброса давления;

- корпусов масляных выключателей, находящихся в рабочем состоянии под напряжением;

- обозначения различных видов пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов, требующих оперативного опознания (пожарные машины, наземные части гидрант-колонок, огнетушители, баллоны, устройства ручного пуска систем (установок) пожарной автоматики, средств оповещения, телефоны прямой связи с пожарной охраной, насосы, пожарные стенды, бочки для воды, ящики для песка, а также ведра, лопа- ты, топоры и т. п.);

- окантовки пожарных щитов белого цвета для крепления пожарного инструмента и огнетушителей. Ширина окантовки – 30–100 мм (допускается выполнять окантовку пожарных щитов в виде чередующихся наклонных под углом 45–60° полос красного сигнального и белого контра- стного цветов);

- орнаментовки элементов строительных конструкций (стены, колонны) в виде отрезка горизонтально расположенной полосы для обозначения мест нахождения огнетушителя, установки пожаротушения с ручным пуском, кнопки пожарной сигнализации и т. п. Ширина полос – 150–300 мм. Полосы должны располагаться в верхней части стен и колонн на высоте, удобной для зрительного восприятия с рабочих мест, проходов и т. п. В состав орнаментовки, как правило, следует включать знак пожарной безопасности с соответствующим графическим символом средства противопожарной защиты;

- сигнальных ламп и табло с информацией, извещающей о нару- шении технологического процесса или нарушении условий безопасности:

«Тревога», «Неисправность» и др.;

- обозначения захватных устройств промышленных установок и промышленных роботов;

Таблица 5.0

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета

Сигнальный цвет	Смысловое значение	Область применения	Контрастный цвет
Красный	Непосредственная опасность Аварийная или опасная ситуация Пожарная техника, средства противо-пож. защиты, их элементы	Запрещение опасного поведения или действия.Обозначение непо-средственной опасности Сообщение об аварийном отключении или аварийном состоянии оборудования (техноло- гического процесса) Обозначение и определение мест нахождения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов	Белый
Желтый	Возможная опас-ность	Обозначение возможной опасно- сти, опасной ситуации. Преду- преждение о возможной опасно-сти	Черный
Зеленый	Безопасность, безопасные усло-вия	Сообщение о нормальной работе оборудования, нормальном со- стоянии технологического про-цесса	Белый
	Помощь, спасение	Обозначение пути эвакуации, аптечек, кабинетов, средств по оказанию первой медицинской помощи	
Синий	Предписание во избежание опасно-сти	Требование обязательных дейст- вий в целях обеспечения безо-пасности	Белый
	Указание	Разрешение определенных дей-ствий	

- обозначения временных ограждений или элементов временных ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий, ям, котлованов, временных ограждений мест химического, бактериологического и радиационного загрязнения, а также ограждений других мест, зон, участков, вход на которые временно запрещен.

Поверхность временных ограждений должна быть целиком окра- шена красным сигнальным цветом или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы красного сигнального и белого контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос крас- ного и белого цветов от 1:1 до 1,5:1,0;

- запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности.

Не допускается использовать красный сигнальный цвет:

- для обозначения стационарно устанавливаемых средств противопожарной защиты (их элементов), не требующих оперативного опознания (пожарные извещатели, пожарные трубопроводы, оросители установок пожаротушения и т. п.);

- на пути эвакуации во избежание путаницы и замешательства (кроме запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности).

Желтый сигнальный цвет следует применять:

а) для обозначения элементов строительных и иных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм работающими: низких балок, выступов и перепадов в плоскости пола, малозаметных ступеней, пандусов, мест, в которых существует опасность падения (кромки погрузочных платформ, грузовых поддонов, неогражденных площадок, люков, проемов и т. д.), сужений проездов, малозаметных распорок, узлов, колонн, стоек и опор в местах интенсивного движения внутризаводского транспорта и т. д.;

б) обозначения узлов и элементов оборудования, машин и механизмов, неосторожное обращение с которыми представляет опасность для людей:

открытых движущихся узлов, кромок оградительных устройств, не полностью закрывающих движущиеся элементы (шлифовальные круги, фрезы, зубчатые колеса, приводные ремни, цепи и т. п.), ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, а также постоянно подвешенных к потолку или стенам технологической арматуры и механизмов, выступающих в рабочее пространство;

в) обозначения опасных при эксплуатации элементов транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, площадок грузоподъемников, бамперов и боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек, поворотных платформ и боковых поверхностей стрел экскаваторов, захватов и площадок автопогрузчиков, рабочих органов сельскохозяйственных машин, элементов грузоподъемных кранов, обойм грузовых крюков и др.;

г) подвижных монтажных устройств, их элементов и элементов грузозахватных приспособлений, подвижных частей кантователей, траверс, подъемников, подвижных частей монтажных вышек и лестниц;

д) внутренних поверхностей крышек, дверец, кожухов и других ограждений, закрывающих места расположения движущихся узлов и элементов оборудования, машин, механизмов, требующих периодического доступа для контроля, ремонта, регулировки и т. п.

Если указанные узлы и элементы закрыты съемными ограждениями, то окрашиванию лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета подлежат сами движущиеся узлы, элементы и (или) поверхности смежных с ними неподвижных деталей, закрываемые ограждениями;

е) постоянных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий: у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных ограждений лестниц, балконов, перекрытий и других мест, в которых возможно падение с высоты.

Поверхность ограждения должна быть целиком окрашена

лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

ж) обозначения емкостей и технологического оборудования, содержащих опасные или вредные вещества.

Поверхность емкости должна быть целиком окрашена лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 50–300 мм в зависимости от размера емкости при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

з) обозначения площадей, которые должны быть всегда свободными на случай эвакуации (площадки у эвакуационных выходов и подходы к ним, возле мест подачи пожарной тревоги, возле мест подхода к средствам противопожарной защиты, средствам оповещения, пунктам оказания первой медицинской помощи, пожарным лестницам и др.).

Границы этих площадей должны быть обозначены сплошными линиями желтого сигнального цвета, а сами площади – чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина линий и полос – 50 – 100 мм;

и) предупреждающих знаков безопасности.

На поверхность объектов и элементов, перечисленных в а) и в), допускается наносить чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 50– 300 мм в зависимости от размера объекта и расстояния, с которого должно быть видно предупреждение.

Если оборудование, машины и механизмы окрашены лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета, то перечисления б) и д), их узлы и

элементы должны быть обозначены чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм в зависимости от размера узла (элемента) оборудования при соотношении ширины полос желтого и черного цветов от 1:1 до 1,5:1,0.

Для строительно-дорожных машин и подъемно-транспортного оборудования, которые могут находиться на проезжей части, допускается применять предупреждающую окраску в виде чередующихся красных и белых полос.

Синий сигнальный цвет следует применять:

- для окрашивания светящихся (световых) сигнальных индикаторов и других сигнальных устройств указательного или разрешающего назначения;
- предписывающих и указательных знаков безопасности.

Зеленый сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения безопасности (безопасных мест, зон безопасного состояния);
- сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы оборудования, нормальном состоянии технологических процессов и т. п.;
- обозначения пути эвакуации;
- эвакуационных знаков безопасности и знаков безопасности медицинского и санитарного назначения.

Характеристики сигнальных и контрастных цветов.

Знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в поле зрения людей, для которых они предназначены.

Знаки безопасности должны быть расположены таким образом, чтобы они были хорошо видны, не отвлекали внимания и не создавали неудобств при выполнении людьми своей профессиональной или иной деятельности, не загораживали проход, проезд, не препятствовали перемещению грузов.

Знаки безопасности, размещенные на воротах и на (над) входных(ми) дверях(ми) помещений, означают, что зона действия этих знаков

распространяется на всю территорию и площадь за воротами и дверями.

Размещение знаков безопасности на воротах и дверях следует выполнять таким образом, чтобы зрительное восприятие знака не зависело от положения ворот или дверей (открыто, закрыто). Эвакуационные знаки безопасности Е 22 «Выход» и Е 23 «Запасный выход» должны размещаться только над дверями, ведущими к выходу.

Знаки безопасности, установленные у въезда (входа) на объект (участок), означают, что их действие распространяется на объект (участок) в целом.

При необходимости ограничить зону действия знака безопасности соответствующее указание следует приводить в поясняющей надписи на дополнительном знаке.

Знаки безопасности, изготовленные на основе несветящихся материалов, следует применять в условиях хорошего и достаточного освеще- ния.

Знаки безопасности с внешним или внутренним освещением следует применять в условиях отсутствия или недостаточного освещения.

Световозвращающие знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в местах, где отсутствует освещение или имеется низкий уровень фонового освещения (менее 20 лк по СНиП 23-05-95): при проведении работ с использованием индивидуальных источников света, фонарей (например, в туннелях, шахтах и т. п.), а также для обеспечения безопасности при проведении работ на дорогах, автомобильных трассах, в аэропортах и т. п.

Фотолюминесцентные знаки безопасности следует применять там, где возможно аварийное отключение источников света, а также в качестве элементов фотолюминесцентных эвакуационных систем для обеспечения самостоятельного выхода людей из опасных зон в случае возникновения аварий, пожара или других чрезвычайных ситуаций.

Для возбуждения фотолюминесцентного свечения знаков безопасности необходимо наличие в помещении, где они установлены, искусст- венного или естественного освещения.

Освещенность поверхности фотолюминесцентных знаков безопасности источниками света должна быть не менее 25 лк.

Основные и дополнительные знаки безопасности.

Основные знаки безопасности необходимо разделять на следующие группы: запрещающие знаки; предупреждающие знаки; знаки пожарной безопасности; предписывающие знаки; эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения; указательные знаки.

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности должны соответствовать приведенным в табл. 5.1

Таблица 5.1

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности

Группа	Геометрическая форма <*>	Сигнальный цвет	Смысловое значение
Запрещающие знаки	Круг с поперечной полосой	Красный	Запрещение опасного пове- дения или действия
Предупреждающие знаки	Треугольник	Желтый	Предупреждение о возмож- ной опасности. Осторож- ность. Внимание
Предписывающие знаки	Круг	Синий	Предписание обязательных действий во избежание опасности
Знаки пожарной безопасности <**>	Квадрат или прямоугольник	Красный	Обозначение и указание мест нахождения средств проти- вопожарной защиты, их эле- ментов
Эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения	Квадрат или прямоугольник	Зеленый	Обозначение направления движения при эвакуации. Спасение, первая помощь при авариях или пожарах. Надпись, информация для обеспечения безопасности
Указательные знаки	Квадрат или прямоугольник	Синий	Разрешение. Указание. Над- пись или информация

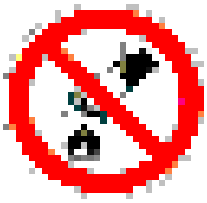
Примечание: <*> Рисунки не приводятся. <**> К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: P 01 «Запрещается курить», P 02 «Запрещается пользо- ваться открытым огнем», P 04 «Запрещается тушить водой», P 12 «Запрещается загромождать проходы (или) складировать» (табл. 5.2);
- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества», W 02 «Взрывоопасно», W 11

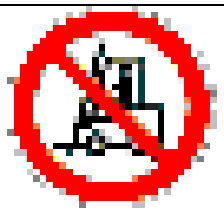
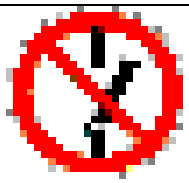
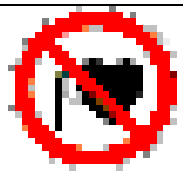
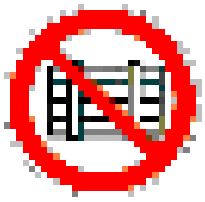
«Пожароопасно. Окислитель» (табл. 5.3).

Таблица 5.2

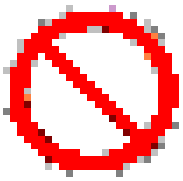
Запрещающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 01		Запрещается курить	Использовать, когда курение мо- жет стать причиной пожара. На дверях и стенах помещений, уча- стках, где имеются горючие и лег- ковоспламеняющиеся вещества, или в помещениях, где курить запрещается
Р 02		Запрещается пользоваться открытым огнем и курить	Использовать, когда открытый огонь и курение могут стать при- чиной пожара. На входных дверях, стенах помещений, участках, ра- бочих местах, емкостях, производ- ственной таре
Р 03		Проход запрещен	У входа в опасные зоны, помеще- ния, участки и др.
Р 04		Запрещается тушить водой	В местах расположения электро- оборудования, складах и других местах, где нельзя применять воду при тушении горения или пожара
Р 05		Запрещается использовать в качестве питьевой воды	На техническом водопроводе и емкостях с технической водой, не- пригодной для питья и бытовых нужд
Р 06		Доступ посторонним запрещен	На дверях помещений, у входа на объекты, участки и т. п. для обо- значения запрета на вход (проход) в опасные зоны или для обозначе- ния служебного входа (прохода)

Продолжение таблицы 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 07		Запрещается движение средств наполь- ного транспорта	В местах, где запрещается применять средства напольного транс- порта (например, погрузчики или напольные транспортеры)
Р 08		Запрещается прикасаться. Опасно	На оборудовании (узлах оборудо- вания), дверцах, щитах или других поверхностях, прикосновение к которым опасно
Р 09		Запрещается прикасаться. Корпус под на- пряжением	На поверхности корпусов, щитов и т. п., где есть возможность пора- жения электрическим током
Р 10		Не включать!	На пультах управления и включе- ния оборудования или механизмов при ремонтных и пусконаладоч- ных работах
Р 11		Запрещается работа (присутствие) людей со стимуляторами сердечной деятельности	В местах и на оборудовании, где запрещено работать или находить- ся людям с вживленными стиму- ляторами сердечной деятельности
Р 12		Запрещается за- громождать про- ходы и (или) складировать	На пути эвакуации, у выходов, в местах размещения средств про- тивопожарной защиты, аптечек первой медицинской помощи и других местах
Р 13		Запрещается подъем (спуск) людей по шахтному стволу (запрещается транспортировка пассажиров)	На дверях грузовых лифтов и дру- гих подъемных механизмов

Продолжение табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 14		Запрещается вход (проход) с животными	На воротах и дверях зданий, со- оружений, помещений, объектов, территорий и т. п., где не должны находиться животные, где запре- щен вход (проход) вместе с жи- вотными
Р 16		Запрещается работа (присутствие) людей, имеющих металлические имплантанты	На местах, участках и оборудова- нии, где запрещено работать или находиться людям с вживленными металлическими имплантантами
Р 17		Запрещается разбрызгивать воду	На местах и участках, где запре- щено разбрызгивать воду
Р 18		Запрещается пользоваться мобильным (сотовым) телефоном или переносной рацией	На дверях помещений, у входа на объекты, где запрещено пользоваться средствами связи, имею- щими собственные радиочастот- ные электромагнитные поля
Р 21		Запрещение (прочие опасности или опасные действия)	Применять для обозначения опасности, не предусмотренной настоящим стандартом. Знак необходимо использовать вместе с поясняющей надписью или с дополнительным знаком безопасности с поясняющей надписью
Р 27		Запрещается иметь при (на) себе металлические предметы (часы и т. п.)	При входе на объекты, на рабочих местах, оборудовании, приборах и т. п. Область применения знака может быть расширена
Р 30		Запрещается принимать пищу	На местах и участках работ с вредными для здоровья веществами, а также в местах, где прием пищи запрещен. Область применения знака может быть расшире- на

Окончание табл. 5.2

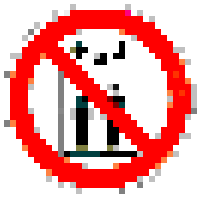
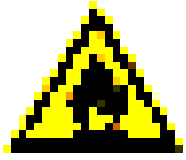
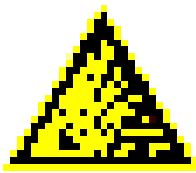
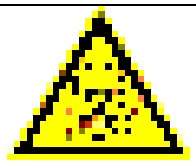
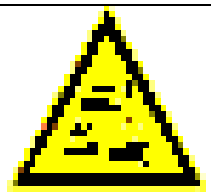
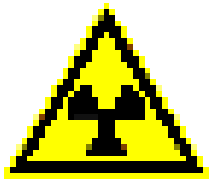
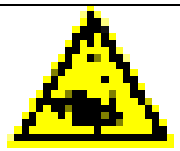
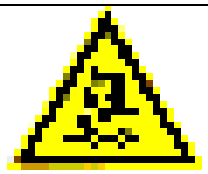
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 32		Запрещается подходить к элементам оборудования с маховыми движениями большой амплитуды	На оборудовании и рабочих местах по обслуживанию оборудования с элементами, выполняющими маховые движения большой амплитуды
Р 33		Запрещается брать руками. Сыпучая масса (непрочная упа- ковка)	На производственной таре, в складах и иных местах, где используют сыпучие материалы
Р 34		Запрещается пользоваться лифтом для подъема (спуска) людей	На дверях грузовых лифтов и других подъемных механизмах. Знак входит в состав группового знака безопасности «При пожаре лифтом не пользоваться, выходить по лестнице»

Таблица 5.3

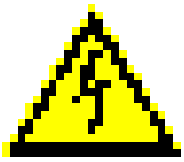
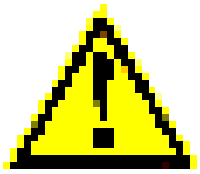
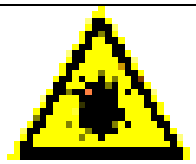
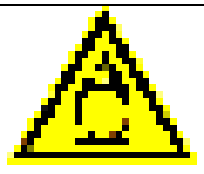
Предупреждающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 01		Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества	Использовать для привлечения внимания к помещениям с легковоспламеняющимися веществами. На входных дверях, дверцах шкафов, емкостях и т. д.

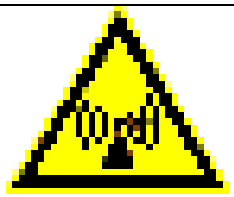
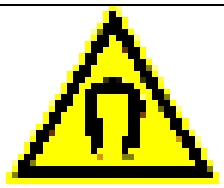
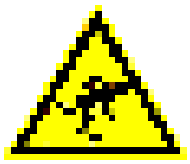
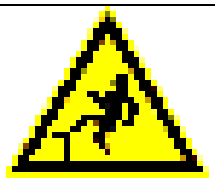
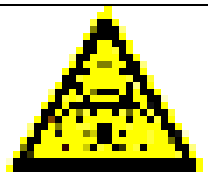
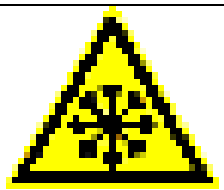
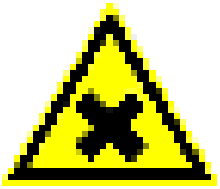
Продолжение табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 02		Взрывоопасно	Использовать для привлечения внимания к взрыво- опасным веществам, а так- же к помещениям и участ- кам. На входных дверях, стенах помещений, дверцах шкафов и т. д.
W 03		Опасно. Ядовитые ве- щества	В местах хранения, выделения, производства и применения ядовитых веществ
W 04		Опасно. Едкие и корро- зионные вещества	В местах хранения, выде- ления, производства и применения едких и корро- зионных веществ
W 05		Опасно. Радиоактивные вещества или ионизи- рующее излучение	На дверях помещений, дверцах шкафов и в других местах, где находятся и применяются радиоактивные вещества или имеется ионизирующее излучение. Допускается применять знак радиационной опасно- сти по ГОСТ 17925
W 06		Опасно. Возможно падение груза	Вблизи опасных зон, где используется подъемно-транспортное оборудование
W 07		Внимание. Автопогруз- чик	В помещениях и на участках, где проводятся погрузочно-разгрузочные работы

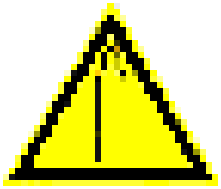
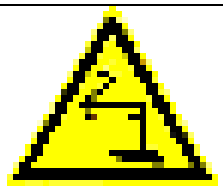
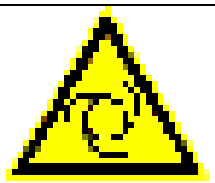
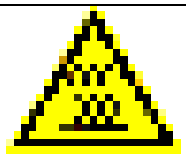
Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 08		Опасность поражения электрическим током	На опорах линий электропередачи, электрооборудовании и приборах, дверцах силовых щитков, на элек-тротехнических панелях и шкафах, а также на ограж- дениях токоведущих частей оборудования, механизмов, приборов
W 09		Внимание. Опасность (прочие опасности)	Применять для привлече- ния внимания к прочим ви- дам опасности, не обозна- ченной настоящим стан- дартом. Знак необходимо использовать вместе с дополнительным знаком безопасности с поясняю- щей надписью
W 10		Опасно. Лазерное излу- чение	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где имеет- ся лазерное излучение
W 11		Пожароопасно. Окисли- тель	На дверях помещений, дверцах шкафов для привлечения внимания на наличие окислителя

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 12		Внимание. Электромагнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют электромагнитные поля
W 13		Внимание. Магнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют магнитные поля
W 14		Осторожно. Малоза- метное препятствие	В местах, где имеются малозаметные препятствия, о которые можно споткнуться
W 15		Осторожно. Возможность падения с высоты	Перед входом на опасные участки и в местах, где возможно падение с высоты
W 16		Осторожно. Биологическая опасность (инфекционные вещества)	В местах хранения, производства или применения вредных для здоровья биологических веществ
W 17		Осторожно. Холод	На дверцах холодильников и морозильных камер, компрессорных агрегатах и других холодильных аппаратах
W 18		Осторожно. Вредные для здоровья аллергические (раздражающие) вещества	В местах хранения, произ- водства или применения вредных для здоровья аллергических (раздражающих) веществ

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 19		Газовый баллон	На газовых баллонах, скла- дах и участках хранения и применения сжатых или сжиженных газов. Цвет баллона черный или белый, выбирается по ГОСТ 19433
W 20		Осторожно. Аккумуля- торные батареи	В помещениях и на участках изготовления, хранения и применения аккумуля- торных батарей
W 22		Осторожно. Режущие валы	На участках работ и оборудовании, имеющем незащищенные режущие валы
W 23		Внимание. Опасность зажима	На дверцах турникетов и шлагбаумах
W 24		Осторожно. Возможно опрокидывание	На дорогах, рампах, складах, участках, где возможно опрокидывание внутризаводского транспорта
W 25		Внимание. Автоматическое включение (запуск) оборудования	На рабочих местах, оборудовании или отдельных узлах оборудования с автоматическим включением
W 26		Осторожно. Горячая поверхность	На рабочих местах и обо-рудовании, имеющем на-гретые поверхности

Окончание табл.5.3

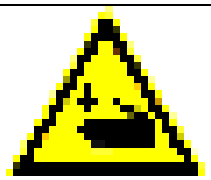
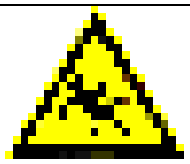
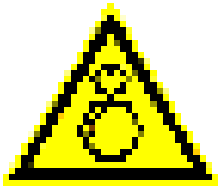
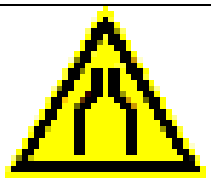
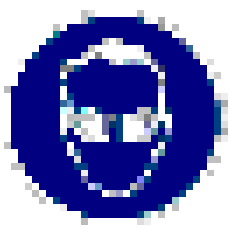
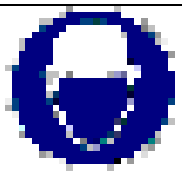
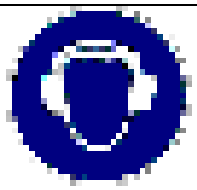
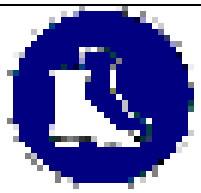
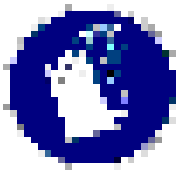
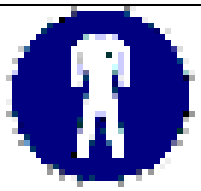
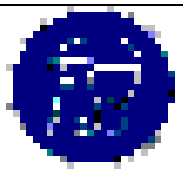
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 27		Осторожно. Возможно травмирование рук	На оборудовании, узлах оборудования, крышках и дверцах, где возможно получить травму рук
W 28		Осторожно. Скользко	На территории и участках, где имеются скользкие места
29		Осторожно. Возможно затягивание между вращающимися элемен- тами	На рабочих местах и обо- рудовании, имеющем вра- щающиеся элементы, на- пример на валковых мель- ницах
W 30		Осторожно. Сужение проезда (прохода)	На территориях, участках, в цехах и складах, где имеются сужения прохода (проезда) или присутствуют выступающие конструкции, затрудняющие проход (проезд)

Таблица 5.4

Предписывающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
M 01		Работать в защитных очках	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов зрения

Продолжение табл. 5.4

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 02		Работать в защитной каске (шлеме)	На рабочих местах и участках, где требуется защита головы
М 03		Работать в защитных наушниках	На рабочих местах и участках с повышенным уровнем шума
М 04		Работать в средствах индивидуальной защиты органов дыхания	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов дыхания
М 05		Работать в защитной обуви	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной защиты
М 06		Работать в защитных перчатках	На рабочих местах и участках работ, где требуется защита рук от воздействия вредных или агрессивных сред, защита от возможного поражения электрическим током
М07		Работать в защитной одежде	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной зашиты
М 08		Работать в защитном щитке	На рабочих местах и участках, где необходима защита лица и органов зрения

Продолжение табл. 5.4

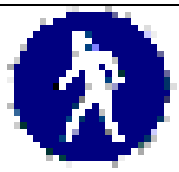
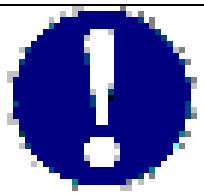
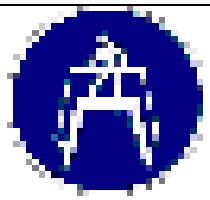
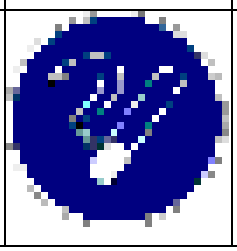
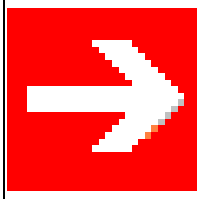
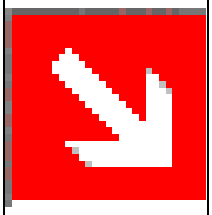
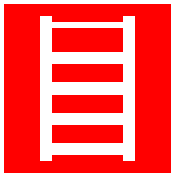
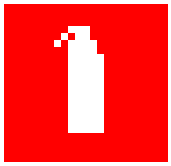
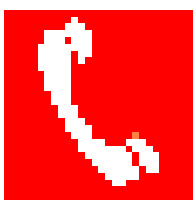
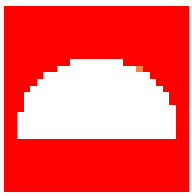
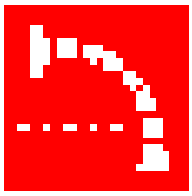
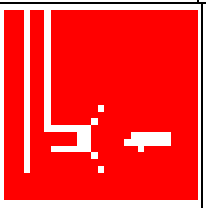
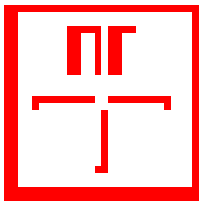
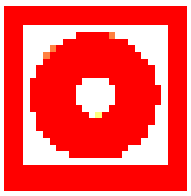
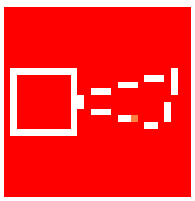
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 09		Работать в предохранительном (страховочном) поясе	На рабочих местах и участках, где для безопасной работы требуется применение предохранительных (страховочных) поясов
М 10		Проход здесь	На территориях и участках, где разрешается проход
М 11		Общий предписывающий знак (прочие предписания)	Для предписаний, не обозначенных настоящим стандартом. Знак необходимо применять вместе с поясняющей надписью на дополнительном знаке безопасности
М 12		Переходить по надземному переходу	На участках и территориях, где установлены надземные переходы
М 13		Отключить штепсельную вилку	На рабочих местах и оборудовании, где требуется отключение от электросети при наладке или остановке электрооборудования и в других случаях
М 14		Отключить перед работой	На рабочих местах и оборудовании при проведении ремонтных или пусконаладочных работ
М 15		Курить здесь	Используется для обозначения места курения на производственных объектах

Таблица 5.5

Знаки пожарной безопасности

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 01-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими знаками пожар- ной безопасности для указания направления движе- ния к месту нахождения (размещения) средства противопожарной зашиты
F 01-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими знаками пожарной безопасности для указания направления движения к месту нахождения (размещения) средства противопожарной защиты
F 02		Пожарный кран	В местах нахождения комплекта пожарного крана с пожарным рукавом и стволом
F 03		Пожарная лестница	В местах нахождения пожарной лестницы
F 04		Огнетушитель	В местах размещения огнетушителя
F 05		Телефон для использования при пожаре	В местах размещения телефона, по которому мож- но вызвать пожарную охрану

Продолжение табл. 5.5

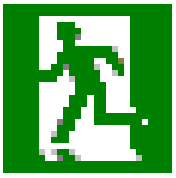
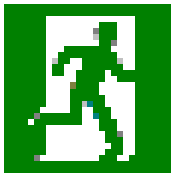
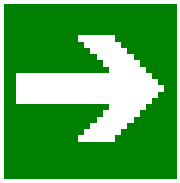
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 06		Место размещения нескольких средств противопожарной защиты	В местах одновременного нахождения (размещения) нескольких средств противопожарной защиты
F 07		Пожарный водоисточник	В местах нахождения пожарного водоема или пир- са для пожарных машин
F 08		Пожарный сухотрубный стояк	В местах нахождения пожарного сухотрубного стояка
F 09		Пожарный гидрант	У мест нахождения подземных пожарных гидран- тов. На знаке должны быть цифры, обозначающие расстояние от знака до гидранта в метрах
F 10		Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики	В местах ручного пуска установок пожарной сигна- лизации, пожаротушения и (или) систем противодым- ной защиты. В местах (пунктах) подачи сигнала пожарной тревоги
F 11		Звуковой оповещатель пожарной тревоги	В местах нахождения зву- кового оповещателя или совместно со знаком F 10 «Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики»

К знакам пожарной безопасности относят также:

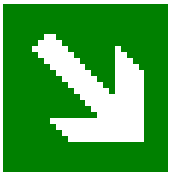
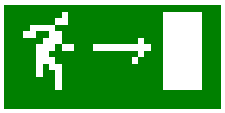
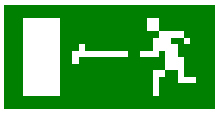
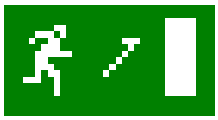
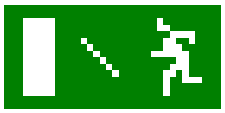
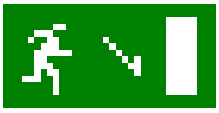
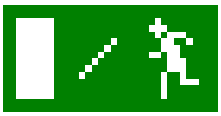
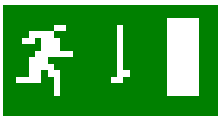
- запрещающие знаки: Р 01 «Запрещается курить», Р 02 «Запрещается пользоваться открытым огнем», Р 04 «Запрещается тушить водой», Р 12 «Запрещается загромождать проходы и (или) складировать»;
- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся вещества», W 02 «Взрывоопасно», W 11 «Пожароопасно. Окислитель»;
- эвакуационные знаки;

Таблица 5.6

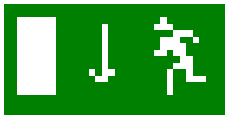
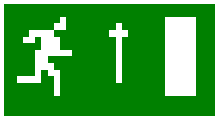
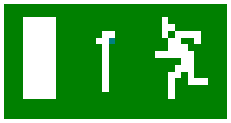
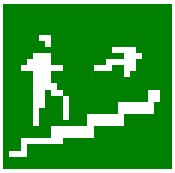
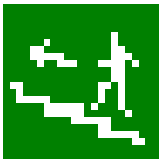
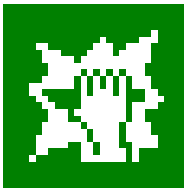
Эвакуационные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 01-01		Выход здесь (левосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с левой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуа- ционному выходу
Е 01-02		Выход здесь (правосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с правой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 02-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения

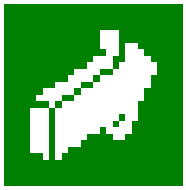
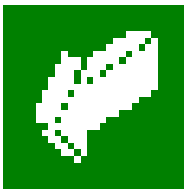
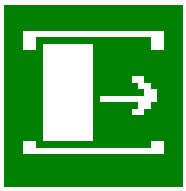
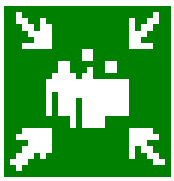
Продолжение табл.5.6

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 02-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения
Е 03		Направление к эвакуационному выходу на- право	На стенах помещений для указаниянаправления движения к эвакуационному выходу
Е 04		Направление к эвакуационному выходу налево	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 05		Направление к эвакуационному выходу направо вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 06		Направление к эвакуационному выходу нале- во вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плос- кости
Е 07		Направление к эвакуационному выходу на- право вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 08		Направление к эвакуационному выходу налево вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 09		Указатель двери эвакуа- ционного выхода	Над дверями эвакуацион- ных выходов

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 10		Указатель двери эвакуационного выхода (левосторонний)	Над дверями эвакуационных выходов
Е 11		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или под- вешивается к потолку
Е 12		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или подвешивается к потолку
Е 13		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 14		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 15		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 16		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 17		Для доступа вскрыть здесь	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах, где для доступа в помещение или выхода необходимо вскрыть определенную кон- струкцию, например раз- бить стеклянную панель

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 18		Открывать движением от себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 19		Открывать движением на себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 20		Для открывания сдви- нуть	На дверях помещений для обозначения действий по открыванию сдвижных две- рей
Е 21		Пункт (место) сбора	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах для обозначения заранее преду- смотренных пунктов (мест) сбора людей в случае воз- никновения пожара, аварии или другой чрезвычайной ситуации
Е 22		Указатель выхода	Над дверями эвакуацион- ного выхода или в составе комбинированных знаков безопасности для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 23		Указатель запасного выхода	Над дверями запасного выхода

Эвакуационные знаки следует устанавливать в положениях, соответствующих направлению движения к эвакуационному выходу.

Изображение графического символа фигуры человека в дверном проеме на эвакуационных знаках Е 01-01 и Е 01-02 смыслового значения

«Выход здесь» должно совпадать с направлением движения к эвакуационному выходу».

Таблица 5.7

Знаки медицинского и санитарного назначения

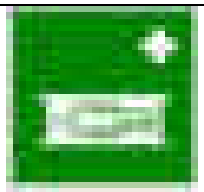
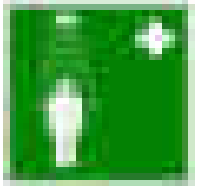
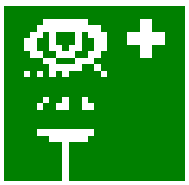
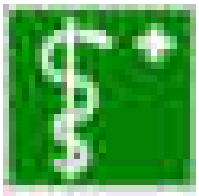
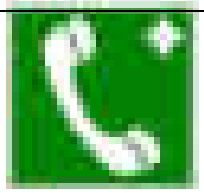
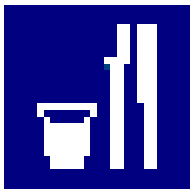
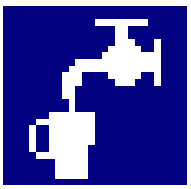
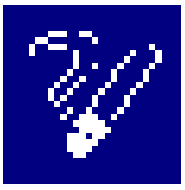
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по при-менению
ЕС 01		Аптечка первой медицинской помощи	На стенах, дверях помещений для обозначения мест размещения аптечек первой медицинской помощи
ЕС 02		Средства выноса (эвакуации) пораженных	На дверях и стенах помещений в местах размеще- ния средств выноса (эва- куации) пораженных
ЕС 03		Пункт приема гигиенических процедур (душевые)	На дверях и стенах помещений в местах расположения душевых и т. п.
ЕС 04		Пункт обработки глаз	На дверях и стенах поме- щений в местах располо- жения пункта обработки глаз
ЕС 05		Медицинский кабинет	На дверях медицинских кабинетов
ЕС 06		Телефон связи с медицинским пунктом (скорой медицинской помощью)	В местах установки телефонов

Таблица 5.8.

Указательные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
D 01		Пункт(место) приема пищи	На дверях комнат приема пищи, буфетах, столовых, бытовых помещениях и в других местах, где разре- шается прием пиши
D 02		Питьевая вода	На дверях бытовых помещений и в местах распо- ложения кранов с водой, пригодной для питья и бы- товых нужд (туалеты, душевые, пункты приема пищи и т. д.)
D 03		Место курения	Используется для обозначения места курения на общественных объектах

Порядок выполнения работы

1. Изучить выдержку из ГОСТ Р 12.4.026–01.

2. Проверить усвоение материала, ответив на контрольные вопросы:

В какой цвет окрашено поле предупреждающего знака?

Какой размер имеет сторона треугольника предупреждающего знака № 4, наносимого на тару и оборудование?

Какой цвет имеет символическое изображение на запрещающем знаке?

Какую форму имеет предписывающий знак?

Какую форму имеет запрещающий знак?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 45 м. Какой размер должен иметь внешний диаметр круга запрещающего знака, мм?

Какой цвет имеют символические изображения или поясняю- щие надписи, наносимые на указательные знаки?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 60 м. Какие размеры

(стороны прямоугольника) должен иметь указательный знак, мм?

Какой цвет имеет квадрат, помещенный внутри указательного знака?

Какой размер имеет внешний диаметр круга запрещающего знака № 5, наносимого на производственное оборудование и тару?

3. Составить отчет. Отчет должен включать:

- цель практической работы;
- ответы на вопросы задания;
- зарисовку формы знаков (запрещающего, предупреждающего, предписывающего, указательного) с указанием цвета поля, символов, надпи- сей.

4. Показать отчет преподавателю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.4.026–01. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение, правила применения. Общие технические требования и реко- мендации. Методы испытания [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-поисковой системы «Техэксперт».

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6. РАССЛЕДОВАНИЕ И УЧЕТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Цель задания - ознакомиться с понятием и причинами возникновения несчастных случаев, порядком их расследования и учет на производстве, также с методами анализа травматизма.

Порядок выполнения задания:

а) изучить и законспектировать общие сведения по пункту 1;

б) изучить методы анализа и рассчитать по вариантам показатели травматизма по пункту 2 (см контр. вопросы к пунктам 1 и 2);

в)изучить «Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях» и законспектировать ответы на контрольные вопросы к пункту 3.

Общие сведения о несчастных случаях.

Несчастным случаем на производстве называют случай воздействия на работающего опасного производственного фактора при выполнении работающим трудовых обязанностей или заданий руководителя работы [1].

Повреждение здоровья в результате несчастного случая называют **травмой**. Травма, полученная работающим на производстве, называется **производственной**.

Опасным называют производственный фактор, воздействие которого при определенных условиях на работающего приводит к травме или другому внезапному ухудшению здоровья.

Вредным называют производственный фактор, воздействие которого на работающего приводит к заболеваниям или снижению его трудоспособности. В зависимости от уровня и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) по природе

действия подразделяют на 4 группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Производственные травмы в зависимости от характера воздействующих факторов подразделяются на:

а) механические повреждения (ушибы, ранения, вывихи, переломы, сотрясения мозга);

б) поражение электрическим током (электроудар, электротравма);

в) термические повреждения (ожоги пламенем, нагретыми частями оборудования, горячей водой и пр.);

г) химические повреждения (ожоги, острые отравления);

д) комбинированные повреждения (сочетание нескольких опасных факторов).

Производственные травмы по тяжести подразделяются на 6 категорий:

- микротравма (после оказания помощи можно продолжать работу).
- легкая травма (потеря трудоспособности на 1 или несколько дней).
- травма средней тяжести (многодневная потеря трудоспособности);
- тяжелая травма (когда требуется длительное лечение);
- травма, приводящая к инвалидности (частичная или полная утрата трудоспособно-сти);
- смертельная травма.

Причины возникновения производственных травм:

- организационные (нарушение технологического процесса и требований техники безопасности (ТБ), неправильная организация рабочего места и режима труда);
- технические (техническое несовершенство оборудования, неисправность механизмов, отсутствие или не использование защитных средств);
- санитарно-гигиенические (несоответствие условий труда требованиям КЗоТ, системе стандартов по безопасности труда (ССБТ), санитарным нормам(СН), строительным нормам и правилам (СНиП) и др.

- психофизиологические (неудовлетворительное состояние здоровья, переутомление, стресс, опьянение и др.).

Методы анализа показателей травматизма

Разработке мероприятий по улучшению условий труда предшествует необходимый этап - исследование и анализ причин травматизма. Для анализа состояния производственного травматизма применяют методы: статистический, экономический, монографический и топографический.

Статистический метод позволяет количественно оценить повторяемость несчастных случаев по ряду относительных коэффициентов. В результате сравнения полученных коэффициентов за отчетный период с предшествующим периодом можно оценить эффективность профилактических мер. Обычно при этом методе анализа несчастные случаи группируются по однородным признакам: профессиям, видам работ, возрасту, стажу работ, причинам, вызвавшим травму. Простота и наглядность являются несомненным достоинством этого метода. Однако у него есть и недостаток - он не выявляет опасные произ-водственные факторы. Среди основных показателей травматизма, используемых при статистическом методе анализа, являются:

а) коэффициент частоты травматизма - число пострадавших при несчастных случаях за отчетный период на 1ООО работающих, определяется по формуле:

где Кч - коэффициент частоты травматизма; Т - число учтенных травм с потерей трудоспособности; Рс - среднесписочное число работающих за отчетный период.

б) коэффициент тяжести травматизма - число человеко-дней нетрудоспособно-сти, которое приходится на один несчастный случай и определяется по формуле:

где Кт - коэффициент тяжести травматизма; Д - общее количество дней

нетрудоспособности за отчетный период; Т - количество учтенных травм.

в) коэффициент календарной повторяемости несчастных случаев

- показывает через сколько рабочих дней в среднем повторяются несчастные случаи и оп-ределяется по формуле:

где В - календарная повторяемость несчастных случаев; Т - число несчастных случаев за отчетный период.

г) коэффициент средней повторяемости - показывает на сколько человекодней приходится один несчастный случай, определяется по формуле:

где Вср - коэффициент средней повторяемости несчастных случаев; Рс - среднесписочное число работающих за отчетный период; Т - число несчастных случаев за отчетный период.

д) коэффициент опасности работ - характеризуется тяжестью и частотой несчастных случаев, определяется по формуле:

где Ор - коэффициент опасности работ; Кт - коэффициент тяжести травматизма ; Т - количество учтенных несчастных случаев; Рс - среднесписочное число работающих; М - число месяцев в отчетном периоде.

Таблица 5.0

Исходные данные для расчета показателей травматизма

Показатели	Варианты									
										0
Отчетный период, мес. (М)				2				2		

Число несчастных случаев (Т)				0				1		
Число дней нетрудоспособности (Д)	80	00	80	20	00	50	70	20	60	00
Среднесписочное числоработающих (Рс)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Экономический метод анализа производственного травматизма позволяет оценить эффективность финансовых затрат на профилактику травматизма с расходами на органи-зационные и технические мероприятия. Для более полной и глубокой характеристики травматизма экономический метод часто используют в сочетании с монографическим методом.

Монографический метод анализа травматизма состоит в углубленном и всестороннем изучении отдельного производства, цеха или участка. Он включает описание технологического процесса, оборудования и особенностей технологического регламента, описание опасных зон на рабочих местах, также санитарно-гигиенические условия труда. При этом обращается внимание на наличие защитных приспособлений, ограждений и травмоопасных ситуаций

Монографический метод анализа травматизма характеризуется полнотой, но трудоемок. Этот метод позволяет выявить потенциальную опасность не только в действующих производствах, но и на этапе проектирования, тем самым исключить причины травматизма.

Топографический метод анализа травматизма проводится по месту происшествия. При этом все несчастные случаи условными знаками наносятся на план производственного участка или схему механизма в тех местах, где они произошли. В результате этого выявляются опасные зоны, требующие соответствующих защитных мер и особого внимания.

Контрольные вопросы к пунктам 1 и 2

1. Что такое несчастный случай?

2. Что такое опасный производственный фактор?

3. Что такое вредный производственный фактор?

4. На какие группы подразделяются опасные и вредные производственные факторы?

5. Какие различают разновидности производственных травм?

6. Какие выделяют категории производственных травм?

7. Каковы основные причины возникновения производственных травм?

8. Какие существуют методы анализа производственного травматизма ?

9. В чем заключается статистический метод анализа производственного травматизма?

10. Как определяется коэффициент частоты травматизма?

11. Как определяется коэффициент тяжести травматизма?

12. Как определяется коэффициент календарной повторяемости несчастных случаев?

13. Как определяется коэффициент средней повторяемости несчастных случаев?

14. Как определяется коэффициент опасности работ?

15. В чем заключается экономический метод анализа производственного травматизма?

16. В чем заключается монографический метод анализа производственного травматизма?

17. В чем заключается топографический метод анализа производственного травматизма?

Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях

Расследование и учет несчастных случаев на производстве проводят в соответствии с “Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях”, утвержденного

Постановлением Министерства труда и социального раз-вития Российской Федерации от 24 октября 2002г. №73, а также статьями 227-231 Трудового кодекса РФ (ТК РФ).

Несчастный случай на производстве - это случай, происшедший с работающим вследствие воздействия опасного производственного фактора (для застрахованного – это страховой случай).

Несчастные случаи в зависимости от причин, места и времени происшествия делятся на две группы: несчастные случаи, связанные с работой и несчастные случаи, не связанные с работой (бытовые травмы).

Несчастные случаи, не связанные с производством, но происшедшие на производстве - это несчастные случаи, происшедшие при изготовлении предметов в личных целях, самовольном использовании транспорта предприятия, участии в спортивных мероприятиях на территории предприятия, при хищении имущества предприятия.

Бытовые несчастные случаи - это несчастные случаи, происшедшие в быту (дома) или при нахождении на предприятии вне рабочего времени.

Расследование несчастных случаев на производстве выполняется в соответствии с Трудовым кодексом РФ и «Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях», утверждённым постановлением Минтруда России № 73 от 24 октября 2002 года. Этим же постановлением утверждены формы документов, необходимых для расследования и учёта несчастных случаев на производстве.

Расследование несчастного случая может быть достаточно сложным процессом, поскольку интересы пострадавшего и работодателя часто не совпадают.

Действие нормативных актов по расследованию и учёту несчастных случаев на производстве распространяется на:

- работодателей - физических лиц, вступивших в трудовые отношения с работниками;
- уполномоченных работодателем лиц (представители работодателя);

- физических лиц, осуществляющих руководство организацией (руководители организации);
- физических лиц, состоящих в трудовых отношениях с работодателем;
- других лиц, участвующих с ведома работодателя в его производственной деятельности своим личным трудом, правоотношения которых не предполагают заключения трудовых договоров.

Расследованию подлежат травмы, в том числе причиненные другими лицами, включая:

- тепловой удар, ожог, обморожение;
- утопление; поражение электрическим током или молнией;
- укусы, нанесенные животными и насекомыми;
- повреждения, полученные в результате взрывов, аварий и т.п.

Расследованию и учёту подлежат несчастные случаи происшедшие:

- при исполнении трудовых обязанностей, в том числе во время коман-дировки, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- на территории организации, в течение рабочего времени, в том числе во время следования на работу и с работы, а также в течение вре-мени, необходимого для приведения в порядок рабочего места;
- при следовании на работу или с работы на транспортном средстве работодателя, а также на личном транспортном средстве при использовании его в производственных целях;
- во время служебных поездок на общественном транспорте, а также при следовании по заданию работодателя к месту выполнения работ и обратно, в том числе пешком;
- при следовании к месту служебной командировки и обратно;
- при следовании на транспортном средстве в качестве сменщика во время междусменного отдыха;
- во время междусменного отдыха при работе вахтовым методом;
- при привлечении к участию в ликвидации последствий

чрезвычайных ситуаций.

Работники организации обязаны незамедлительно извещать руководство о каждом происшедшем несчастном случае, об ухудшении состояния своего здоровья в связи с проявлениями признаков острого заболевания.

О каждом страховом случае работодатель в течение суток обязан сообщить страховщику (фонд социального страхования).

О групповом несчастном случае (пострадало два и более человек), тяжёлом несчастном случае или несчастном случае со смертельным исходом, работодатель в течение суток обязан направить извещение соответственно:

1) о несчастном случае, происшедшем в организации:

- в соответствующую государственную инспекцию труда;
- в прокуратуру по месту происшествия несчастного случая;
- в федеральный орган исполнительной власти по ведомственной принадлежности;
- в орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации;
- в организацию, направившую работника, с которым произошел несчастный случай;
- в территориальные объединения организаций профсоюзов;
- в территориальный орган государственного надзора, если несчастный случай произошел в организации (объекте), подконтрольной этому органу;
- страховщику.

2) о несчастном случае, происшедшем у работодателя - физического лица:

- в соответствующую государственную инспекцию труда;
- в прокуратуру по месту нахождения работодателя - физического лица;
- в орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации;
- в территориальный орган государственного надзора, если

несчастный случай произошел на объекте, подконтрольном этому органу;

- страховщику.

О групповых несчастных случаях, тяжелых несчастных случаях и несчастных случаях со смертельным исходом также информируется Федеральная инспекция труда Минтруда России.

Если указанные несчастные случаи, произошли в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты, то соответствующим образом информируются специально уполномоченные органы государственного надзора.

Для расследования несчастного случая на производстве в организации работодатель незамедлительно создает комиссию в составе не менее трех человек. Во всех случаях состав комиссии должен состоять из нечетного числа членов.

В состав комиссии включаются специалист по охране труда организации, представители работодателя, представители профсоюзного органа (коллектива), уполномоченный (доверенный) по охране труда. Комиссию возглавляет работодатель или уполномоченный им представитель. Состав комиссии утверждается приказом работодателя. Руководитель, непосредственно отвечающий за безопасность труда на участке, где произошел несчастный случай, в состав комиссии не включается.

В расследовании несчастного случая на производстве у работодателя - физического лица принимают участие указанный работодатель или уполномоченный его представитель, доверенное лицо пострадавшего, специалист по охране труда, который может привлекаться к расследованию несчастного случая и на договорной основе.

Несчастный случай на производстве, происшедший с лицом, направленным для выполнения работ к другому работодателю, расследуется комиссией, образованной работодателем, у которого произошел несчастный случай. В состав данной комиссии входит уполномоченный представитель работодателя, направившего это лицо.

Несчастные случаи, происшедшие на территории организации с работниками сторонних организаций при исполнении ими задания направившего их работодателя, расследуются комиссией, формируемой этим работодателем.

Несчастные случаи, происшедшие с работниками при выполнении работы по совместительству, расследуются комиссией, формируемой работодателем, у которого фактически производилась работа по совместительству.

Расследование несчастных случаев со студентами, проходящими произ-водственную практику (выполняющими работу под руководством работодателя), проводится комиссиями, формируемыми и возглавляемыми этим работодателем. В состав комиссии включаются представители образовательного учреждения.

Для расследования группового несчастного случая, тяжёлого несчастного случая и несчастного случая со смертельным исходом в комиссию дополнительно включаются:

- государственный инспектор труда, представители органа исполнительной власти субъекта РФ или органа местного самоуправления (по согласованию), представитель территориального объединения профсоюзов. Возглавляет комиссию государственный инспектор труда;
- по требованию пострадавшего (или его родственников) в расследовании несчастного случая может принимать участие его доверенное лицо;
- в случае острого отравления или радиационного воздействия, превысившего установленные нормы, в состав комиссии включается также представитель территориального центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора;
- при несчастном случае, происшедшем в организациях на объектах, подконтрольных территориальным органам Федерального горного и промышленного надзора России, состав комиссии утверждается руководителем

соответствующего территориального органа и возглавляет комиссию представитель этого органа;

- при групповом несчастном случае с числом погибших 5 и более человек в состав комиссии включаются также представители Федеральной инспекции труда, федерального органа исполнительной власти по ведомственной принадлежности и общероссийского объединения профсоюзов. Председателем комиссии является главный государственный инспектор труда по субъекту Российской Федерации, а на объектах, подконтрольных территориальному органу Федерального горного и промышленного надзора России, - руководитель этого территориального органа.

При крупных авариях с человеческими жертвами 15 и более человек расследование проводится комиссией, назначаемой Правительством России.

Расследование несчастных случаев (в том числе групповых), в результате которых пострадавшие получили повреждения, отнесенные в соответствии с установленными квалифицирующими признаками к категории легких, проводится в течение трех дней.

Расследование иных несчастных случаев проводится в течение 15 дней. В некоторых случаях председатель комиссии может продлить срок расследования, но не более чем на 15 дней. Несчастные случаи, о которых не было своевременно сообщено работодателю или в результате которых нетрудоспособность наступила не сразу, расследуются по заявлению пострадавшего в течение месяца.

Тяжелые несчастные случаи и несчастные случаи со смертельным исходом, происшедшие с лицами, выполнявшими работу на основе договора гражданско-правового характера, расследуются в установленном порядке государственными инспекторами труда на основании заявления пострадавшего (доверенного лица, членов его семьи).

В ходе расследования несчастного случая комиссия производит осмотр места происшествия, выявляет и опрашивает очевидцев несчастного случая и должностных лиц, знакомится с действующими в организации нормативными и

распорядительными документами, по возможности получает объяснения от пострадавшего.

Расследуются в установленном порядке и по решению комиссии могут квалифицироваться как не связанные с производством:

- смерть вследствие общего заболевания или самоубийства;
- смерть или иное повреждение здоровья, единственной причиной которых явилось алкогольное, наркотическое или иное токсическое опьянение (отравление) работника;
- несчастный случай, происшедший при совершении пострадавшим действий, квалифицированных правоохранительными органами как уголовное правонарушение.

При поступлении жалобы пострадавшего, выявлении сокрытого несчастного случая, установления нарушений порядка расследования и в некоторых иных случаях, государственный инспектор труда, независимо от срока давности несчастного случая, проводит дополнительное расследование.

Несчастные случаи, квалифицированные, как несчастные случаи на производстве, подлежат оформлению актом о несчастном случае на производстве по форме Н-1*.

Акт формы Н-1 составляется комиссией в двух экземплярах. При несчастном случае на производстве с застрахованным работником составляется дополнительный экземпляр акта формы Н-1.

При групповом несчастном случае на производстве акты формы Н-1 составляются на каждого пострадавшего отдельно.

В случае установления факта грубой неосторожности застрахованного работника, содействовавшей возникновению или увеличению размера вреда, причиненного его здоровью, в акте расследования указывается степень его вины в процентах, с учетом заключения профсоюзного или иного уполномоченного застрахованным представительного органа данной организации (не более 25%).

По результатам расследования каждого группового несчастного случая,

тяжелого несчастного случая или несчастного случая со смертельным исхо-дом составляется соответствующий акт в двух экземплярах.

Работодатель в трехдневный срок после завершения расследования несчастного случая на производстве обязан выдать пострадавшему один экземпляр утвержденного им и заверенного печатью акта формы Н-1. Вторые экземпляры акта с копиями материалов расследования хранятся в течение 45 лет работодателем.

При страховых случаях третий экземпляр утвержденного и заверенного печатью акта формы Н-1 работодатель направляет страховщику.

Каждый оформленный в установленном порядке несчастный случай на производстве регистрируются работодателем в журнале регистрации несчастных случаев на производстве и включаются в годовую форму федерального государственного статистического наблюдения за травматизмом на производстве.

В случае ликвидации организации или прекращения работодателем - физическим лицом предпринимательской деятельности оригиналы актов о расследовании несчастных случаев на производстве подлежат передаче на хранение правопреемнику, а при его отсутствии - соответствующему государственному органу.

Государственный надзор и контроль за соблюдением установленного порядка расследования, оформления и учета несчастных случаев на производстве осуществляется органами Федеральной инспекции труда.

Контрольные вопросы к пункту 3

1. Какие несчастные случаи считаются связанными с производством и подлежат расследованию и учету?
2. На кого распространяется действие Положения о порядке расследования и учета несчастных случаев?
3. Как должен действовать работодатель при возникновении несчастного случая на предприятии?
4. Что необходимо сделать сразу же после свершения несчастного

случая на произ-водстве?

5. Куда должен сообщить работодатель и в какие сроки о групповом несчастном случае или несчастном случае со смертельным исходом?

6. Кто несет ответственность за организацию и своевременное расследование и уче-та несчастных случаев?

7. Кто входит в комиссию по расследованию несчастных случаев, каковы ее обязанности?

8. В какие сроки должно быть проведено расследование несчастного случая?

9. Какие несчастные случаи квалифицируются как не связанные с производством?

10. Что делают при установлении грубой неосторожности пострадавшего?

11. В какие сроки и комиссией какого состава расследуются групповые несчастные случаи или со смертельным исходом?

12. Какие условия должен обеспечить работодатель для работы комиссии, проводя-щей расследование несчастного случая?

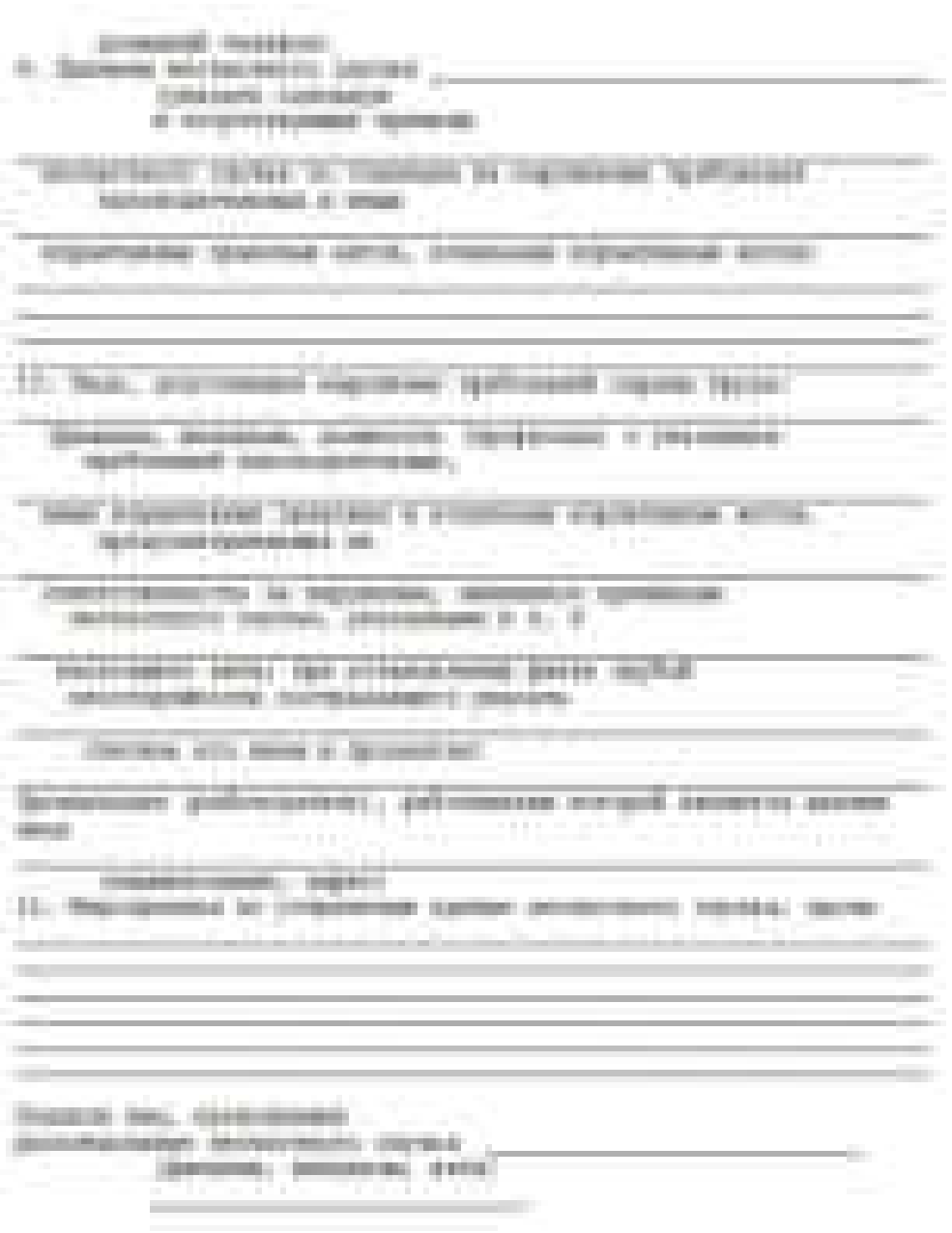
13. Каким документом оформляются несчастные случаи на производстве?

14. Какой организацией учитывается акт о несчастном случае?

15. В какие сроки и куда должны быть отправлены материалы расследования групповых несчастных случаев?

16. Какие организации и должностные лица разбирают разногласия при оформлении актов по форме Н - 1 ?

17. Каковы полномочия государственного инспектора по охране труда в случае нарушения порядка расследования несчастного случая?



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.О.ОО2 - 8О. Термины и определения.
2. Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях
3. И.М.Чижевский, Г.Б.Куликов, Ю.А.Сидорин. Охран труда в полиграфии. М., 1988.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Цель работы – ознакомиться со средствами защиты органов ды- хания и получить практические навыки их использования.

Теоретические положения

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) предназначены для защиты человека от попадания внутрь организма, на кожные покровы и повседневную одежду радиоактивных веществ (РВ), отравляющих веществ (ОВ) и бактериальных средств (БС).

По принципу применения средства индивидуальной защиты делятся:

– на средства защиты повседневного применения (промышленные СИЗ);

– средства защиты эпизодического применения (СИЗ для аварийных работ и пострадавших в очагах ЧС).

По объектам защиты средства индивидуальной защиты делятся:

– на средства защиты органов дыхания;

– средства защиты кожи.

По принципу действия средства индивидуальной защиты делятся:

– на фильтрующие (принцип фильтрации состоит в том, что воздух, необходимый для поддержания жизнедеятельности организма человека, очищается от вредных примесей при прохождении через средство защиты);

– изолирующие (средства защиты изолирующего типа полностью изолируют организм человека от окружающей среды с помощью материалов, непроницаемых для воздуха и вредных примесей).

По способу подачи воздуха различают средства индивидуальной

защиты делятся:

– с принудительной подачей воздуха;

– самовсасывающие.

По кратности использования средства индивидуальной защиты

- на СИЗ многократного использования;

- СИЗ однократного использования.

По способу изготовления средства индивидуальной защиты делятся:

- на средства, изготовленные промышленностью;

- простейшие средства, изготовленные из подручных материалов. Кроме средств индивидуальной защиты существуют медицинские средства защиты [1].

Средства защиты органов дыхания.

Фильтрующий противогаз.

Фильтрующий противогаз предназначен для защиты органов дыхания, глаз, кожи лица от воздействия ОВ, РВ, БС, (АХОВ), а также различных вредных примесей, присутствующих в воздухе.

В настоящее время имеются фильтрующие гражданские противогазы различной модификации и промышленные противогазы.

Для защиты населения наибольшее распространение получили фильтрующие противогазы: для взрослого населения – ГП-5 (ГП-5М), ГП-7 (ГП-7В); для детей – ПДФ-Ш, ПДФ-Д, ПДФ-2Ш, ПДФ-2Д, КЗД.

Гражданский противогаз (ГП-5). В состав комплекта входят два основных элемента: фильтрующе-поглощающая коробка ГП-5 и лицевая часть ШМ-62у. Шлем-маска имеет 5 ростов (0, 1, 2, 3, 4). Кроме того, противогаз комплектуется сумкой, наружными утеплительными манжетами (НМУ-1) и коробкой с незапотевающими пленками (рис. 9.1) [2]. У него нет соединительной трубки.

Рис. 7.1 Гражданский фильтрующий противогаз (ГП-5):

1 – фильтрующе-поглощающая коробка ГП-5; 2 - коробка с незапотевающими пленками; 3 – лицевая часть ШМ-62у; 4 – сумка

Внутри фильтрующе-поглощающей коробки ГП-5 расположены противоаэрозольный фильтр и шихта. Лицевая часть ШМ-62у представляет собой шлем-маску, изготовленную на основе резины из натурального или синтетического каучука. В шлем-маску вмонтированы очковый узел и клапанная коробка. Клапанная коробка имеет один вдыхательный и два выдыхательных клапана и служит для распределения потоков воздуха. Незапотевающие пленки изготавливаются из целлюлозы и бывают односторонние (НП) и двусторонние (НПН). Они устанавливаются с внутренней стороны стекол противогаза желатиновым покрытием к глазам и фиксируются прижимными кольцами. Желатин равномерно впитывает конденсированную влагу, тем самым сохраняя прозрачность пленки.

Комплект из 6 пленок упакован в металлическую коробку. Утеплительные манжеты используются только зимой при температуре ниже – 10 °С. Манжета надевается на обойму очков с внешней стороны. Пространство между стеклами манжет и очков предохраняет очки шлем- маски от замерзания.

Гражданский противогаз (ГП-5М). В комплект противогаза входит шлем-маска (ШМ-66Му) с мембранной коробкой для переговорного устройства. В лицевой части сделаны сквозные вырезы для ушных раковин, что обеспечивает нормальную слышимость.

Подгонка противогаза начинается с определения требуемого роста лицевой части. Рост лицевой части типа ШМ-62у, ШМ-66Му определяется по величине вертикального обхвата головы путем ее измерения по замкнутой линии, проходящей через макушку, щеки и подбородок. Измерения округляют до 0,5 см. До 63 см берут нулевой рост, от 63,5 до 65,5 см – первый, от 66 до 68 см – второй, от 68,5 до 70,5 см – третий, от 71 см и более – четвертый.

Перед применением противогаз следует проверить на исправность и герметичность. Осматривая лицевую часть, следует определить ее целостность, обратив внимание на стекла очкового узла. После этого нуж- но проверить клапанную коробку, состояние клапанов. Они не должны быть покороблены, засорены или порваны. На фильтрующе-поглощающей коробке не должно быть вмятин, проколов, в горловине – повреждений. Обращается внимание на то, чтобы в коробке не пересыпались зерна поглотителя.

Наиболее совершенными в настоящее время являются противогазы ГП-7 и ГП-7В. Их основными отличиями являются: более совершенная конструкция и форма шлем-маски, обеспечивающая возможность безопасного приема воды, жидких лекарств, других жидкостей в зараженной зоне без снятия маски. Наличие в комплекте фильтрующе-поглощающих коробок обеспечивает защиту от конкретных видов твердых химических веществ (ТХВ), а также увеличенные сроки работоспособности. Ростовка лицевой части предусматривает три размера. Как и другие типы противогазов, они состоят из фильтрующе- поглощающей коробки и лицевой части.

Гражданский противогаз (ГП-7). В комплект противогаза входят фильтрующе-поглощающая коробка ГП-7к, лицевая часть в виде маски МГП, сумка, защитный трикотажный чехол, коробка с незапотевающими пленками, утеплительные манжеты. Его масса в комплекте без сумки – около 900 г (фильтрующе-поглощающая коробка – 250 г, лицевая часть – 600 г).

Фильтрующе-поглощающая коробка ГП-7к по конструкции аналогична коробке ГП-5, но с улучшенными характеристиками, уменьшено ее сопротивление, что облегчает дыхание. Лицевая часть МГП представляет собой маску объемного типа с «независимым» обтюратором, с наголовником (предназначен для закрепления лицевой части) в виде резиновой пластины с пятью лямками (лобная, две височные, две щечные), с очковым узлом, переговорным устройством (мембраной), узлами клапана вдоха и выдоха, прижимными кольцами для закрепления незапотевающих пленок (рис. 9.2) [2]. «Независимый» обтюратор представляет собой полосу тонкой резины и служит для создания надежной герметизации лицевой части на голове. При этом механическое воздействие лицевой части на голову очень незначительно. На каждой лямке с интервалом в 1 см нанесены упоры ступенчатого типа, которые предназначены для надежного закрепления их в пряжках. У каждого упора имеется цифра, указывающая его порядковый номер. Это позволяет точно фиксировать нужное положение лямок при подгонке маски. Нумерация цифр идет от свободного конца лямки к затылочной пластине. Гидрофобный трикотажный чехол надевается на фильтрующе-поглощающую коробку и предохраняет ее от заражения, снега, пыли и влаги.

Рис. 7.2. Противогаз ГП-7:

1 – лицевая часть; *2* – фильтрующе-поглощающая коробка; *3* – сумка; *4* – коробка с незапотевающими пленками; *5* – трикотажный чехол; *6* – утеплительные манжеты

Гражданский фильтрующий противогаз (ГП-7, ГП-7В, ГП-7ВМ) – это одна из самых последних и совершенных моделей противогазов для населения. В реальных условиях он обеспечивают высокую защиту от паров отравляющих веществ нервнопаралитического действия (типа зарин, зоман и др.), общеядовитого действия (хлорциан, синильная кислота и др.), радиоактивных веществ (радионуклидов йода и его органических соедине- ний (типа йодистый метил и др.)); от капель отравляющих веществ кожно- нарывного действия (иприт и др.), бактериальных, аварийных химически опасных веществ (АХОВ). ГП-7 имеет малое сопротивление дыханию, обеспечивает надежную герметизацию и небольшое давление лицевой час- ти на голову. Благодаря этому им могут пользоваться люди старше 60 лет и больные с легочными и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Подбор лицевой части необходимого типоразмера ГП-7 осуществляется на основа- нии результатов измерения мягкой сантиметровой лентой горизонтального и вертикального обхвата головы.

Правила определения размера противогаза.

Для определения размера противогаза нужно знать горизонталь- ный и вертикальный обхват головы. Горизонтальный обхват измеряется по замкнутой линии, которая проходит спереди по надбровным дугам, сбоку чуть выше (на 2–3 см) ушной раковины и сзади по наиболее выступающей части головы. А вертикальный обхват можно определить посредством из- мерения длины вертикальной линии, проходящей через подбородок, щеки и макушку. Полученные измерения следует округлить так, чтобы послед- няя цифра была 0 или 5. Затем нужно сложить оба результата и посмот- реть, какой размер противогаза вам нужен [3]:

- менее 1190 мм – первый размер;
- от 1195 до 1210 мм – второй размер;
- от 1215 до 1235 мм – третий размер;
- от 1240 до 1260 мм – четвертый размер;
- от 1265 до 1285 мм – пятый размер;

- от 1290 до 1310 мм – шестой размер.

Надевается противогаз после сигнала «Химическая тревога» по команде «Газы», либо по своей инициативе. Вынув противогаз из специальной сумки, следует взять шлем-маску за его нижнюю часть так, чтобы большие пальцы рук находились снаружи, а остальные были внутри. Далее нужно приложить нижнюю часть шлема-маски под подбородок и натянуть его на голову резким движением рук вверх.

Учитывая то, что операции, которые описаны выше, придется проводить вслепую, нужно достаточно долго тренироваться. Хотя все зависит от человека и степени его обучаемости. Хорошо попрактиковавшись, можно приблизиться к армейским нормативам на надевание противогаза – около 7–10 с. Наличие у противогаза переговорного устройства (мембра- ны) обеспечивает четкое понимание передаваемой речи, значительно облегчает пользование средствами связи (телефон, радио).

Гражданские противогазы ГП-7В, ГП-7ВМ, УЗС-ВК, КЗД-6, фильтр ДОТ, фильтр ВК, ДПГ-3 (рис. 7.3). ГП-7В отличается от ГП-7 тем, что в нем лицевая часть МГП-В имеет устройство для приема воды, пред- ставляющее собой резиновую трубку с мундштуком и ниппелем.

ГП-7ВМ отличается от ГП-7В тем, что маска М-80 имеет очковый узел в виде трапециевидных изогнутых стекол, обеспечивающих возможность работы с оптическими приборами.

Гражданский фильтрующий противогаз ГП-7 обеспечивает защиту органов дыхания, глаз и кожи лица человека от вредных веществ и приме- сей, находящихся в воздухе. Это проверенная временем и надежная модель противогаза для гражданского населения.

а *б* *в* *г*

д *е* *ж*

Рис. 7.3. Гражданские противогазы:

а – ГП-7(В, ВМ); *б* – УЗС-ВК; *в* – ПДФ-2; г – КЗД-6; *д* – фильтр ДОТ; *е* – фильтр ВК; *ж* – ДПГ-3;

Подбор лицевой части необходимого типоразмера ГП-7 осуществляется на основании результатов измерения мягкой сантиметровой лентой горизонтального и вертикального обхвата головы. Горизонтальный обхват определяется измерением головы по замкнутой линии, проходящей спереди по надбровным дугам, сбоку на 2–3 см выше края ушной раковины и сзади через наиболее выступающую точку головы. Вертикальный обхват определяется измерением головы по замкнутой линии, проходящей через макушку, щеки и подбородок. Измерения округляются с точностью до 5 мм. По сумме двух измерений устанавливают нужный типоразмер (табл. 7.0). [4].

Правильно подобранная шлем-маска (маска) должна плотно прилегать к лицу и исключать возможность проникновения наружного воздуха в органы дыхания, минуя фильтрующе-поглощающую коробку.

Таблица 7.0

Типоразмеры противогазов

Рост лицевой части		1		2		3		
Положение упоров лямок	ГП-7, ГП-7В	4-8-8	3-7-8	3-7-8	3-6-7	3-6-7	3-5-6	3-4-5
	ГП-7ВМ	4-8-6	3-7-6	3-7-6	3-6-5	3-6-5	3-5-4	3-4-3
Сумма горизонтального и вертикального обхвата головы		До 1185	1190–1210	121–1235	1240–1260	1265–1285	1290–1310	1310 и более

*Примечание. П*оложение лямок наголовника устанавливают при подгонке противогаза.

Противогаз УЗС-ВК – аварийно-спасательное средство многоразового действия, применяется для защиты органов дыхания человека от вредных веществ, может использоваться во всех климатических зонах.

Противогаз ПДФ-2 предназначен для защиты органов дыхания, зрения и лица детей (старше 1,5 года) от отравляющих веществ (ОВ), опасных биологических веществ (ОБВ), радиоактивной пыли (РП).

Камера защитная детская (КЗД-6) предназначена для защиты детей в возрасте до 1,5 года от отравляющих веществ, радиоактивной пыли и бактериальных средств. Детская защитная камера похожа на обычную сумку, поэтому переносить ребенка в ней очень удобно.

Дополнительный патрон (ДПГ-3) предназначен для использования в комплекте с ГП-7, ГП-7В и детскими противогазами, для защиты органов дыхания, кожи лица и глаз человека от сильнодействующих ядовитых веществ: аммиака, диметиламина, нитробензола.

Фильтр ДОТ соответствует новым ГОСТам, гармонизированным с европейскими стандартами EN141, EN143. Он значительно эффективнее по сравнению с противогазовыми коробками, выпускаемыми по старым ГОСТа, за счет уникальных поглотителей от отравляющих веществ, опас- ных биологических веществ, радиоактивной пыли, сильнодействующих ядовитых веществ.

Фильтр ВК предназначен для очистки вдыхаемого воздуха от органических газов и паров с температурой кипения выше 65 ^{o}C (циклогек- сан, бензол, ксилол, толуол, бензин, керосин, галоидоорганические соеди- нения (хлорпикрин, хлорацетофенон и т. п.), нитросоединения бензола).

Промышленные противогазы. Существует несколько марок промышленных фильтрующих противогазов, которые являются индивидуальным средством защиты органов дыхания и зрения рабочих различных отраслей промышленности, сельского хозяйства от воздействия

вредных веществ (газы, пары, пыль, дым и туман), присутствующих в воздухе.

Запрещается применять промышленные противогазы при недостатке кислорода в воздухе (менее 18 %), например при работах в емкостях, цистернах, колодцах и других изолированных помещениях.

Не допускается применение промышленных противогазов для защиты от низкокипящих жидкостей, плохо сорбирующихся органических веществ, например метана, этилена, ацетилена. Не рекомендуется работать в таких противогазах, если состав газов и паров вредных веществ неизвестен (Рис. 7.4).

ППФМ-92 ПФМГ-96 ПФСГ-98 ППФ-95

Рис. 7.4. Промышленные противогазы

Противогазы ППФМ-92, ПФМГ-96, ПФСГ-98 предназначены для защиты органов дыхания, глаз и лица человека от вредных газо- и парооб- разных веществ и аэрозолей, присутствующих в воздухе рабочей зоны. ППФ-95 предназначены для защиты органов дыхания, зрения и лица рабо- чих различных отраслей промышленности и сельского хозяйства от воз- действия вредных газов, паров, пыли, дыма и тумана, присутствующих в воздухе. Фильтрующие противогазы надежны в атмосфере, содержащей не менее 18 % кислорода.

Промышленный противогаз состоит из снаряженной коробки, лицевой части (шлем-маски) с соединительной трубкой и сумки. Фильтрующая коробка служит для очистки воздуха, вдыхаемого человеком, от ядовитых веществ и вредных примесей. В зависимости от состава этих примесей она может содержать один или несколько специальных поглотителей или сочетание поглотителя с аэрозольным фильтром. При этом коробки строго специализированы по составу поглотителей, а поэтому отличаются друг от

друга окраской и маркировкой. Шлем-маски промышленных противогазов изготавливаются пяти ростов – 0, 1, 2, 3, 4. Чтобы подобрать шлем-маску, надо мягкой сантиметровой линейкой произвести два измерения головы. Вначале определить длину круговой линии, проходящей по подбородку, щекам и через высшую точку головы (макушку). Затем измерить длину полуокружности, проходящей от отверстия одного уха к отверстию другого по лбу через надбровные дуги. Результаты двух обмеров суммируют и находят требуемый рост шлем-маски.

При сумме до 93 см размер нулевой, от 93 до 95 см – первый, от 95 до 99 см – второй, от 99 до 103 см – третий, от 103 и выше – четвертый [4].

Противогазы комплектуют коробками двух размеров (большая и малая) и трех типов: без аэрозольного фильтра, с аэрозольным фильтром (на коробке белая вертикальная полоса), без аэрозольного фильтра с уменьшенным сопротивлением дыханию (имеет индекс 8 в маркировке). В зависимости от вида вредного вещества выпускают коробки следующих марок: А, В, Г, Е, КД, СО, М (табл. 9.2) [5].

Коробки марок А, В, Г, Е, КД изготавливаются как с аэрозольными фильтрами, так и без них; коробка БКФ – только с аэрозольными фильтрами; коробки СО и М – без аэрозольных фильтров. Белая вертикальная полоса на коробке означает, что она оснащена аэрозольным фильтром.

Таблица 7.1

Характеристика промышленных противогазов

Марка противогаза	Маркировка и окраска	Соединения, от которых защищают ПП
А	Коричневая	Пары органических соединений (бензин, керосин, ацетон, бензол, толуол, ксилол, сероуглерод, спирты, эфиры, галоидоорганические соединения, нитросоединения бензола и его гомологи, тетроэтилсвинец, фосфор- и хлорорганические ядохимикаты)

Продолжение табл. 7.1

Марка противогаза	Маркировка и окраска	Соединения, от которых защищают ПП
В	Желтая	Кислые газы и пары (диоксида серы, гидрид серы, хлор, циан гидрида, окислы азота, хлориды водорода, фосген), фосфор- и хлорорганические ядохимикаты
Г	Черно-желтая	Пары ртути и ртутьорганическе ядохимикаты на основе этилмеркурхлорида
Е	Черная	Гидрид мышьяка и гидрид фосфора
К	Зеленая	Аммиак, а также пыль, дым, туман
КД	Серая, с бе- лой поло- сой	Аммиак и сероводород
БКФ	Защитная, с белой полосой	Кислые газы и пары, пары органических веществ, гидрид мышьяка, гидрид фосфора, пыль, дым, туман
СО	Белая	Оксид углерода
М	Красная	Оксид углерода в присутствии паров органических ве- ществ, кислые газы, аммиак, гидрид мышьяка, гидрид фосфора, пары органических соединений (бензин, керо- син, ацетон, бензол, ксилол, сероуглерод, толуол, спирты, эфиры, анилин, соединения бензола и его гомологи)
П-2У	Красная с белой поло- сой	Пары карбонилов никеля и железа, оксид углерода и со-путствующие аэрозоли
Б	Синяя	Бороводороды: диборан, пентаборан, этилентаборан, ди-этилдекаборан и их аэрозоли
УМ	Защитная	Пары и аэрозоли гептила, амил, самин, нитромеланж, амидол
ГФ	Голубая	Газообразный гексафторид урана, фтор, фтористый водо- род, радиоактивные аэрозоли

Пользование противогазом. Подобрав шлем-маску, ее обязательно

примеряют. Новую лицевую часть предварительно необходимо протереть снаружи и внутри чистой тряпочкой или тампоном ваты, смоченным в воде, а клапаны выдоха продуть. Шлем-маску, бывшую в употреблении, следует отсоединить от коробки, протереть двухпроцентным раствором формалина или промыть водой с мылом и просушить.

При сборке противогаза шлем-маску берут в левую руку за клапанную коробку, а правой рукой ввинчивают до отказа фильтрующе- поглощающую коробку навинтованной горловиной в патрубок клапанной коробки шлем-маски.

При переводе противогаза в «боевое» положение необходимо:

– снять головной убор и зажать его между коленями или положить рядом;

– убрать волосы со лба и висков, женщинам следует гладко

– зачесать волосы назад, заколки и украшения снять (их попадание под обтюратор приведет к нарушению герметичности);

– вынуть шлем-маску из сумки, взять ее обеими руками за утолщенные края у нижней части так, чтобы большие пальцы рук были с наружной стороны, а остальные – внутри. Подвести шлем-маску к подбородку и резким движением рук вверх и назад натянуть ее на голову так, чтобы не было складок, а очки пришлись против глаз (ГП-5, ГП-5М);

– для правильного надевания ГП-7 надо взять лицевую часть обеими руками за щечные лямки так, чтобы большие пальцы захватывали их изнутри. Задержать дыхание, закрыть глаза. Затем зафиксировать подбородок в нижнем углублении обтюратора и движением рук вверх и назад натянуть наголовник на голову и подтянуть до упора щечные лямки;

– сделать полный выдох (для удаления зараженного воздуха из-под шлем-маски, если он туда попал в момент надевания), открыть глаза и возобновить дыхание;

– надеть головной убор, застегнуть сумку и закрепить ее на туловище.

Дополнительные патроны

В результате развития химической и нефтехимической промышленности

в производстве увеличено применение химических веществ. Многие из них по своим свойствам вредны для здоровья людей. Их называют сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ).

С целью расширения возможностей гражданских противогазов по защите от СДЯВ для них введены дополнительные патроны (ДПГ-1 и ДПГ-3).

ДПГ-1 в комплекте с противогазом защищает от двуокиси азота, метила хлористого, окиси углерода и окиси этилена. ДПГ-3 в комплекте с противогазом защищает от аммиака, хлора, диметиламина, нитробензола, сероводорода, сероуглерода, синильной кислоты, тетраэтилсвинца, фенола, фурфурола, хлористого водорода.

Внутри патрона ДПГ-1 два слоя шихты – специальный поглотитель и гопкалит. В ДПГ-3 только один слой поглотителя. Чтобы защитить шихту от увлажнения при хранении, горловины должны быть постоянно закрытыми: наружная – с навинченным колпачком с прокладкой, внутренняя – с ввернутой заглушкой [6].

Изолирующие противогазы. Изолирующие противогазы (ИП) являются специальными средствами защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от любых вредных примесей, находящихся в воздухе независимо от их свойств и концентраций. Они используются также в тех случаях, когда невозможно применение фильтрующих противогазов, например при наличии в воздухе очень высоких концентраций отравляющих веществ или любой вредной примеси, кислорода менее 16 %, а также при работе под водой на небольшой глубине. Виды противогазов представлены на Рис. 7.5.

ИП-4М ИП-6 ПДА-3М

Рис. 9.5. Изолирующие противогазы

Изолирующие противогазы используют в случае, когда фильтрующие противогазы не обеспечивают должной степени защиты, или когда в воздухе недостаточно кислорода. Источником кислорода в таком противогазе служит патрон, снаряженный специальным веществом. Для нужд населения выпускают ИП-4М, ИП-4МК, ИП-5, ИП-6, ИП-7, ПДА- 3М.

Действие изолирующих противогазов основано на использовании химически связанного кислорода. Они имеют замкнутую маятниковую схему дыхания: выдыхаемый воздух попадает в регенеративный патрон, вещество которое содержится в нем поглощает углекислый газ и влагу, а взамен выделяет необходимый для дыхания кислород. Затем дыхательная смесь попадает в дыхательный мешок. При вдохе газовая смесь из дыхательного мешка снова проходит через регенеративный патрон, дополнительно очищается и поступает для дыхания. Материалы, из которых изготовлены противогазы, не оказывают отрицательного воздействия на организм. Применение незапотевающих пленок, а при отрицательных температурах и утеплительных манжет сохраняет прозрачность стекол в течение всего времени работы в противогазе при любой физической нагрузке. Грантируется высокая эксплуатационная безопасность.

ИП-4М, ИП-4МК используют при авариях, стихийных бедствиях. ИП-5, ИП-6 предназначены для защиты органов дыхания, кожи лица и глаз человека в непригодной для дыхания атмосфере независимо от состава и концентрации вредных веществ в воздухе, а также при недостатке или отсутствии кислорода. Портативный дыхательный аппарат (ПДА-3М) предназначен для экстренной защиты органов дыхания, зрения и кожи лица человека в непригодной для дыхания атмосфере при эвакуации из опасной зоны, выполнении аварийных работ, а также в ожидании помощи [5].

По принципу действия изолирующие противогазы делятся на две группы: ИП-5); КИП-8).

- противогазы на основе химически связанного кислорода (ИП-4,

- противогазы на основе сжатого кислорода или воздуха (КИП-7, Исходя из принципа защитного действия, основанного на полной изоляции органов дыхания от окружающей среды, время пребывания в изолирующем противогазе зависит не от физико-химических свойств ОВ,РВ, БС и их концентраций, а от запаса кислорода и характера выполняемой работы.

Противогазы шланговые изолирующие презназначены для защиты органов дыхания, глаз и кожи человека от любых вредных примесей в воздухе независимо от их концентрации, а также для работы в условиях недостатка кислорода в воздухе рабочей зоны. Комплектуются возду- ходводящим шлангом длиной 10 или 20 м на барабане или в сумке.

Респираторы.

Респираторы представляют собой облегченное средство защиты органов дыхания от вредных газов, паров, аэрозолей и пыли (рис. 7.6).

Респираторы делятся на два типа. Первый – это респираторы, у которых полумаска и фильтрующий элемент одновременно служат и лицевой частью. Второй – это респираторы, которые очищают вдыхаемый воздух в фильтрующих патронах, присоединяемых к полумаске.

Рис. 7.6. Респираторы:

а – «Кама»; б – «Снежок»; в – У-2к; г – РП-КМ; д – Ф-62Ш; е – «Ас- тра 2»; ж – РПГ-67; з – РУ-6 Ом

Респираторы по назначению делят на следующие виды [5]:

противоаэрозольные – для защиты органов дыхания от пыли, дыма, тумана, содержащих токсичные, бактериальные и другие опасные элементы, за счет пропускания вдыхаемого воздуха через фильтр из специального материала (респираторы «Лепесток», «Кама», «Снежок-П», У-2к, «Астра-2», Ф-62ш, РПА-1 и др.). Для фильтров в таких респираторах ис- пользуют материалы типа ФП (фильтр Петрянова), обладающие высокой эластичностью, механической прочностью, большой пылеемкостью, стой- костью к химическим агрессивным веществам и прекрасными фильтрую- щими свойствами;

противогазовые – для защиты от паров и газов за счет фильтрования вдыхаемого воздуха через фильтрпатроны различных марок, различающихся составом адсорбирующего материала. При этом фильтр-патрон каждой марки защищает от газов только определенного вида (РПГ-67);

универсальные – одновременно защищают от аэрозолей и отдель- ных видов газов и паров. Респираторы имеют противоаэрозольный фильтр и сменные противогазовые патроны разных марок (РУ-60м) или противо- газовые фильтры из ионообменного волокнистого материала («Снежок- ГП», «Лепесток-Г»).

По конструктивному оформлению различают респираторы двух типов:

фильтрующие маски – их фильтрующий элемент одновременно служит лицевой частью;

патронные – самостоятельно выполненные лицевая часть и фильтрующий элемент.

По характеру вентилирования подмасочного пространства респи- раторы делят на бесклапанные (вдыхаемый и выдыхаемый воздух прохо- дит через фильтрующий элемент) и клапанные (вдыхаемый и выдыхаемый воздух движется по различным каналам благодаря системе клапанов вдоха и выдоха).

В зависимости от срока службы различают респираторы одноразо- вого (типа «Лепесток», «Кама», У-2к и т. п.) и многоразового пользования, в которых предусмотрена возможность замены фильтров или их много- кратная регенерация (Ф-62ш, «Астра-2», РУ-60м и др.).

Респираторы ШБ-1, «Лепесток-5», «Лепесток-40» и «Лепесток-200» одинаковы и представляют собой сплошную легкую полумаску- фильтр из материала ФПП (фильтрующее полотно Петрянова). В нерабо- чем состоянии респиратор имеет вид круга. Каркасность его в рабочем со- стоянии обеспечивают пластмассовая распорка и алюминиевая пластина. Плотное прилегание респиратора к лицу достигается при помощи резино- вого шнура, вшитого в периметр круга, а также благодаря электростатиче- скому заряду материала ФПП, который образует полосу обтюрации. На го- лове респиратор крепят четырьмя шнурами.

Противоаэрозольные респираторы. В качестве фильтров в респираторах используют тонковолокнистые фильтровальные материалы. Наибольшее распространение получили полимерные фильтровальные материалы типа ФП (фильтр Петрянова) благодаря их хорошей эластичности, большой пылеемкости, а главное, высоким фильтрующим свойствам. Важной отличительной особенностью материалов ФП, изготовленных из перхлорвинила и других полимеров, обладающих изоляционными свойствами, является то, что они несут электростатические заряды, которые резко повышают эффективность улавливания аэрозолей и пыли.

Респиратор противопылевый У-2К (в гражданской обороне Р-2) обеспечивает защиту органов дыхания от силикатной, металлургической, горнорудной, угольной, радиоактивной и другой пыли, от некоторых бактериальных средств, дустов и порошкообразных удобрений, не выделяющих токсичные газы и пары. Использовать респиратор целесообразно при кратковременных работах небольшой интенсивности и запыленности воздуха. Не рекомендуется применять, когда в атмосфере сильная влага.

Респиратор представляет собой фильтрующую полумаску, наружный фильтр которой изготовлен из полиуретанового поропласта зеленого цвета, а внутренняя его часть – из тонкой воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленки, в которую вмонтированы два клапана вдоха (рис. 9.7). Клапан выдоха размещен в передней части полумаски и защищен экраном. Между поропластом и полиэтиленовой пленкой расположен второй фильтрующий слой из материала ФП. Для плотного прилегания респиратора к лицу в области переносицы имеется носовой зажим – фигурная алюминиевая пластина. Респиратор крепится при помощи регулируемого оголовья.

Рис. 7.7. Респираторы У-2К (Р-2)

Респираторы У-2К изготавливаются трех ростов, которые обозначаются на внутренней подбородочной части полумаски. Определение роста производится путем измерения высоты лица человека, т. е. расстояния между точкой наибольшего углубления переносицы и самой нижней точкой подбородка. При величине измерения от 99 до 109 мм берут первый рост, от 109 до 119 мм – второй, от 119 и выше – третий.

Принцип действия респиратора основан на том, что при вдохе воздух последовательно проходит через фильтрующий полиуретановый слой маски, где очищается от грубодисперсной пыли, а затем через фильтрующий полимерный материал (ФП), в котором происходит очистка воздуха от тонкодисперсной пыли. После очистки вдыхаемый воздух через клапаны вдоха попадает в подмасочное пространство и в органы дыхания.

При выдохе воздух из подмасочного пространства выходит через клапан выдоха наружу.

Чтобы подогнать респиратор У-2К (Р-2), нужно:

- вынуть его из полиэтиленового мешочка и проверить его исправность, надеть полумаску на лицо так, чтобы подбородок и нос разместились внутри нее, одна нерастягивающаяся тесьма оголовья располагалась бы на теменной части головы, а другая – на затылочной;
- с помощью пряжек, имеющихся на тесемках, отрегулировать их длину (для чего следует снять полумаску) таким образом, чтобы надетая полумаска плотно прилегала к лицу;
- на подогнанной надетой полумаске прижать концы носового зажима к носу.

Для проверки плотности прилегания респиратора к лицу необходимо плотно закрыть отверстия предохранительного экрана клапана выдоха ладо- нью и сделать легкий выдох. Если при этом по линии прилегания полумаски к лицу воздух не выходит, а лишь несколько раздувает респиратор, значит, он надет герметично. Если воздух проходит в области носа, то надо плотнее прижать концы носового зажима.

После снятия респиратора необходимо удалить пыль с наружной части полумаски с помощью щетки или вытряхиванием. Внутреннюю поверхность необходимо протереть и просушить, после чего респиратор необходимо вложить в полиэтиленовый пакет, который закрывается кольцом. Противоаэрозольный респиратор Ф-62Ш (однопатронный) – это средство индивидуальной защиты органов дыхания человека от различных видов промышленных пылей, он не защищает от газов, паров вредных ве- ществ, аэрозолей органических соединений. Предназначен для защиты от силикатной, металлургической, горнорудной, угольной, табачной пыли, пыли порошкообразных удобрений и интоксицидов, а также других видов пыли, не выделяющих токсичных газов. Широко применяется шахтерами. Респиратор противоаэрозольный ФА-2002

предназначен для защиты лица, глаз, органов дыхания от аэрозолей различной природы (пыль, дым, туман) при их суммарной концентрации не более 15 ПДК и при концентрации кислорода не менее 17 % (Рис. 7.8).

Ф-62Ш

ФА-2002

Рис. 7.8. Респираторы противоаэрозольные Ф-62Ш и ФА-2002

Универсальные респираторы

Газопылезащитные респираторы занимают как бы промежуточное положение между респираторами противопылевыми и противогазами. Они легче, проще и удобнее в использовании, чем противогаз. Однако защищают только органы дыхания при концентрации вредных веществ не более 10–15 ПДК. Глаза, лицо остаются открытыми. Вместе с тем такие респираторы во многих случаях довольно надежно предохраняют человека в газовой и пылегазовой среде.

Респиратор газопылезащитный РУ-60М (рис. 7.9) защищает органы дыхания от воздействия вредных веществ, присутствующих в воздухе одновременно в виде паров, газов и аэрозолей (пыли, дыма, тумана).

Рис. 7.9. Респиратор газопылезащитный (РУ-60М)

Запрещается применять эти респираторы для защиты от высокотоксичных веществ типа синильной кислоты, мышьяковистого, фосфористого, цианистого водорода, тетраэтилсвинца, низкомолекулярных углеводородов (метан, этан), а также от веществ, которые в парогазообразном состоянии могут проникнуть в организм через неповрежденную

кожу. Респиратор РУ-60М состоит из резиновой полумаски, обтюратора, поглощающих патронов (марки А, В, КД, Г), пластмассовых манжет с клапанами вдоха, клапана выдоха с предохранительным экраном и оголовья. С этими респираторами разрешается работать в средах, где концентрация пыли не более 100 мг/м^3.

Противогазовые респираторы. Респиратор противогазовый (РПГ-

67) – это средство индивидуальной защиты, применяется на предприятиях химической, металлургической и в других отраслях производства при концентрациях вредных веществ, не превышаю-

щих 10–15 ПДК.

Газодымозащитный комплект. Статистика показывает, что пожары с большим количеством человеческих жертв чаще всего встречаются в гостиницах, театрах, универсамах, ресторанах, вечерних клубах, учебных заведениях, на предприятиях, использующих легковоспламеняю- щиеся материалы.

Помещения быстро заполняются окисью углерода и другими токсическими газами. Люди гибнут от отравлений. Чтобы защитить органы дыхания и глаза от ядовитых газов, а голову человека от огня при выходе из горящего помещения, создан специальный газодымозащитный комплект (Рис. 9.10).

Рис. 9.10 Газодымозащитный комплект

Газодымозащитный комплект (ГДЗК) состоит из огнестойкого капюшона с прозрачной смотровой пленкой. В нижней части расположена эластичная манжета.

Внутри капюшона находится резиновая полумаска, в которой закреплен фильтрующе-сорбирующий патрон с клапаном вдоха. ГДЗК имеет регулируемое оголовье. При надевании следует широко растянуть эластичную манжету и накинуть капюшон на голову так, чтобы

манжета плотно облегала шею, при этом длинные волосы заправляются под капюшон. Очки можно не снимать. ГДЗК обеспечивает защиту от окиси углерода и цианистого водорода не менее 15 мин. Сопротивление при вдохе при 30 л/мин – не более 149 Па (15 мм вод. ст). Масса 800 г. Комплект хранится в картонной коробке в пакете из трехслойной полиэтиленовой пленки.

Капюшон «Феникс» предназначен для самостоятельной эвакуации из мест возможного отравления химически опасными и вредными вещест- вами. Защищает от продуктов горения, аэрозолей, паров и газов, опасных химических веществ, образующихся при аварийных ситуациях (Рис. 9.11).

Самоспасатели СИП-1, СПИ-20, СПФ, «Экстремал ПРО» (Рис. 9.11) предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания, токсичной и задымленной газовой среды. Применяются при экстренной эвакуации людей в случае террористических актов, а также с мест пожара в общественных зданиях, на транспорте, из жилых домов и т. п.

а *б* *в* *г*

Рис. 9.11. Самоспасатели:

а – СИП-1; б – СПИ-20; в – СПФ; г – капюшон «Феникс»; д – «Экстремал ПРО».

Самоспасатель противопожарный СИП-1 предназначен для защиты органов дыхания, зрения и головы при самостоятельной эвакуации из помещений (гостиниц, высотных зданий, вагонов) во время пожара или при других аварийных ситуациях, от любых вредных веществ независимо от их концентрации и при недостатке кислорода в воздухе.

Порядок выполнения работы

1. Записать название и цель работы.
2. Законспектировать виды и назначение противогазов в виде табл. 7.3.

Таблица 7.3

Виды и назначение противогазов

Наименование и марка	Назначение, вид веществ, от которых защищает	Комплектация	Примечание*
Фильтрующие противогазы			
Гражданские			
ГП-5			
…			

… т. д.			

*В примечании указать, для каких возрастных групп предназначен, особенности мар- ки и т. п.

3. Указать правила пользования противогазами.

4. Измерить при помощи гибкого сантиметра лицевую часть головы и подобрать для себя размер противогаза ГП-5 (ГП-7) по росту.

5. Измерить при помощи гибкого сантиметра высоту своего лица и подобрать размер респиратора У-2К.

6. Показать отчет преподавателю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности : учеб. для вузов / С. В. Белов [и др.] ; под общ. ред. С. В. Белова. – М.: Высш. шк., 2009. – 616 с.

2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера : учеб. пособие для вузов / В. А. Акимов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2008. – 592 с.

3. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрез- вычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов / Я. Д. Вишняков [и др.]. – М. : Академия, 2008. – 304 с.

4. Емельянов В. М., Коханов В. Н., Некрасов П. А. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов. – М. : Академический проект : Трикста, 2005. – 480 с.

5. Вознесенский В. В. Средства защиты органов дыхания и кожи. Противога- зы, респираторы и защитная одежда, основы их эксплуатации : учеб. пособие. – М. : Воен. знания, 2010. – 80 с.

6. Семенов С. Н., Лысенко В. П. Проведение занятий по гражданской обороне : метод. пособие. – М. : Высш. шк., 1990. – 96 с.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8. ИНЖЕНЕРНАЯ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЗАЩИТА. ВИДЫ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ В НИХ

Наименование работы: Действия населения при ЧС военного характера.

Цель: изучить действия населения при ЧС военного характера при угрозе применения радиационного, химического или биологического оружия, определить применяемые средства индивидуальной защиты, обосновать выбор защитных сооружений.

Время: 4 часа

Материально-техническое обеспечение: инструкционная карта, ручка, противогаз, респиратор, ватно-марлевая повязка

Методика выполнения

Задание:

1. Изучить индивидуальные средства защиты населения.

2. Изучить виды укрытий и правила поведения в убежищах и укрытиях.

3. Изучить применение СИЗ при угрозе применения химического и биологического оружия.

4. Отчет о работе оформить в виде плана-конспекта.

5. Заполнить таблицу.

№	ЧС	Опасность	Поражающие факторы	Основные средства защиты

Ядерное оружие – самое страшное оружие современности. Поражение людей при его применении зависит от того, где они находились в момент ядерного взрыва. Наиболее эффективным средством защиты от всех поражающих факторов ядерного оружия являются убежища (укрытия). Находясь в убежищах (укрытиях), необходимо постоянно держать в готовности к немедленному использованию средства индивидуальной защиты. Средства

индивидуальной защиты подразделяют на средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), средства индивидуальной защиты глаз (СИЗГ), средства индивидуальной защиты кожи (СИЗК). К средствам защиты органов дыхания человека относятся противогазы (фильтрующие (рис.8.1.) и изолирующие (рис.2.)) и респираторы (рис.3.), а также простейшие средства защиты – противопыльные тканевые маски (ПТМ-1) (рис.4.) и ватно-марлевые повязки (рис.5.), изготовляемые обычно силами самого населения.

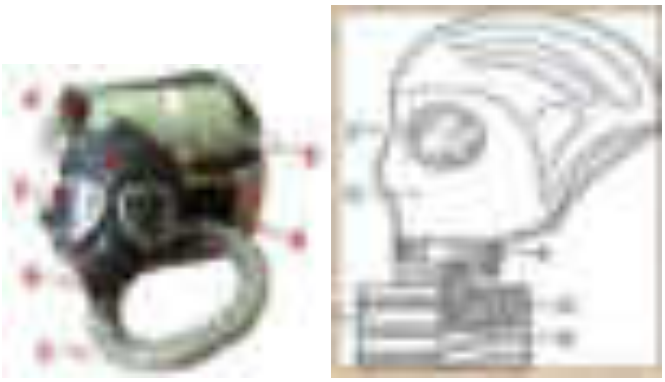


Рис. 8.1 Фильтрующий противогаз

1-фильтрующе-поглощающая коробка; 2-лицевая часть противогаза; 3-очковой узел; 4-шихга (обеспечивает поглощение паров и газов, и токсичных в-в); 5-ПАФ (противоаэрозольный фильтр); 6-клапанная коробка.

Рис.8.2. Изолирующий противогаз

1-лицевая часть, 2-очковый узел, 3-соеденительная трубка, 4-регенераторный патрон, 5-пусковое устройство патрона, 6-дыхательный мешок, 7-каркас, 8-устройство для переговоров.

Порядок надевания противогаза:

1. По команде «Газы!» задержите дыхание, не вдыхая воздух.

2. Закрыть глаза.

3. Достать противогаз из противогазной сумки, левой рукой доставая противогаз, а правой держа сумку снизу.

4. Вынуть пробку-заглушку из противогазной коробки.

5. Перед надеванием противогаза расположить большие пальцы рук снаружи, а остальные внутри.

6. Приложить нижнюю часть шлем-маски на подбородок.

7. Резко натянуть противогаз на голову снизу-вверх.

8. Выдохнуть.

9. Необходимо, чтобы после не образовалось складок, очковый узел должен быть расположен на уровне глаз.

10. Перевести сумку на бок.

Снятие:

1. По команде «Отбой!» брать за фильтровальную коробку и, потянув сверху-вниз, снять его.

2. Убрать противогаз в противогазную сумку.

3. Застегнуть пуговицы.

Таблица 8.0

Подбор размера противогаза

Обхват головы	Размер противогаза
До 63	0
63,5-65,5	1
66-68	2
68,5-70,5	3
71 и более	4

В качестве защиты органов дыхания от радиоактивной пыли и различных вредных аэрозолей могут быть использованы респираторы. Они просты в применении, малогабаритны и рассчитаны на массовое применение. Широко используются при выполнении работ, связанных с пылеобразованием.

Респиратор представляет собой фильтрующую полумаску, снабженную двумя клапанами вдоха, клапаном выхода (с предохранительным экраном),

оголовьем, состоящим из эластичных растягивающихся (и не растягивающихся) тесемок, и носовым зажимом. Работать в нем можно до 12 ч

Респираторы Р-2 изготовляются трех ростов -1,2 и 3-го, которые обозначаются внутренней подбородочной части полумаски.

Простейшими средствами защиты органов дыхания человека от радиоактивной пыли и биологических средств (при действиях во вторичном облаке) являются противопыльная тканевая маска ПТМ-1 (рис.8.3).

Рис.8.3. Противопыльная тканевая маска

1-корпус маски, 2-смотровые отверстия, 3-крепления, 4-резиновая тесьма, 5-поперечная резинка, 6-завязки.

И ватно-марлевая повязка (рис.8.4.) От ОВ (отравляющих веществ) они не защищают. Их изготавливает преимущественно само население. Маска состоит из корпуса и крепления. Корпус шьется из двух одинаковых по форме тканевых фильтрующих половинок, собранных на 4-5 слоев. На нем имеются смотровые отверстия со вставленными стеклами. Крепится маска на голове при помощи вставленной резинки и двух завязок.

Рис.8.4. Ватно-марлевая повязка

Ватно-марлевая повязка изготовляется из куска марли размером 100 х50 см и ваты. На марлю накладывают слой ваты толщиной 2-3 см, длинной 30 см, шириной 20 см. Марлю с обеих сторон загибают и накладывают на вату. Концы марли разрезают на 30-35 см с каждой стороны, чтобы образовались две пары завязок. Марлевые повязки делают из 10-12 слоев марли. Они шьются также в

виде маски, закрывающей лицо или только подбородок, нос и рот. Для защиты глаз используются противопыльные очки.

Рис.8.5.Защитные очки

К средствам индивидуальной защиты глаз (СИЗГ), в первую очередь, относятся защитные очки, предохраняющие от пыли, твердых частиц, химически неагрессивных жидкостей и газов, от слепящего яркого света, ультрафиолетового, инфракрасного излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействия летящих твердых частиц, а так же очкизащищающие от лазерного излучения и других опасных факторов.

К **средствам индивидуальной защиты кожи (СИЗК)** относят защитную одежду фильтрующего и изолирующего типа. К изолирующим средствам защиты кожи относятся общевойсковой комплексный защитный костюм (ОКЗК), общевойсковой защитный комплекс (ОЗК) (рис.8.6.), легкий защитный костюм (Л-1) , защитный комбинезон или костюм.

Рис. 8.6 Защитный костюм

Общевойсковой комплексный защитный костюм (ОЗК) предназначен для комплексной защиты от светового излучения и радиоактивной пыли, паров и аэрозолей ОВ и биологических аэрозолей. Он состоит из пропитанных специальным составом куртки, брюк, защитного белья, головного убора, подшлемника.

Простейшие средства защиты кожи применяются при отсутствии табельных средств. Может быть использована прежде всего производственная одежда (спецовка) – куртка и брюки, комбинезоны, халаты с капюшоном, сшитые из брезента, огнезащитной или прорезиненной ткани, грубого сукна. Они способны не только защищать от попадания на кожу людей радиоактивных веществ и биологических средств, но и не пропускать в течение некоторого времени капельножидких отравляющих веществ.

Обычная одежда, обработанная специальной пропиткой, может защищать и от паров отравляющих веществ. В качестве пропитки используют моющие средства или мыльно-масляную эмульсию. Основные представители неионогенных моющих средств – ОП-7 и ОП-10 (ОП-7иОП-10 - вспомогательные вещества, представляющие собой продукты обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена. Вспомогательные вещества ОП-7 и ОП-10 относятся к неионогенным поверхностно-активным веществам. Применяются в качестве смачивающих, эмульсирующих, стабилизирующих поверхностно-активных веществ. Хорошо растворимы в воде). Синтетические моющие средства в чистом виде используются редко и служат исходным материалом для приготовления моющих средств, которые состоят из моющего вещества, активных добавок (соли фосфорной кислоты, сульфат натрия, метасиликат натрия и др.) и веществ, предохраняющих кожу (карбоксиметилцеллюлоза, дермоланы – высокомолекулярные циклические соединения, содержащие группы SO_2,NH_4,далгоны – конденсированные фосфаты).

Придать повседневной одежде защитные от отравляющих веществ свойства можно, пропитав ее раствором, который может быть приготовлен в домашних условиях. 2,5-3 л раствора, необходимого для пропитки одного комплекта одежды, можно получить если растворить 250-300 г измельченного хозяйственного мыла в 2-3 л горячей воды (60-70 ° С), добавить в раствор 0,5 л минерального (машинного) и другого масла и, подогревая,перемешивать раствор до получения однородной мыльно-масляной эмульсии. Одежду помещают в большую емкость (бак, ведро) и заливают раствором. Пропитанная одежда отжимается и просушивается (утюжке не подлежит).

В летную жаркую погоду необходимо соблюдать установленные сроки работы в защитной одежде. Зимой для предупреждения обмораживания следует надевать ее на ватник, использовать подшлемник, теплые портянки, в резиновые сапоги подкладывать теплые стельки, защитные перчатки одевать поверх обычных шерстяных или фланелевых. Обычно длительность пребывания людей в убежищах зависит от степени радиоактивного заражения местности. Если убежище находится в зоне заражения с уровнями радиации от 8 до 80 Р/ччерез один час после ядерного взрыва, то время пребывания в нем укрываемых людей составит от нескольких часов до одних суток (рис.8.7) .

Рис.8. 7. Ватно-марлевая повязка

В зоне заражения с уровнями радиации от 80 до 240 Р/ч нахождение людей в защитном сооружении увеличивается до 3 сут. В зоне заражения с уровнем радиации 240 Р/ч и выше это время составит 3 сут. и более. По истечении указанных сроков из убежищ (укрытий) можно перейти в жилые помещения. В течение последующих 1-4 сут. (в зависимости от уровней радиации в зонах

заражения) из таких помещений можно периодически выходить наружу, но не более чем на 3-4 ч в сутки.

В условиях сухой и ветреной погоды, когда возможно пылеобразование, при выходе из помещений следует использовать СИЗОД. Чтобы благополучно пережить указанные сроки пребывания в убежищах, необходимо иметь запасы продуктов питания (не менее чем на 4 сут. (крупы, сахар и соль, галеты, сухари, консервы, макаронные изделия, мука, сухофрукты, шоколад, подсолнечное масло, мед, варенье. уксус, вода)), питьевой воды (из расчета 3 л на человека в сутки), а также предметы первой необходимости и медикаменты.

Если в результате ядерного взрыва убежище (укрытие) окажется поврежденным, принимают меры к быстрому выходу из него, надев СИЗОД. Если основным и ли запасным выходом воспользоваться невозможно, приступают к расчистке одного из заваленных выходов или к проделыванию выхода. После выхода из очага ядерного поражения (зоны радиоактивного заражения) необходимо провести частичную дезактивацию и санитарную обработку, т.е. удалить радиоактивную пыль. При частичной дезактивации следует осторожно снять одежду, ни в коем случае не снимая СИЗОД. Встав спиной к ветру, вытряхнуть ее, развесить одежду на перекладине или веревке и обмести с нее пыль сверху вниз с помощью щетки или веника. Одежду можно выколачивать и палкой.

После этого следует продезактивировать обувь: протереть тряпками и ветошью, смоченными водой, очистить веником или щеткой. Резиновую обувь можно мыть. Противогаз дезактивируют в особой последовательности. Фильтрующе-поглощающую коробку вынимают из сумки, сумку тщательно вытряхивают. Затем тампоном, смоченным мыльной воде, моющим раствором или жидкостью из противохимического пакета обрабатывают фильтрующе-поглощающую коробку, соединительную трубку и наружную поверхность шлема-маски (маски). Лишь после этого противогаз снимают.

Противопыльные тканевые маски при дезактивации тщательно вытряхивают, чистят щетками, при возможности полощут или стирают в воде. Зараженные ватно-марлевые повязки сжигают. При частичной санитарной обработке открытые участки тела: руки, лицо, шею, глаза обмывают незараженной водой. Нос, рот и горло полощут. Важно, чтобы при обмывке лица зараженная вода не попала в глаза, рот и нос. При недостатке воды обработку проводят путем многократного протирания участков тела тампонами из марли (ваты, пакли, ветоши), смоченными незараженной водой. Протирание следует проводить сверху вниз. каждый раз переворачивая тампон чистой стороной. Зимой может использоваться незараженный снег.

Летом санитарную обработку можно организовать в реке или другом проточном водоеме. Частичная дезактивация и санитарная обработка, проводимые в одноразовом порядке, не всегда гарантируют полное удаление радиоактивной пыли. Потому после их проведения обязательно проводится дозиметрический контроль. Если заражение одежды и тела окажется выше допустимой нормы, частичные дезактивацию и санитарную обработку повторяют. В необходимых случаях проводится полная санитарная обработка. Своевременно проведенные частичные дезактивация и санитарная обработка могут полностью предотвратить или сильно снизить степень поражения людей радиоактивными веществами.

Если люди во время ядерного взрыва находятся вне убежища укрытия, следует использовать естественные ближайшие укрытия (рис.10). Если таких укрытий нет, надо повернуться к взрыву спиной, лечь на землю лицом вниз, руки спрятать под себя. Через 15-20 с. после взрыва, когда пройдет ударная волна, следует встать и немедленно надеть противогаз, респиратор или какое-либо другое СИЗОД. В случае отсутствия специальных средств следует закрыть рот и нос платком, шарфом или плотным материалом.

Задача состоит в том, чтобы исключить попадание внутрь организма радиоактивных веществ. Их поражающее действие бывает значительным в

течение длительного времени, поскольку выведение их из организма происходит медленно. Далее необходимо стряхнуть осевшую на одежду и обувь пыль, надеть имеющиеся средства защиты кожи.

Рис 8.8 Естественные укрытия при внезапном ядерном взрыве

Для этого можно использовать имеющиеся одежду и обувь. Затем следует побыстрее покинуть очаг поражения или укрыться в ближайшем защитном сооружении.

Оставаться на зараженной радиоактивными веществами местности вне убежищ (укрытий), несмотря на использование средств индивидуальной защиты, опасно. Это сопряжено с возможностью облучения и, как следствие, развития лучевой болезни. В целях уменьшения возможности поражения радиоактивными веществами в зонах заражения запрещается принимать пищу, пить и курить. Приготовление пиши должно вестись на незараженной местности или, в крайнем случае, на местности, где уровень радиации не превышает 1 Р/ч. При выходе из очага поражения необходимо учитывать, что в результате ядерных взрывов разрушаются здания, сети коммунального хозяйства. При этом отдельные элементы зданий могут обрушиться через

некоторое время после взрыва. Продвигаться надо посередине улицы, стараясь возможно быстрее попасть в безопасное место. Нельзя трогать электропровода. Направление движения из очага поражения следует выбирать, ориентируясь на знаки ограждения, расставленные разведкой гражданской обороны. Они ведут всторону снижения уровней радиации. Двигаясь по зараженной территории, надо стараться не поднимать пыли, обходить лужи, не создавать брызг.

В результате применения химического оружия возникают очаги химического поражения-территории, в пределах которой в результате воздействия химического оружия произошли массовые поражения людей и сельскохозяйственных животных. Размеры очага зависят от масштаба и способа применения БТХВ (боевые токсичные химические вещества - это химические соединения, которые способны поражать людей и животных на больших площадях, проникать в различные сооружения, заражать местность и водоемы), его типа метеорологических условий, рельефа местности. Особенно опасны стойкие БТХВ нервнопаралитического действия. Их пары распространяются по ветру на довольно большое расстояние (15-25 км и более). Поэтому люди и животные могут быть поражены ими не только в районе применения химических боеприпасов, но и далеко за его пределами. Длительность поражающего действия БТХВ тем меньше, чем сильнее ветер и восходящие потоки воздуха. В лесах, парках, оврагах, на узких улицах они сохраняются дольше, чем на открытой местности. Современные отравляющие вещества обладают чрезвычайно высокой токсичностью.

При обнаружении признаков применения противником отравляющих веществ, далее ОВ (по сигналу «Химическая тревога») надо срочно надеть противогаз, а в случае необходимости - средства защиты кожи. Если поблизости имеется убежище, нужно укрыться в нем. Перед тем как войти в убежище, следует снять использованные средства защиты кожи и верхнюю одежду и оставить их в тамбуре убежища. Эта мера предосторожности исключает занос ОВ в убежище. Противогаз снимают после входа в убежище.

При пользовании укрытием, например, подвалом, не следует забывать, что оно м служить защитой лишь от попадания на кожные покровы и одежду капельножидких ОВ. Однако оно не защищает от паров или аэрозолей отравляющих веществ, находящихся в воздухе. Находясь в таких укрытиях, при наружном заражении обязательно надо воспользоваться противогазом. Находиться в убежище (укрытии) следует до получения распоряжения на выход из него. Когда такое распоряжение поступит, необходимо надеть требуемые средства индивидуальной защиты - противогазы и средства защиты кожи и выйти за пределы очага поражения по направлениям, обозначенным специальными указателями. Если нет ни указателей, ни постов, то двигаться следует перпендикулярно направлению ветра.

На зараженной ОВ территории надо двигаться быстро, но не пыль (брызги). Нельзя прислоняться к зданиям и прикасаться к окружающим предметам. Не следует наступать на видимые капли и мазки ОВ. На зараженной территории запрещается снимать противогазы и другие средства защиты. Особо осторожно нужно двигаться через парки, сады, огороды и поля. На листьях и ветках растений могут находиться осевшие капли ОВ, при прикосновении к ним можно заразить одежду и обувь, что может привести к поражению.

По возможности следует избегать движения оврагами и лощинами, через луга и болота, в этих местах возможен длительный застой паров ОВ. В городах пары ОВ могут застаиваться в замкнутых кварталах, парках, а также в подъездах и на чердаках домов. Зараженное облако в городе распространяется на наибольшие расстояния по улицам,тоннелям, трубопроводам.

ОВ на кожных покровах, одежде, обуви или средствах индивидуальной защиты необходимо немедленно снять их тампонами из марли или ваты; если таких тампонов нет, капли ОВ можно снять тампонами из бумаги или ветоши. Пораженные места следует обработать раствором из противохимического пакета или тщательно промыть теплой водой с мылом. После выхода из очага

химического поражения немедленно проводится полная санитарная обработка. Если это невозможно, проводятся частичные дегазация и санитарная обработка.

Очагом биологического поражения считаются территорииподвергшиеся непосредственному воздействию бактериальных (биологических) средств, создающих источник распространения инфекционных заболеваний. Заражение людей и животных происходит в результате вдыхания зараженного воздуха, попадания микробов или токсинов на слизистую оболочку и поврежденную кожу, употребления в пищу зараженных продуктов питания и воды.

Причиной заражения могут быть укусы зараженных насекомых и клещей, соприкосновения с зараженными предметами, ранения осколками боеприпасов, снаряженных БС (биологические средства поражения - общее название болезнетворных микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, предназначенных для использования в системах биологического оружия с целью поражения людей, животных и растений). Заражение возможно также в результате непосредственного общения с больными людьми (животными). Ряд заболеваний быстро передается от больных людей к здоровым и вызывает эпидемии (чума, холера, тиф, грипп и др.). К основным средствам защиты населения от биологического оружия относятся вакциносывороточные препараты, антибиотики, сульфамидные и другие лекарственные вещества, используемые для специальной и экстренной профилактики инфекционных болезней.

Употребимы такие средства индивидуальной и коллективной защиты. Своевременное и правильное применение средств индивидуальной защиты и защитных сооружений предохранит от попадания БС в органы дыхания, на кожные покровы и одежду. Необходимо строгое соблюдение правил личной гигиены и санитарно-гигиенических требований к питанию и водоснабжению населения. Приготовление и прием питии должны исключать возможность ее заражения бактериальными средствами. Посуду необходимо мыть дезинфицирующими растворами или обрабатывать кипячением. В случае

применения противником биологического оружия возможно возникновение значительного количества инфекционных заболеваний.

Основными формами борьбы с эпидемиями являются обсервация и карантин. Делается это в тех случаях, когда примененные возбудители болезней относятся к особо опасным (чума, холера и др.). Карантинный режим предусматривает полную изоляцию очага поражения от окружающего населения. Это наиболее эффективный способ противодействия распространению инфекционных заболеваний. На внешних границах зоны карантина устанавливается вооруженная охрана, выход людей, вывод животных и вывоз имущества запрещаются. Транзитный проезд транспорта через очаги поражения запрещается. Объекты экономики переходят на особый режим работы со строгим выполнением противоэпидемических требований. Рабочие смены разбиваются на отдельные группы как можно более малочисленные по составу. Контакт между ними сокращается до минимума. Питание и отдых рабочих и служащих организуются по группам в специально отведенных для этого помещениях. Работа учебных заведений, зрелищных учреждений, рынков и т.д. прекращается. Людям не разрешается без крайней необходимости выходить их своих квартир. Продукты питания, вода и предметы первой необходимости доставляются им специальными командами.

При выполнении срочных работ вне зданий люди должны быть обязательно в средствах индивидуальной защиты. Если установленный вид возбудителя не относится к группе особо опасных, вместо карантина применяется обсервация. Она предусматривает медицинское наблюдение за очагом поражения и проведение необходимых лечебно-профилактических мероприятий. Изоляционно-ограничительные меры при обсервации менее строгие: организуются дезинфекция, дезинсекция и дератизация.

Дезинфекция имеет целью обеззараживание объектов внешней среды, которые необходимы для нормальной деятельности и безопасного нахождения людей. Для дезинфекции применяются растворы хлорной извести и хлорамина,

лизол, формалин, могут использоваться горячая вода (с мылом или содой) и пар.

Дезинсекция и дератизация-это мероприятия, связанные соответственно с уничтожением насекомых и истреблением грызунов, которые являются переносчиками инфекционных заболеваний. Для уничтожения насекомых применяют физические (кипячение, проглаживание накаленным утюгом и др.), химические (применение дезинсектирующих средств) и комбинированные способы.

Истребление грызунов в большинстве случаев проводят с помощью механических приспособлений (ловушек различных типов) и химических препаратов. После проведения дезинфекции, дезинсекции и дератизации проводится полная санитарная обработка лиц, принимавших участие в осуществлении названных мероприятий. При необходимости организуется санитарная обработка и остального населения.

Контрольные вопросы

1. Перечислите СИЗОД.

2. Перечислите СИЗ кожи.

3. Назовите порядок изготовления ВМП.

4. При каких опасностях используются индивидуальные средства защиты?

5. Что является основным средством защиты при угрозе применения ядерного оружия?

6. Что относится к основным средством защиты населения от биологического оружия?

7.Какие индивидуальные средства защиты применяются при химической угрозе?

8. Какие действия предполагает санитарная обработка?

9. В чем отличие дезинфекции от дезинсекции?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.Косолапова Н.В. Основы безопасности жизнедеятельности: учебник / Н.В. Косолапова, Н.А. Прокопенко. – 3-е изд., стереот., - М.: Академия, 2013. – 320 с.: ил.

2. Безопасности жизнедеятельности: учебник / Е.А. Арустамов. – 9-е изд., стереот., - М.: Академия, 2013 с.: ис.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

по дисциплине

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Авторы: Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.

Одобрена на заседании кафедры
Безопасности горного производства
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Елохин В.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 20.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического факультета
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА……..…..4
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ……..……...….5
ЕСТЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ОПАСНОСТЕЙ……...……..5
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НОРМАЛЬНЫХ
СИТУАЦИЯХ……...5
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ……...……..5
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ТРАВМАТИЗМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ…….5
УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ…….5
СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ…….,……..5
НАДЗОР И КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА……. ……..5
ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА…….…… ……..6
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ…….…….,,,,,……7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….,,…..11
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ…….,,..12

ВВЕДЕНИЕ

Современный человек живет в мире различного рода опасностей, т.е. явлений, процессов, объектов, постоянно угрожающих его здоровью и самой жизни. Не проходит и дня, чтобы газеты, радио и телевидение не принесли тревожные сообщения об очередной аварии, катастрофе, стихийном бедствии, социальном конфликте или криминальном происшествии, повлекших за собой гибель людей и громадный материальный ущерб.

По мнению специалистов, одной из причин создавшейся ситуации является недостаточный уровень образования – обучения и воспитания – человека в области обеспечения безопасной деятельности. Только постоянное формирование в людях разумного отношения к опасностям, пропаганда обязательности выполнения требований безопасности может гарантировать им нормальные условия жизни и деятельности.

В курсе БЖД излагаются теория и практика защиты человека от опасных и вредных факторов природного и антропогенного происхождения в сфере деятельности.

Данный курс предназначен для формирования у будущих специалистов сознательного и ответственного отношения к вопросам безопасности, для привития им теоретических знаний и практических навыков, необходимых для создания безопасных и безвредных условий деятельности в системе «человек – среда», проектирования новой безопасной техники и безопасных технологий, прогнозирования и принятия грамотных решений в условиях нормальных и чрезвычайных ситуаций.

В процессе изучения курса БЖД студенту предстоит решить следующие задачи: усвоить теоретические основы БЖД; ознакомиться с естественной системой защиты человека от опасностей; изучить систему искусственной защиты в условиях нормальных (штатных) и чрезвычайных (экстремальных) ситуаций; ознакомиться с проблемами заболеваемости и травматизма на производстве; изучить вопросы управления безопасностью деятельности.

Успешное изучение курса студентами возможно при наличии соответствующей учебной литературы. Предлагаемое вниманию студентов и преподавателей учебное пособие подготовлено в соответствии с учебной программой курса БЖД для студентов всех направлений и специальностей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на зачет. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебникам освойте каждый структурный элемент темы.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Основные понятия и определения. Характеристика форм трудовой деятельности. Опасности среды обитания. Основные положения теории риска. Системный анализ безопасности. Принципы, методы и средства обеспечения безопасности.

ЕСТЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ОПАСНОСТЕЙ

Анатомо-физиологическая характеристика человека. Анализаторы человека. Защитные механизмы организма.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НОРМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

Гелиофизические и метеорологические факторы. Производственная пыль. Механические опасности. Опасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Механические колебания и волны. Электробезопасность. Электромагнитные излучения. Световой климат. Ионизирующие излучения. Световой климат. Ионизирующие излучения. Химические опасности. Биологические опасности. Психологические опасности. Экологические опасности. Социальные опасности. Санитарно-гигиенические требования к устройству и содержанию предприятий.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Общая характеристика чрезвычайных ситуаций. Стихийные бедствия. Аварии на особо опасных объектах экономики. Аварии на объектах горной промышленности и подземных геологоразведочных работ. Чрезвычайные ситуации, связанные с применением современных средств поражения. Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Устойчивость функционирования объектов экономики в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций. Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ТРАВМАТИЗМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Заболеваемость. Травматизм. Методы анализа травматизма.

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Правовые основы обеспечения безопасности деятельности. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий труда. Время отдыха. Подготовка работников к безопасному труду. Система управления охраной труда на предприятии. Экономические аспекты охраны труда.

СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ

НАДЗОР И КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

• КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные термины теории безопасности деятельности, дайте их определения.
2. Охарактеризуйте основные формы трудовой деятельности.
3. Что понимают под опасностью среды обитания? Как классифицируют опасности?
4. Сформулируйте аксиому о потенциальной опасности деятельности.
5. В чем состоит идентификация (распознавание) опасности?
6. Что такое квантификация опасностей?
7. Назовите методы анализа безопасности деятельности.
8. Приведите примеры расчета производственного риска.
9. В чем заключается концепция приемлемого риска?
10. Что такое управление риском?
11. Охарактеризуйте системный анализ безопасности деятельности.
12. Перечислите принципы, методы и средства обеспечения безопасности.
13. Изложите сущность естественной системы защиты человека от опасностей.
14. Дайте анатомо-физиологическую характеристику человека.
15. Какова роль анализаторов человека в обеспечении безопасности его деятельности?
16. Опишите зрительный, слуховой и обонятельный анализаторы.
17. Опишите вестибулярный, кинестетический и кожный анализаторы.
18. Что понимают под защитными механизмами человеческого организма?
19. Охарактеризуйте действие гелиофизических и метеорологических факторов на человека.
20. Какое действие оказывают высокие и низкие температуры, повышенная и пониженная влажность на организм человека?
21. Как действуют на организм человека вредные газы и пары?
22. В чем заключается вредное действие производственной пыли на организм? Как ведется борьба с пылью?
23. Назовите средства индивидуальной защиты работающих от пыли.
24. Как классифицируют механические опасности?
25. Перечислите методы и средства защиты от механических опасностей.
26. Укажите, как обеспечивается безопасность при эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
27. Охарактеризуйте действие инфразвука и ультразвука на организм и меры защиты от них.
28. Объясните действие шума на организм. Перечислите методы и средства коллективной и индивидуальной защиты от шума.

29. Как борются с вибрацией на горных предприятиях?
30. Объясните действие электрического тока на организм человека.
31. Укажите опасности, связанные с применением электрического тока на горных предприятиях.
32. Назовите основные меры безопасности при эксплуатации электроустановок.
33. Перечислите средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током.
34. В чем состоит молниезащита зданий и сооружений?
35. Назовите способы защиты работающих от воздействия электрических и электромагнитных полей.
36. Укажите меры защиты от инфракрасного, ультрафиолетового и лазерного излучений.
37. Как влияет освещение на условия труда? Перечислите виды освещения.
38. Укажите средства нормализации освещения производственных помещений, рабочих мест и горных выработок.
39. Охарактеризуйте виды ионизирующих излучений.
40. Назовите общие принципы защиты от ионизирующих излучений.
41. Охарактеризуйте методы и средства защиты от ионизирующих излучений.
42. Перечислите химические опасности (вредные вещества) и укажите меры защиты от них.
43. Назовите биологические опасности и меры защиты от них.
44. Что понимают под психологическими опасностями?
45. Какие естественные факторы воздействуют на биосферу Земли?
46. В чем заключается антропогенное воздействие на природу?
47. Назовите методы и средства обеспечения экологической безопасности на горных предприятиях.
48. Какие санитарно-гигиенические требования предъявляются к устройству и содержанию предприятий?
49. Что такое чрезвычайная ситуация?
50. Перечислите признаки, характеризующие чрезвычайные ситуации.
51. Как классифицируют чрезвычайные ситуации по причинам возникновения?
52. Охарактеризуйте стихийные бедствия. Укажите мероприятия по предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий.
53. Перечислите виды аварий на особо опасных объектах экономики (народного хозяйства). В чем заключается профилактика возникновения аварий на таких объектах?
54. Какие аварии происходят на объектах горной промышленности? Укажите методы профилактики и ликвидации таких аварий.
55. Охарактеризуйте чрезвычайные ситуации, связанные с применением современных средств поражения.

56. Перечислите основные принципы и способы защиты населения от чрезвычайных ситуаций.
57. Какие действия надлежит выполнить населению при стихийных бедствиях и авариях?
58. Укажите действия населения при возникновении угрозы нападения противника.
59. Какие действия должно выполнять население в очагах поражения и после выхода из них?
60. Какие факторы влияют на устойчивость функционирования объектов экономики?
61. Перечислите основные мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов экономики.
62. Назовите принципы организации и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени.
63. Какие приемы и способы проведения АСиДНР используются в очагах поражения?
64. Перечислите меры безопасности при проведении АСиДНР.
65. По каким признакам классифицируют травмы и несчастные случаи на производстве?
66. Перечислите причины травматизма.
67. Укажите причины несчастных случаев на шахтах.
68. Опишите порядок расследования и учета несчастных случаев на производстве.
69. В чем заключается профилактика травматизма?
70. Какие методы используются при анализе травматизма?
71. Как расследуются профессиональные заболевания?
72. Кто назначает комиссию по расследованию профессионального заболевания?
73. Каким образом определяется окончательный диагноз острого профессионального заболевания?
74. Назовите меры профилактики профессиональных заболеваний.
75. Назовите меры профилактики производственного травматизма.
76. Изложите правовые основы обеспечения безопасности деятельности.
77. Какие обязанности возложены на администрацию предприятия по обеспечению охраны труда?
78. Перечислите виды подготовки работников к безопасному труду.
79. Что понимают под системой управления охраной труда на предприятиях?
80. Назовите основные нормативные документы, обеспечивающие безопасность деятельности.
81. Какова продолжительность ежедневной работы?
82. Какова профессиональная подготовка работников к безопасному труду?

83. Опишите систему управления охраной труда.
84. Назовите фонды охраны труда.
85. Чем обусловливается эффективность мероприятий по охране труда?
86. Опишите медицинское обслуживание работников.
87. Какие существуют льготы и компенсации за вредные и опасные условия труда?
88. Поясните суть обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.
89. Назовите обязательные принципы обязательного страхования от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний.
90. Кто имеет право на получение страховых выплат в случае смерти застрахованного?
91. Как осуществляются страховые выплаты по социальному страхованию?
92. Как начисляется пособие по временной нетрудоспособности?
93. Каков порядок привлечения к дисциплинарной ответственности?
94. Кто может привлекать к дисциплинарной ответственности.
95. Кто может привлекать к административной ответственности?
96. В каких случаях привлекают к уголовной ответственности?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среде обитания человека постоянно присутствуют естественные, техногенные и антропогенные опасности.

Полностью устранить негативное влияние естественных опасностей человечеству до настоящего времени не удается. Реальные успехи в защите человека от стихийных явлений сводятся к определению наиболее вероятных зон их действия и ликвидации возникающих последствий.

Мир техногенных опасностей вполне познаваем, и у человека есть достаточно способов и средств для защиты.

Антропогенные опасности во многом обусловлены недостаточным вниманием человека к проблеме безопасности, склонностью к риску и пренебрежению опасностью. Часто это связано с ограниченными знаниями человека о мире опасностей и негативных последствиях их проявления. Воздействие антропогенных опасностей может быть сведено к минимуму за счет обучения населения и работающих основам безопасности жизнедеятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Безопасность жизнедеятельности [Текст]: учебное пособие / В.В. Токмаков, Ю.Ф. Килин, А.М. Кузнецов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский государственный горный университет. - 4-е изд., испр. и доп. - Екатеринбург: УГГУ, 2018. - 272 с.

Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / В.А. Подюков, В.В. Токмаков, В.М. Куликов ; под ред. В.В. Токмакова ; Уральский государственный горный уни-верситет. - 3-е изд., испр. и доп. - Екатеринбург : УГГУ, 2007. - 314 с.

Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник. 5-е изд., исправл. и доп. – М.: Изд-во «Юрай», 2015. – 702с.

Безопасность жизнедеятельности: энциклопедический словарь / под ред. проф. Русака О. Н. – СПб.: Инф-изд. агент «Лик», 2003.

Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / К. З. Ушаков, Н. О. Каледина, Б. Ф. Кирин, М. А. Сребный / под ред. К. З. Ушакова. – М.: Изд-во МГГУ, 2000. – 430 с.

Воронов Е. Т., Резник Ю. Н., Бондарь И. А. Безопасность жизнедеятельности. Теоретические основы БЖД. Охрана труда: учебное пособие. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2010. – 390 с.

Занько Н. К., Малаян К. Р., Русак О. Н. Безопасность жизнедеятельности: учебник. – М.: Лань, 2012. – 672 с.

Субботин А. И. Управление безопасностью труда: учебное пособие. – М.: Изд-во МГГУ, 2014. – 266 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Б1.О.05.01 ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Сидоров С.Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 28.08.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Геологии и геофизики
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Бондарев В.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

Содержание

Цели и задачи дисциплины 3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы 3
Требования к оформлению контрольной работы 3
Содержание контрольной работы… 3
Выполнение работы над ошибками 9
Критерии оценивания контрольной работы 9
Образец титульного листа 10

1. Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Физическая культура и спорт» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

3. Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «физическая культура и спорт» представлен 1 вариант контрольной работы.

Содержание контрольной работы

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
1	Физическая культура представляет собой:	А) учебный предмет в школе Б) выполнение физических упражнений В) процесс совершенствования возможностей человека Г) часть общей культуры общества
2	Физическая подготовленность, приобретаемая в процессе физической подготовки к трудовой или иной деятельности, характеризуется:	А) высокой устойчивостью к стрессовым ситуациям, воздействию неблагоприятных условий внешней среды и различным заболеваниям Б) уровнем работоспособности и запасом двигательных умений и навыков В) хорошим развитием систем дыхания, кровообращением, достаточным запасом надежности, эффективности и экономичности Г) высокими результатами в учебной, трудовой и спортивной деятельности
3	Под физическим развитием понимается:	А) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни

		Б) размеры мускулатуры, формы тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность В) процесс совершенствования физических качеств при выполнении физических упражнений Г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом
4	Физическая культура ориентирована на совершенствование	А) физических и психических качеств людей Б) техники двигательных действий В) работоспособности человека Г) природных физических свойств человека
5	Отличительным признаком физической культуры является:	А) развитие физических качеств и обучение двигательным действиям Б) физическое совершенство В) выполнение физических упражнений Г) занятия в форме уроков
6	В иерархии принципов в системе физического воспитания принцип всестороннего развития личности следует отнести к:	А) общим социальным принципам воспитательной стратегии общества Б) общим принципам образования и воспитания В) принципам, регламентирующим процесс физического воспитания Г) принципам обучения
7	Физическими упражнениями называются:	А) двигательные действия, с помощью которых развивают физические качества и укрепляют здоровье Б) двигательные действия, дозируемые по величине нагрузки и продолжительности выполнения В) движения, выполняемые на уроках физической культуры и во время утренней гимнастики Г) формы двигательных действий, способствующие решению задач физического воспитания
8	Нагрузка физических упражнений характеризуется:	А) подготовленностью занимающихся в соответствии с их возрастом, состоянием здоровья, самочувствием во время занятия Б) величиной их воздействия на организм В) временем и количеством повторений двигательных действий Г) напряжением отдельных мышечных групп
9	Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:	А) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий Б) степенью преодолеваемых при их выполнении трудностей В) утомлением, возникающим при их выполнении Г) частотой сердечных сокращений
10	Если ЧСС после выполнения упражнения восстанавливается за 60 сек до уровня, который был в начале урока, то это свидетельствует о том, что нагрузка	А) мала и ее следует увеличить Б) переносится организмом относительно легко В) достаточно большая и ее можно повторить Г) чрезмерная и ее нужно уменьшить
11	Интенсивность выполнения упражнений можно определить по ЧСС. Укажите, какую частоту пульса вызывает большая интенсивность упражнений	А) 120-130 уд/мин Б) 130-140 уд/мин В) 140-150 уд/мин Г) свыше 150 уд/мин
12	Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют	А) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости

	повышению работоспособности, потому что:	Б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации В) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения. Г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнить большой объем физической работы за отведенный отрезок времени.
13	Что понимают под закаливанием:	А) купание в холодной воде и хождение босиком Б) приспособление организма к воздействию внешней среды В) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми Г) укрепление здоровья
14	Во время индивидуальных занятий закаливающими процедурами следует соблюдать ряд правил. Укажите, какой из перечисленных ниже рекомендаций придерживаться не стоит:	А) чем ниже температура воздуха, тем интенсивней надо выполнять упражнение, т.к. нельзя допускать переохлаждения Б) чем выше температура воздуха, тем короче должны быть занятия, т.к. нельзя допускать перегревания организма В) не рекомендуется тренироваться при активном солнечном излучении Г) после занятия надо принять холодный душ
15	Правильное дыхание характеризуется:	А) более продолжительным выдохом Б) более продолжительным вдохом В) вдохом через нос и выдохом через рот Г) ровной продолжительностью вдоха и выдоха
16	При выполнении упражнений вдох не следует делать во время:	А) вращений и поворотов тела Б) наклонах туловища назад В) возвращение в исходное положение после наклона Г) дыхание во время упражнений должно быть свободным, рекомендации относительно времени вдоха и выдоха не нужны
17	Что называется осанкой?	А) качество позвоночника, обеспечивающее хорошее самочувствие и настроение Б) пружинные характеристики позвоночника и стоп В) привычная поза человека в вертикальном положении Г) силуэт человека
18	Правильной осанкой можно считать, если вы, стоя у стены, касаетесь ее:	А) затылком, ягодицами, пятками Б) лопатками, ягодицами, пятками В) затылком, спиной, пятками Г) затылком, лопатками, ягодицами, пятками
19	Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому, что:	А) он обеспечивает ритмичность работы организма Б) он позволяет правильно планировать дела в течение дня В) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня Г) он позволяет избегать неоправданных физических напряжений
20	Замена одних видов деятельности другими, регулируема режимом дня, позволяет поддержать работоспособность в течение дня, потому что:	А) это положительно сказывается на физическом и психическом состоянии человека Б) снимает утомление нервных клеток организма В) ритмическое чередование работы с отдыхом предупреждает возникновение перенапряжения

		Г) притупляется чувство общей усталости и повышает тонус организма
21	Систематические и грамотно организованные занятия физическими упражнениями укрепляют здоровье, так как	А) хорошая циркуляция крови во время упражнений обеспечивает поступление питательных веществ к органам и системам организма Б) повышается возможность дыхательной системы, благодаря чему в организм поступает большее количество кислорода, необходимого для образования энергии В) занятия способствуют повышению резервных возможностей организма Г) при достаточном энергообеспечении организм легче противостоит простудным и инфекционным заболеваниям
22	Почему на уроках физической культуры выделяют подготовительную, основную и заключительную части?	А) так учителю удобнее распределять различные по характеру упражнения Б) это обусловлено необходимость управлять динамикой работоспособности занимающихся. В) выделение частей в уроке требует Министерство образовании России Г) потому, что перед уроком, как правило, ставятся задачи, и каждая часть урока предназначена для решения одной из них
23	Укажите, в какой последовательности должны выполняться в комплексе утренней гимнастикой перечисленные упражнения: 1. Дыхательные. 2. На укрепление мышц и повышение гибкости. 3. Потягивания. 4 бег с переходом на ходьбу. 5. Ходьба с постепенным повышение частоты шагов. 6. Прыжки. 7.Поочередное напряжение и расслабление мышц. 8. Бег в спокойном темпе.	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Б) 7, 5, 8, 6, 2, 3, 2, 1, 4 В) 3, 7, 5, 8, 1, 2, 6, 4 Г) 3, 1, 2, 4, 7, 6, 8, 4
24	Под силой как физическим качеством понимается:	А) способность поднимать тяжелые предметы Б) свойство человека противодействовать внешним силам за счет мышечных напряжений В) свойство человека воздействовать на внешние силы за счет внешних сопротивлений Г) комплекс свойств организма, позволяющих преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему.
25	Выберите правильное распределение перечисленных ниже упражнений в занятии по общей физической подготовке. 1. Ходьба или спокойный бег в чередовании с дыхательными упражнениями. 2. Упражнения, постепенно включающие в работу все большее количество мышечных групп. 3. Упражнения на развитие выносливости. 4. Упражнения на развитие быстроты и гибкости. 5. упражнения на развитие силы. 6. Дыхательные упражнения.	А) 1, 2, 5, 4, 3, 6 Б) 6, 2, 3, 1, 4, 5 В) 2, 6, 4, 5, 3, 1 Г) 2,1, 3, 4, 5, 6
26	Основная часть урока по общей физической подготовке отводится развитию физических качеств. Укажите, какая последовательность воздействий на физические качества наиболее эффективна. 1. Выносливость. 2. Гибкость. 3. быстрота. 4. Сила.	А) 1, 2, 3, 4 Б) 2,3,1,4 В) 3, 2, 4, 1 Г) 4,2 ,3, 1

27	Какие упражнения неэффективны при формировании телосложения	А) упражнения, способствующие увеличению мышечной массы Б) упражнения, способствующие снижению массы тела В) упражнения, объединенные в форме круговой тренировки Г) упражнения, способствующие повышению быстроты движений
28	И для увеличения мышечной массы, и для снижения веса тела можно применять упражнения с отягощением. Но при составлении комплексов упражнений для увеличения мышечной массы рекомендуется:	А) полностью проработать одну группу мышц и только затем переходит к упражнениям, нагружающим другую группу мышц Б) чередовать серии упражнений, включающие в работу разные мышечные группы В) использовать упражнения с относительно небольшим отягощением и большим количеством повторений Г) планировать большое количество подходов и ограничивать количество повторений в одном подходе
29	Под быстротой как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, позволяющих передвигаться с большой скоростью Б) комплекс свойств, позволяющий выполнять работу в минимальный отрезок времени В) способность быстро набирать скорость Г) комплекс свойств, позволяющий быстро реагировать на сигналы и выполнять движения с большой частотой
30	Для развития быстроты используют:	А) подвижные и спортивные игры Б) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции В) упражнения на быстроту реакции и частоту движений Г) двигательные действия, выполняемые с максимальной скоростью
31	Лучшие условия для развития быстроты реакции создаются во время:	А) подвижных и спортивных игр Б) челночного бега В) прыжков в высоту Г) метаний
32	Под гибкостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс морфофункциональных свойств опорно-двигательного аппарата, определяющий глубину наклона Б) способность выполнять упражнения с большой амплитудой за счет мышечных сокращений. В) комплекс свойств двигательного аппарата, определяющих подвижность его звеньев Г) эластичность мышц и связок
33	Как дозируются упражнения на развитие гибкости, т.е. сколько движений следует делать в одной серии:	А) Упражнение выполняется до тех пор, пока не начнет уменьшаться амплитуда движений Б) выполняются 12-16 циклов движения В) упражнения выполняются до появления пота Г) упражнения выполняются до появления болевых ощущений
34	Для повышения скорости бега в самостоятельном занятии после разминки рекомендуется выполнять перечисленные ниже упражнения. Укажите их целесообразную	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Б) 7, 5, 4, 3, 2, 6, 1 В) 2, 1, 3, 7, 4, 5, 6 Г) 3, 6, 2, 7, 5, 4, 1

	последовательность: 1. Дыхательные упражнения. 2. Легкий продолжительный бег. 3. Прыжковые упражнения с отягощением и без них. 4. дыхательные упражнения в интервалах отдыха. 5. Повторный бег на короткие дистанции. 6.Ходьба. 7. Упражнения на частоту движений.	
35	При развитии гибкости следует стремиться	А) гармоничному увеличению подвижности в основных суставах Б) достижению максимальной амплитуды движений в основных суставах В) оптимальной амплитуде движений в плечевом, тазобедренном, коленом суставах Г) восстановлению нормальной амплитуды движений суставов
36	Под выносливостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, обуславливающий возможность выполнять разнообразные физические нагрузки Б) комплекс свойств, определяющих способность противостоять утомлению В) способность длительно совершать физическую работу, практически не утомляясь Г) способность сохранять заданные параметры работы
37	Выносливость человека не зависит от:	А) функциональных возможностей систем энергообеспечения Б) быстроты двигательной реакции В) настойчивости, выдержки, мужественности, умения терпеть Г) силы мышц
38	При развитии выносливости не применяются упражнения, характерными признаками которых являются:	А) максимальная активность систем энергообеспечения Б) умеренная интенсивность В) максимальная интенсивность Г) активная работа большинства звеньев опорно-двигательного аппарата
39	Техникой физических упражнений принято называть	А) способ целесообразного решения двигательной задачи Б) способ организации движений при выполнении упражнений В) состав и последовательность движений при выполнении упражнений Г) рациональную организацию двигательных действий
40	При анализе техники принято выделять основу, ведущее звено и детали техники. Что понимают под основой (ведущим звеном и деталями техники).	А) набор элементов, характеризующий индивидуальные особенности выполнения целостного двигательного действия Б) состав и последовательность элементов, входящих в двигательное действие В) совокупность элементов, необходимых для решения двигательной задачи Г) наиболее важная часть определенного способа решения двигательной задачи
41	В процессе обучения двигательным действиям используют методы целостного или расчлененного упражнения. Выбор метода зависит от	А) возможности расчленения двигательного действия на относительно самостоятельные элементы Б) сложности основы техники В) количества элементов, составляющих двигательное действие

		Г) предпочтения учителя
42	Процесс обучения двигательному действию рекомендуется начинать с освоения	А) основы техники Б) ведущего звена техники В) подводящих упражнений Г) исходного положения
43	Физкультминутку, как одну из форм занятий физическими упражнениями следует отнести к:	А) урочным формам занятий физическими упражнениями Б) «малым» неурочным формам В) «крупным» неурочным формам Г) соревновательным формам
44	Какой раздел комплексной программы по физическому воспитанию для общеобразовательных школ не является типовым?	А) уроки физической культуры Б) внеклассная работа В) физкультурно-массовые и спортивные мероприятия Г) содержание и организация педагогической практики
45	Измерение ЧСС сразу после пробегания отрезка дистанции следует отнести к одному из видов контроля:	А) оперативному Б) текущему В) предварительному Г) итоговому

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «зачтено», «не зачтено». Работа с оценкой «не зачтено» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 90 баллов.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

46-90 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-44 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра физической культуры

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине
ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа _____

Преподаватель: Петров Петр Петрович

Екатеринбург
2024

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.О.05.01 ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Сидоров С.Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 28.08.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Геологии и геофизики
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Бондарев В.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

Содержание

Цели и задачи дисциплины 3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы 3
Требования к оформлению теста 3
Содержание теста 3
Содержание опроса 9
Выполнение работы над ошибками 11

Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Физическая культура и спорт» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

Требования к оформлению теста

Задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в тесте.

Выполненный тест необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если тест выполнен без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «физическая культура и спорт» представлен, тест, вопросы для проведения опроса.

Содержание теста

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
1	Физическая культура представляет собой:	А) учебный предмет в школе Б) выполнение физических упражнений В) процесс совершенствования возможностей человека Г) часть общей культуры общества
2	Физическая подготовленность, приобретаемая в процессе физической подготовки к трудовой или иной деятельности, характеризуется:	А) высокой устойчивостью к стрессовым ситуациям, воздействию неблагоприятных условий внешней среды и различным заболеваниям Б) уровнем работоспособности и запасом двигательных умений и навыков В) хорошим развитием систем дыхания, кровообращением, достаточным запасом надежности, эффективности и экономичности Г) высокими результатами в учебной, трудовой и спортивной деятельности
3	Под физическим развитием понимается:	А) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни Б) размеры мускулатуры, формы тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность

		В) процесс совершенствования физических качеств при выполнении физических упражнений Г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом
4	Физическая культура ориентирована на совершенствование	А) физических и психических качеств людей Б) техники двигательных действий В) работоспособности человека Г) природных физических свойств человека
5	Отличительным признаком физической культуры является:	А) развитие физических качеств и обучение двигательным действиям Б) физическое совершенство В) выполнение физических упражнений Г) занятия в форме уроков
6	В иерархии принципов в системе физического воспитания принцип всестороннего развития личности следует отнести к:	А) общим социальным принципам воспитательной стратегии общества Б) общим принципам образования и воспитания В) принципам, регламентирующим процесс физического воспитания Г) принципам обучения
7	Физическими упражнениями называются:	А) двигательные действия, с помощью которых развивают физические качества и укрепляют здоровье Б) двигательные действия, дозируемые по величине нагрузки и продолжительности выполнения В) движения, выполняемые на уроках физической культуры и во время утренней гимнастики Г) формы двигательных действий, способствующие решению задач физического воспитания
8	Нагрузка физических упражнений характеризуется:	А) подготовленностью занимающихся в соответствии с их возрастом, состоянием здоровья, самочувствием во время занятия Б) величиной их воздействия на организм В) временем и количеством повторений двигательных действий Г) напряжением отдельных мышечных групп
9	Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:	А) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий Б) степенью преодолеваемых при их выполнении трудностей В) утомлением, возникающим при их выполнении Г) частотой сердечных сокращений
10	Если ЧСС после выполнения упражнения восстанавливается за 60 сек до уровня, который был в начале урока, то это свидетельствует о том, что нагрузка	А) мала и ее следует увеличить Б) переносится организмом относительно легко В) достаточно большая и ее можно повторить Г) чрезмерная и ее нужно уменьшить
11	Интенсивность выполнения упражнений можно определить по ЧСС. Укажите, какую частоту пульса вызывает большая интенсивность упражнений	А) 120-130 уд/мин Б) 130-140 уд/мин В) 140-150 уд/мин Г) свыше 150 уд/мин
12	Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют повышению работоспособности, потому что:	А) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости Б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации В) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения.

		Г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнить большой объем физической работы за отведенный отрезок времени.
13	Что понимают под закаливанием:	А) купание в холодной воде и хождение босиком Б) приспособление организма к воздействию внешней среды В) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми Г) укрепление здоровья
14	Во время индивидуальных занятий закаливающими процедурами следует соблюдать ряд правил. Укажите, какой из перечисленных ниже рекомендаций придерживаться не стоит:	А) чем ниже температура воздуха, тем интенсивней надо выполнять упражнение, т.к. нельзя допускать переохлаждения Б) чем выше температура воздуха, тем короче должны быть занятия, т.к. нельзя допускать перегревания организма В) не рекомендуется тренироваться при активном солнечном излучении Г) после занятия надо принять холодный душ
15	Правильное дыхание характеризуется:	А) более продолжительным выдохом Б) более продолжительным вдохом В) вдохом через нос и выдохом через рот Г) ровной продолжительностью вдоха и выдоха
16	При выполнении упражнений вдох не следует делать во время:	А) вращений и поворотов тела Б) наклонах туловища назад В) возвращение в исходное положение после наклона Г) дыхание во время упражнений должно быть свободным, рекомендации относительно времени вдоха и выдоха не нужны
17	Что называется осанкой?	А) качество позвоночника, обеспечивающее хорошее самочувствие и настроение Б) пружинные характеристики позвоночника и стоп В) привычная поза человека в вертикальном положении Г) силуэт человека
18	Правильной осанкой можно считать, если вы, стоя у стены, касаетесь ее:	А) затылком, ягодицами, пятками Б) лопатками, ягодицами, пятками В) затылком, спиной, пятками Г) затылком, лопатками, ягодицами, пятками
19	Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому, что:	А) он обеспечивает ритмичность работы организма Б) он позволяет правильно планировать дела в течение дня В) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня Г) он позволяет избегать неоправданных физических напряжений
20	Замена одних видов деятельности другими, регулируема режимом дня, позволяет поддержать работоспособность в течение дня, потому что:	А) это положительно сказывается на физическом и психическом состоянии человека Б) снимает утомление нервных клеток организма В) ритмическое чередование работы с отдыхом предупреждает возникновение перенапряжения Г) притупляется чувство общей усталости и повышает тонус организма

21	Систематические и грамотно организованные занятия физическими упражнениями укрепляют здоровье, так как	А) хорошая циркуляция крови во время упражнений обеспечивает поступление питательных веществ к органам и системам организма Б) повышается возможность дыхательной системы, благодаря чему в организм поступает большее количество кислорода, необходимого для образования энергии В) занятия способствуют повышению резервных возможностей организма Г) при достаточном энергообеспечении организм легче противостоит простудным и инфекционным заболеваниям
22	Почему на уроках физической культуры выделяют подготовительную, основную и заключительную части?	А) так учителю удобнее распределять различные по характеру упражнения Б) это обусловлено необходимость управлять динамикой работоспособности занимающихся. В) выделение частей в уроке требует Министерство образовании России Г) потому, что перед уроком, как правило, ставятся задачи, и каждая часть урока предназначена для решения одной из них
23	Укажите, в какой последовательности должны выполняться в комплексе утренней гимнастикой перечисленные упражнения: 1. Дыхательные. 2. На укрепление мышц и повышение гибкости. 3. Потягивания. 4 бег с переходом на ходьбу. 5. Ходьба с постепенным повышение частоты шагов. 6. Прыжки. 7.Поочередное напряжение и расслабление мышц. 8. Бег в спокойном темпе.	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Б) 7, 5, 8, 6, 2, 3, 2, 1, 4 В) 3, 7, 5, 8, 1, 2, 6, 4 Г) 3, 1, 2, 4, 7, 6, 8, 4
24	Под силой как физическим качеством понимается:	А) способность поднимать тяжелые предметы Б) свойство человека противодействовать внешним силам за счет мышечных напряжений В) свойство человека воздействовать на внешние силы за счет внешних сопротивлений Г) комплекс свойств организма, позволяющих преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему.
25	Выберите правильное распределение перечисленных ниже упражнений в занятии по общей физической подготовке. 1. Ходьба или спокойный бег в чередовании с дыхательными упражнениями. 2. Упражнения, постепенно включающие в работу все большее количество мышечных групп. 3. Упражнения на развитие выносливости. 4. Упражнения на развитие быстроты и гибкости. 5. упражнения на развитие силы. 6. Дыхательные упражнения.	А) 1, 2, 5, 4, 3, 6 Б) 6, 2, 3, 1, 4, 5 В) 2, 6, 4, 5, 3, 1 Г) 2,1, 3, 4, 5, 6
26	Основная часть урока по общей физической подготовке отводится развитию физических качеств. Укажите, какая последовательность воздействий на физические качества наиболее эффективна. 1. Выносливость. 2. Гибкость. 3. быстрота. 4. Сила.	А) 1, 2, 3, 4 Б) 2,3,1,4 В) 3, 2, 4, 1 Г) 4,2 ,3, 1
27	Какие упражнения неэффективны при формировании телосложения	А) упражнения, способствующие увеличению мышечной массы

		Б) упражнения, способствующие снижению массы тела В) упражнения, объединенные в форме круговой тренировки Г) упражнения, способствующие повышению быстроты движений
28	И для увеличения мышечной массы, и для снижения веса тела можно применять упражнения с отягощением. Но при составлении комплексов упражнений для увеличения мышечной массы рекомендуется:	А) полностью проработать одну группу мышц и только затем переходит к упражнениям, нагружающим другую группу мышц Б) чередовать серии упражнений, включающие в работу разные мышечные группы В) использовать упражнения с относительно небольшим отягощением и большим количеством повторений Г) планировать большое количество подходов и ограничивать количество повторений в одном подходе
29	Под быстротой как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, позволяющих передвигаться с большой скоростью Б) комплекс свойств, позволяющий выполнять работу в минимальный отрезок времени В) способность быстро набирать скорость Г) комплекс свойств, позволяющий быстро реагировать на сигналы и выполнять движения с большой частотой
30	Для развития быстроты используют:	А) подвижные и спортивные игры Б) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции В) упражнения на быстроту реакции и частоту движений Г) двигательные действия, выполняемые с максимальной скоростью
31	Лучшие условия для развития быстроты реакции создаются во время:	А) подвижных и спортивных игр Б) челночного бега В) прыжков в высоту Г) метаний
32	Под гибкостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс морфофункциональных свойств опорно-двигательного аппарата, определяющий глубину наклона Б) способность выполнять упражнения с большой амплитудой за счет мышечных сокращений. В) комплекс свойств двигательного аппарата, определяющих подвижность его звеньев Г) эластичность мышц и связок
33	Как дозируются упражнения на развитие гибкости, т.е. сколько движений следует делать в одной серии:	А) Упражнение выполняется до тех пор, пока не начнет уменьшаться амплитуда движений Б) выполняются 12-16 циклов движения В) упражнения выполняются до появления пота Г) упражнения выполняются до появления болевых ощущений
34	Для повышения скорости бега в самостоятельном занятии после разминки рекомендуется выполнять перечисленные ниже упражнения. Укажите их целесообразную последовательность: 1. Дыхательные упражнения. 2. Легкий продолжительный бег. 3. Прыжковые	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Б) 7, 5, 4, 3, 2, 6, 1 В) 2, 1, 3, 7, 4, 5, 6 Г) 3, 6, 2, 7, 5, 4, 1

	упражнения с отягощением и без них. 4. дыхательные упражнения в интервалах отдыха. 5. Повторный бег на короткие дистанции. 6.Ходьба. 7. Упражнения на частоту движений.	
35	При развитии гибкости следует стремиться	А) гармоничному увеличению подвижности в основных суставах Б) достижению максимальной амплитуды движений в основных суставах В) оптимальной амплитуде движений в плечевом, тазобедренном, коленом суставах Г) восстановлению нормальной амплитуды движений суставов
36	Под выносливостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, обуславливающий возможность выполнять разнообразные физические нагрузки Б) комплекс свойств, определяющих способность противостоять утомлению В) способность длительно совершать физическую работу, практически не утомляясь Г) способность сохранять заданные параметры работы
37	Выносливость человека не зависит от:	А) функциональных возможностей систем энергообеспечения Б) быстроты двигательной реакции В) настойчивости, выдержки, мужественности, умения терпеть Г) силы мышц
38	При развитии выносливости не применяются упражнения, характерными признаками которых являются:	А) максимальная активность систем энергообеспечения Б) умеренная интенсивность В) максимальная интенсивность Г) активная работа большинства звеньев опорно-двигательного аппарата
39	Техникой физических упражнений принято называть	А) способ целесообразного решения двигательной задачи Б) способ организации движений при выполнении упражнений В) состав и последовательность движений при выполнении упражнений Г) рациональную организацию двигательных действий
40	При анализе техники принято выделять основу, ведущее звено и детали техники. Что понимают под основой (ведущим звеном и деталями техники).	А) набор элементов, характеризующий индивидуальные особенности выполнения целостного двигательного действия Б) состав и последовательность элементов, входящих в двигательное действие В) совокупность элементов, необходимых для решения двигательной задачи Г) наиболее важная часть определенного способа решения двигательной задачи
41	В процессе обучения двигательным действиям используют методы целостного или расчлененного упражнения. Выбор метода зависит от	А) возможности расчленения двигательного действия на относительно самостоятельные элементы Б) сложности основы техники В) количества элементов, составляющих двигательное действие Г) предпочтения учителя

42	Процесс обучения двигательному действию рекомендуется начинать с освоения	А) основы техники Б) ведущего звена техники В) подводящих упражнений Г) исходного положения
43	Физкультминутку, как одну из форм занятий физическими упражнениями следует отнести к:	А) урочным формам занятий физическими упражнениями Б) «малым» неурочным формам В) «крупным» неурочным формам Г) соревновательным формам
44	Какой раздел комплексной программы по физическому воспитанию для общеобразовательных школ не является типовым?	А) уроки физической культуры Б) внеклассная работа В) физкультурно-массовые и спортивные мероприятия Г) содержание и организация педагогической практики
45	Измерение ЧСС сразу после пробегания отрезка дистанции следует отнести к одному из видов контроля:	А) оперативному Б) текущему В) предварительному Г) итоговому

Критерии оценивания теста

Оценка за тест определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 90 баллов.

Результат теста

Тест оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

46-90 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-44 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПРОСА

1. Определение понятий в области физической культуры
2. Понятие «здоровье» и основные его компоненты
3. Факторы, определяющие здоровье человека.
4. Образ жизни и его составляющие.
5. Разумное чередование труда и отдыха, как компонент ЗОЖ.
6. Рациональное питание и ЗОЖ.
7. Отказ от вредных привычек и соблюдение правил личной и общественной гигиены.
8. Двигательная активность — как компонент ЗОЖ.
9. Выполнение мероприятий по закаливанию организма.
10. Физическое самовоспитание и самосовершенствование как необходимое условие реализации мероприятий ЗОЖ.
11. Врачебный контроль как обязательная процедура для занимающихся физической культурой.
12. Самоконтроль — необходимая форма контроля человека за физическим состоянием.
13. Методика самоконтроля физического развития.
14. Самостоятельное измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений.
15. Проведение функциональных проб для оценки деятельности сердечно-сосудистой системы.
16. Проведение функциональных проб для оценки деятельности дыхательной системы.
17. Самоконтроль уровня развития физических качеств: быстроты, гибкости, ловкости, силы и выносливости
18. Ведение дневника самоконтроля.
19. Цель и задачи физического воспитания в вузе.
20. Специфические функции физической культуры.
21. Социальная роль и значение спорта.
22. Этапы становления физической культуры личности студента.
23. Понятия физическая культура, физическое воспитание, физическое развитие, физическое совершенство.
24. Реабилитационная физическая культура, виды, краткая характеристика.
25. Разделы учебной программы дисциплины «Физическая культура».
26. Комплектование учебных отделений студентов для организации и проведения занятий по физическому воспитанию.

27. Преимущества спортивно-ориентированной программы дисциплины «Физическая культура» для студентов.
28. Особенности комплектования студентов с различным характером заболеваний в специальном учебном отделении.
29. Зачетные требования по учебной дисциплине «Физическая культура».
30. Формирование двигательного навыка.
31. Устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов.
32. Мотивация и направленность самостоятельных занятий.
33. Утренняя гигиеническая гимнастика.
34. Мотивация выбора видов спорта или систем физических упражнений.
35. Самостоятельные занятия оздоровительным бегом.
36. Самостоятельные занятия атлетической гимнастикой.
37. Особенности самостоятельных занятий женщин.
38. Мотивация и направленность самостоятельных занятий. Утренняя гигиеническая гимнастика.
39. Физические упражнения в течение учебного дня: физкультминутки, физкультпаузы.
40. Самостоятельные тренировочные занятия: структура, требования к организации и проведению.
41. Мотивация выбора видов спорта или систем физических упражнений.
42. Самостоятельные занятия оздоровительным бегом.
43. Самостоятельные занятия атлетической гимнастикой.
44. Особенности самостоятельных занятий женщин.
45. Роль физической культуры в профессиональной деятельности бакалавра и специалиста.
46. Производственная физическая культура, ее цели и задачи.
47. Методические основы производственной физической культуры.
48. Производственная физическая культура в рабочее время.
49. Физическая культура и спорт в свободное время.
50. Профилактика профессиональных заболеваний и травматизма средствами физической культуры.
51. Понятие ППФП, её цель, задачи. Прикладные знания, умения и навыки.
52. Прикладные психические качества.
53. Прикладные специальные качества.
54. Факторы, определяющие содержание ППФП: формы труда, условия труда.
55. Факторы, определяющие содержание ППФП: характер труда, режим труда и отдыха.
56. Дополнительные факторы, определяющие содержание ППФП.
57. Средства ППФП.
58. Организация и формы ППФП в вузе.
59. Понятия общей и специальной физической подготовки.
60. Отличия понятий спортивная подготовка и спортивная тренировка.
61. Стороны подготовки спортсмена.
62. Средства спортивной подготовки.
63. Структура отдельного тренировочного занятия.
64. Роль подготовительной части занятия в тренировочном процессе.
65. Понятие «физическая нагрузка», эффект ее воздействия на организм.
66. Внешние признаки утомления.
67. Виды и параметры физических нагрузок.
68. Интенсивность физических нагрузок.
69. Психофизиологическая характеристика умственной деятельности.
70. Работоспособность: понятие, факторы, периоды
71. Физические упражнения в течение учебного дня для поддержания работоспособности.
72. Бег как самое эффективное средство восстановления и повышения работоспособности.
73. Плавание и работоспособность.
74. Методические принципы физического воспитания, сущность и значение.
75. Принципы сознательности и активности, наглядности в процессе физического воспитания.
76. Принципы доступности и индивидуализации, систематичности и динамичности.
77. Средства физической культуры.
78. Общепедагогические методы физического воспитания.
79. Методы обучения технике двигательного действия.
80. Этапы обучения двигательного действия.
81. Методы развития физических качеств: равномерный, повторный, интервальный.
82. Метод круговой тренировки, игровой и соревновательный методы.
83. Сила как физическое качество, общая характеристика силовых упражнений.
84. Методы развития силы.
85. Выносливость — виды выносливости, особенности развития выносливости.
86. Развитие физических качеств: быстроты, гибкости, ловкости.
87. Понятие «спорт». Его принципиальное отличие от других видов занятий физическими упражнениями.
88. Массовый спорт: понятие, цель, задачи.
89. Спорт высших достижений: понятие, цель, задачи.

90. Студенческий спорт, его организационные особенности.
91. Студенческие спортивные соревнования.
92. Студенческие спортивные организации.
93. Всероссийский физкультурно-спортивный комплекс «ГТО» (Готов к труду и обороне).

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенного теста необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данного теста. Тесты, тесты являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Б1.О.05.02 ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация

Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Физической культуры	Геологии и геофизики
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Сидоров С.Г.	Бондарев В.И.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 28.08.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Содержание

Цели и задачи дисциплины 3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы 3
Требования к оформлению контрольной работы 3
Содержание контрольной работы… 3
Выполнение работы над ошибками 10
Критерии оценивания контрольной работы 10
Образец титульного листа 11

1. Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Элективные курсы по физической культуре и спорту» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

3. Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «элективные курсы по физической культуре и спорту» представлено 2 варианта контрольной работы.

Содержание контрольной работы

Вопросы для групповой дискуссии

1 .Что можно отнести к средствам физического воспитания?
2. Влияние климатогеографического фактора на здоровье и работоспособность человека
3. Чем отличается спорт от физической культуры?
4. Что мы относим к материальным ценностям физической культуры, а что – к духовным?
5. В чем состоит взаимосвязь физической и умственной деятельности человека?
6. Причины возникновения таких явлений как гипокинезия и гиподинамия
7. Для чего нужна адаптивная физическая культура?
8. При выборе вида спорта на какие аспекты и характеристики необходимо обратить основное внимание.

Контрольная работа №1

Вариант 1

ДЕ-1: Физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке обучающихся.

1. Часть общечеловеческой культуры, специфический процесс и результат человеческой деятельности, средство и способ физического совершенствования личности – это:

а) физическая культура; б) спорт; в) туризм; г) физическое развитие.

2. Физическое воспитание – это:

а) педагогический процесс, направленный на формирование физической культуры личности в результате педагогического воздействия и самовоспитания;
б) приобщение человека к физической культуре;

в) биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека;
г) процесс формирования определенных физических и психических качеств.

3. Чем спорт отличается от физической культуры:

а) наличием специального оборудования; б) присутствием зрителей; в) наличием соревновательного момента; г) большой физической нагрузкой.

4 Какой из ниже перечисленных принципов не относится к основным принципам физического воспитания:

а) сознательности и активности; б) наглядности; в) последовательности;
г) систематичности;

5 Под физическим развитием понимается:

а) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни;
б) размеры мускулатуры, форма тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность;
в) процесс совершенствования физических качеств, при выполнении физических упражнений;
г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом.

ДЕ-2: Основы здорового образа жизни обучающегося.

1. Определение понятия «Здоровье» Всемирной организации здравоохранения. Здоровье это:

а) естественное состояние организма без болезней и недомоганий;
б) состояние полного физического, умственного и социального благополучия;
в) состояние отсутствия каких-либо заболеваний;
г) все перечисленное.

2. Состояние здоровья обусловлено:

а) резервными возможностями организма; б) образом жизни;
в) уровнем здравоохранения; г) отсутствием болезней.

3. Что не относятся к внешним факторам, влияющим на человека:

а) природные факторы; б) факторы социальной среды; в) генетические факторы;
г) биологические факторы.

4. Сколько времени необходимо нормальному человеку для ночного сна:

а) 5 – 6 часов; б) 6 – 7 часов; в) 7 – 8 часов; г) 8 – 9 часов.

5. К активному отдыху относится:

а) сон; б) отдых сидя; в) занятия двигательной деятельностью; г) умственная деятельность.

ДЕ-3: Средства и методы физической культуры.

1. Физическими упражнениями называются:

а) двигательные действия, используемые для формирования техники движений;
б) двигательные действия, используемые для развития физических качеств и укрепления здоровья;
в) двигательные действия, выполняемые на занятиях по физической культуре и самостоятельно;
г) двигательные действия, направленные на реализацию задач физического воспитания.

2. Занятия физическими упражнениями отличаются от трудовых действий:

а) интенсивностью; б) задачами; в) местом проведения; г) все ответы верны.

3. Физические упражнения являются:

а) принципом физического воспитания; б) методом физического воспитания;
в) средством физического воспитания; г) функцией физического воспитания.

4. Что не относится к методам физического воспитания:

а) игровой; б) регламентированного упражнения; в) словесный и сенсорный;
г) самостоятельный.

5. Метод в физической культуре – это

а) основное положение, определяющее содержание учебного процесса по физической культуре;
б) руководящее положение, раскрывающее принципы физической культуры;
в) конкретная причина, заставляющая человека выполнять физические упражнения;
г) способ применения физических упражнений.

ДЕ-4: Общая физическая и специальная подготовка в системе физического воспитания.

1. Физическая подготовка – это:

а) педагогический процесс, направленный на формирование физической культуры личности в результате педагогического воздействия и самовоспитания;
б) приобщение человека к физической культуре, в процессе которой он овладевает системой знаний, ценностей, позволяющих ему осознанно и творчески развивать физические способности;
в) биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека;

г) процесс формирования определенных физических и психических качеств, умений и навыков человека посредством направленных занятий с применением средств физической культуры.

2. К основным физическим качествам относятся:

а) рост, вес, объем бицепсов, становая сила; б) бег, прыжки, метания, лазания;
в) сила, выносливость, быстрота, ловкость, гибкость; г) взрывная сила, прыгучесть, меткость.

3. Различают гибкость:

а) абсолютную и относительную; б) общую и специальную; в) активную и пассивную;
г) простую и сложную.

4. Какие виды спорта развивают преимущественно выносливость:

а) спортивные единоборства; б) циклические; в) спортивные игры; г) ациклические.

5. Скоростно-силовые качества преимущественно развиваются:

а) в тяжелой атлетике; б) в акробатике; в) в конькобежном спорте; г) в лыжном спорте.

Вариант 2

ДЕ-1: Физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке обучающихся.

1. На что преимущественно влияют занятия по физической культуре:

а) на интеллектуальные способности;
б) на удовлетворение социальных потребностей;
в) на воспитание лидерских качеств;
г) на полноценное физическое развитие.

2. Физическая культура – это:

а) часть общечеловеческой культуры, специфический процесс и результат человеческой деятельности, средство и способ физического совершенствования личности;
б) часть наука о природе двигательной деятельности человека
в) вид воспитательного процесса, специфика которого заключена в обучении двигательным актам и управлением развитием и совершенствованием физических качеств человека;
г) процесс физического образования и воспитания, выражающий высокую степень развития индивидуальных физических способностей.

3. Что не относиться к компонентам физической культуры:

а) физическое развитие; б) спорт высших достижений; в) оздоровительно-реабилитационная физическая культура;
г) гигиеническая физическая культура.

4. Выбрать правильное определение термина «Физическое развитие»:

а) физическое развитие – это педагогический процесс, направленный на формирование физической культуры личности в результате педагогического воздействия и самовоспитания;
б) физическое развитие – это приобщение человека к физической культуре, в процессе которой он овладевает системой знаний, ценностей, позволяющих ему осознанно и творчески развивать физические способности;
в) физическое развитие – это биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека;
г) физическое развитие – это процесс формирования определенных физических и психических качеств, умений и навыков человека посредством направленных занятий с применением средств физической культуры.

5. Теоретический материал учебного предмета «Физическая культура и спорт» в высших учебных заведениях включает в себя:

а) фундаментальные знания общетеоретического характера;
б) инструктивно-методические знания;
в) знания о правилах выполнения двигательных действий;
г) все вышеперечисленное.

ДЕ-2: Основы здорового образа жизни обучающегося.

1. Что понимается под закаливанием:

а) купание в холодной воде и хождение босиком;
б) приспособление организма к воздействиям внешней среды;
в) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми;
г) укрепление здоровья.

2. Определение понятия «Здоровье» Всемирной организации здравоохранения. Здоровье это:

а) естественное состояние организма без болезней и недомоганий;
б) состояние полного физического, умственного и социального благополучия;
в) состояние отсутствия каких-либо заболеваний;
г) все перечисленное.

3. Какое понятие не относится к двигательной активности человека:

а) гипоксия; б) гиподинамия; в) гипокинезия; г) гипердинамия.

4. Какая из перечисленных функций не относится к функции кожи:

а) защита внутренней среды организма; б) теплорегуляция; в) выделение из организма продуктов обмена веществ; г) звукоизоляция.

5. Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому что:

а) обеспечивает ритмичность работы организма;
б) позволяет правильно планировать дела в течение дня;
в) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня;
г) позволяет избегать неоправданных физических напряжений.

ДЕ-3: Средства и методы физической культуры.

1. Физическое упражнение - это:

а) двигательные действия, используемые для формирования техники движений;
б) двигательные действия, используемые для развития физических качеств и укрепления здоровья;
в) двигательные действия, выполняемые на занятиях по физической культуре и самостоятельно;
г) двигательные действия, направленные на реализацию задач физического воспитания.

2. Положительное влияние физических упражнений на развитие функциональных возможностей организма будет зависеть:

а) от технической и физической подготовленности занимающихся;
б) от особенностей реакций систем организма в ответ на выполняемые упражнения;
г) от состояния здоровья и самочувствия занимающихся во время выполнения упражнений;
г) от величины физической нагрузки и степени напряжения в работе определенных мышечных групп.

3. Что не относиться к средствам физического воспитания:

а) физические упражнения;
б) подвижные игры;
в) соревнования;
в) спортивные игры.

4. Что относится к методическим принципам физического воспитания:

а) сознательность и активность;
б) наглядность и доступность;
в) систематичность и динамичность;
г) все вышеперечисленное.

5. Регулярные занятия физическими упражнениями способствует повышению работоспособности, потому что:

а) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости;
б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации;
в) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения;
г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнять больший объем физической работы за отведенный отрезок времени.

ДЕ-4: Общая физическая и специальная подготовка в системе физического воспитания.

1. Степень владения техникой действий, при которой повышена концентрация внимания на составные операции (части), наблюдается нестабильное решение двигательной задачи – это

а) двигательное умение; в) массовый спорт; в) двигательный навык;
г) спорт высших достижений.

2. Для воспитания быстроты используются:

а) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции;
б) подвижные и спортивные игры;
в) упражнения на быстроту реакции и частоту движений;
г) двигательные упражнения, выполняемые с максимальной скоростью.

3. Различают два вида выносливости:

а) абсолютная и относительная; б) общая и специальная; в) активная и пассивная;
г) динамическую и статическую.

4. Процесс воспитания физических качеств, обеспечивающих преимущественное развитие тех двигательных способностей, которые необходимы для конкретной спортивной дисциплины - это

а) общая физическая подготовка; б) двигательное умение; в) специальная физическая подготовка; г) двигательный навык.

5. Различают силу:

а) абсолютную и относительную; б) общую и специальную; в) активную и пассивную;
г) статическую и динамическую.

Контрольная работа №2

Вариант 1

ДЕ-1: Основы методики самостоятельных занятий физическими упражнениями.

1. В комплекс утренней гимнастики следует включать:

а) упражнения с отягощением; б) упражнения статического характера;
в) упражнения на гибкость и дыхательные упражнения; г) упражнения на выносливость.

2. К объективным показателям самоконтроля относится:

а) частота сердечных сокращений; б) самочувствие; в) аппетит; г) сон.

3. При нагрузке интенсивности выше средней частота пульса достигает:

а) 100 – 130 уд/мин; б) 130 – 150 уд/мин; в) 150 – 170 уд/мин; г) более 170 уд/мин.

4. Самостоятельные тренировочные занятия рекомендуется выполнять:

а) после приема пищи; б) после сна натощак; в) во второй половине дня, через 2-3 часа после обеда; г) перед сном.

ДЕ-2: Спорт. Индивидуальный выбор видов спорта или систем физических упражнений.

1. Регулярные занятия доступным видом спорта, участия в соревнованиях с целью укрепления здоровья, коррекции физического развития и телосложения, активного отдыха, достижение физического совершенствования – это:

а) спорт высших достижений;
б) лечебная физическая культура;
в) профессионально-прикладная физическая культура;
в) массовый спорт.

2. Какой вид спорта наиболее эффективно развивает гибкость и ловкость:

а) фехтование;
б) баскетбол;
в) фигурное катание;
г) художественная гимнастика.

3. Количество игроков одной команды в волейболе на площадке:

а) 7; б) 6; в) 5; г) 8.

4. Как осуществляется контроль за влиянием физических нагрузок на организм во время занятий физическими упражнениями:

а) по частоте дыхания;
б) по частоте сердечно-сосудистых сокращений;
в) по объему выполненной работы.

ДЕ-3: Особенности занятий избранным видом спорта или системой физических упражнений.

1. Степень владения техникой действия, при которой управление движением происходит автоматически, и действия отличаются надежностью – это:

а) двигательное умение;
б) массовый спорт;
в) двигательный навык;
г) спорт высших достижений.

2. Как дозируются упражнения на гибкость:

а) до появления пота;
б) до снижения амплитуды движений;
в) по 12-16 циклов движений;
г) до появления болевых ощущений.

3. При воспитании силы применяются специальные упражнения с отягощениями. Их отличительная особенность заключается в том, что:

а) в качестве отягощения используется собственный вес человека;
б) они выполняются до утомления;
в) они вызывают значительное напряжение мышц;
г) они выполняются медленно.

4. В каком из перечисленных видов спорта преимущественно развивается выносливость:

а) в фигурном катании;
б) в пауэрлифтинге;
в) в художественной гимнастике;
г) в лыжном спорте.

ДЕ-4: Самоконтроль занимающихся физическими упражнениями и спортом.

1. Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют повышению работоспособности, потому что:

а) обеспечивают усиленную работу мышц;

б) обеспечивают выполнение большого объема мышечной работы с разной интенсивностью;
в) обеспечивают усиленную работу систем дыхания и кровообращения;
г) обеспечивают усиленную работу системы энергообеспечения.

2. Меры профилактики переутомления:

а) посидеть 3-4 минуты;
б) сменить вид деятельности;
в) прекратить выполнение действий, пройти обследование у врачей, выполнить их рекомендации;
г) достаточно 2 дней полноценного отдыха для восстановления.

3. При нагрузке средней интенсивности частота пульса достигает:

а) 100 – 130 уд/мин;
б) 130 – 150 уд/мин;
в) 150 – 170 уд/мин;
г) более 170 уд/мин

4. Что называется «разминкой», проводимой в подготовительной части занятия:

а) чередование легких и трудных общеразвивающих упражнений;
б) чередование беговых и общеразвивающих упражнений;
в) подготовка организма к предстоящей работе;
г) чередование беговых упражнений и ходьбы.

ДЕ-5: Профессионально-прикладная физическая подготовка (ППФП) обучающихся.

Специально направленное и избирательное использование средств физической культуры и спорта для подготовки человека к определенной профессиональной деятельности – это:

а) спорт высших достижений;
б) лечебная физическая культура;
в) производственная физическая культура;
г) массовый спорт.

1. ППФП строится на основе и в единстве с:

а) физической подготовкой; б) технической подготовкой; в) тактической подготовкой;
г) психологической подготовкой.

3. Какая из нижеперечисленных задач не является задачей ППФП:

а) развитие физических способностей, специфических для данной профессии;
б) формирование профессионально-прикладных сенсорных умений и навыков;
в) сообщение специальных знаний для успешного освоения практических навыков трудовой деятельности;
г) повышение функциональной устойчивости организма к неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды.

4. Что не является формой занятий по ППФП:

а) спортивно-прикладные соревнования; б) учебные занятия; в) занятия в период учебной практики; г) рекреационные занятия.

Вариант 2

ДЕ-1: Основы методики самостоятельных занятий физическими упражнениями.

1. Определение повседневных изменений в подготовке занимающихся – это:

а) педагогический поэтапный контроль;
б) педагогический текущий контроль;
в) педагогический оперативный контроль;
г) педагогический двигательный контроль.

1. В комплекс утренней гимнастики не рекомендуется включать:

а) упражнения на гибкость;
б) дыхательные упражнения;
в) упражнения с отягощением;
г) упражнения для всех групп мышц.

2. Самостоятельные тренировочные занятия не рекомендуется выполнять:

а) за час до приема пищи;
б) после сна натощак;
в) во второй половине дня, через 2-3 часа после обеда;
г) за 3 часа до отхода ко сну.

4. Дневник самоконтроля нужен для:

а) коррекции содержания и методики занятий физическими упражнениями;
б) контроля родителей;
в) лично спортсмену;
г) лично тренеру.

ДЕ-2: Спорт. Индивидуальный выбор видов спорта или систем физических упражнений.

1. К циклическим видам спорта не относится:

а) волейбол;
б) стайерский бег;
в) плавание;
г) спортивная ходьба.

2. Какой из перечисленных видов спорта преимущественно развивает координацию движений:

а) спортивная гимнастика;
б) лыжный спорт;
в) триатлон;
г) атлетическая гимнастика.

3. Систематическая плановая многолетняя подготовка и участие в соревнованиях в избранном виде спорта с целью достижения максимальных спортивных результатов – это:

а) спорт высших достижений;
б) лечебная физическая культура;
в) профессионально-прикладная физическая культура;
в) массовый спорт.

4. Какие упражнения включаются в разминку почти во всех видах спорта:

а) упражнения на развитие выносливости;
б) упражнения на развитие гибкости и координации движений;
в) бег и общеразвивающие упражнения.

ДЕ-3: Особенности занятий избранным видом спорта или системой физических упражнений.

1. Какая из представленных способностей не относится к группе координационных:

а) способность сохранять равновесие;
б) способность точно дозировать величину мышечных усилий;
в) способность быстро реагировать на стартовый сигнал;
г) способность точно воспроизводить движения в пространстве.

2. Почему на занятиях по «физической культуре» выделяют подготовительную, основную и заключительную части:

а) так удобнее распределять различные по характеру упражнения;
б) выделение частей занятий связано с необходимостью управлять динамикой работоспособности занимающихся;
в) выделение частей в занятии требует Министерство науки и образования;
г) перед занятием, как правило, ставятся 3 задачи, и каждая часть предназначена для них.

3. Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:

а) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий;
б) степень преодолеваемых при их выполнении трудностей;
в) утомлением, возникающим в результате их выполнения;
г) частотой сердечных сокращений.

4. Назовите количество игроков на волейбольной площадке:

а) 4; б) 5; в) 6; г) 7.

ДЕ-4: Самоконтроль занимающихся физическими упражнениями и спортом.

1. К объективным показателям самоконтроля относится:

а) частота сердечных сокращений; б) самочувствие; в) аппетит; г) сон.

2. При нагрузке интенсивности выше средней частота пульса достигает:

а) 100 – 130 уд/мин; б) 130 – 150 уд/мин; в) 150 – 170 уд/мин; г) более 170 уд/мин.

3. Самостоятельные тренировочные занятия рекомендуется выполнять:

а) после приема пищи; б) после сна натощак; в) во второй половине дня, через 2-3 часа после обеда; г) перед сном.

4. Меры профилактики переутомления:

а) посидеть 3-4 минуты;
б) сменить вид деятельности;
в) прекратить выполнение действий, пройти обследование у врачей, выполнить их рекомендации;
г) достаточно 2 дней полноценного отдыха для восстановления.

ДЕ-5: Профессионально-прикладная физическая подготовка (ППФП) обучающихся.

1. Система методически обоснованных физических упражнений, физкультурно-оздоровительных и спортивных мероприятий, направленных на повышение и сохранение устойчивой и профессиональной дееспособности – это:

а) физкультурная пауза;
б) производственная физическая культура;
в) спорт высших достижений;
г) массовый спорт.

2. Профессионально-прикладная физическая подготовка - это

а) специализированный вид физического воспитания, осуществляемый в соответствии с особенностями и требованиями данной профессии;

б) система профессиональных мероприятий, осуществляемая в соответствии с особенностями данной профессии;

в) процесс формирования специализированных знаний, умений и навыков;

г) целенаправленное воздействие на развитие физических качеств человека посредством нормированных нагрузок.

3. Какой вид спорта наиболее эффективно развивает координационные способности монтажников-высотников:

а) фехтование; б) баскетбол; в) мото-спорт; г) гимнастика.

4. Что не является формой занятий по ППФП:

а) спортивно-прикладные соревнования; б) учебные занятия; в) занятия в период учебной практики; г) рекреационные занятия.

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «зачтено», «не зачтено». Работа с оценкой «не зачтено» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 40 баллов.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

20-40 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-19 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра физической культуры

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа _____

Преподаватель: Петров Петр Петрович

Екатеринбург
2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению контрольных работ

Б1.О.06 МАТЕМАТИКА

Специальность -
21.05.04 Горное дело
Специализация -
Мехатроника и робототехника промышленных комплексов

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Математики	горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Сурнев В.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 19.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Варианты заданий для контрольных работ и самостоятельной работы студентов всех специальностей по теме: "Дифференцирование функций нескольких переменных" содержит 30 вариантов по 7 заданий в каждом варианте, также задания могут быть использованы на практических занятиях и аудитории.

Вариант 1.

1) Найти область определения функции $z = 2\sqrt{36 - 4x^2 - 9y^2}$ и построить линии уровней $z = 0$, $z = 3$, $z = 6$, $z = 12$.

2) Для функции $u = \frac{x \cdot y^2}{z} - y \cdot e^{z+x}$ найти $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z}$, $\frac{\partial^2 u}{\partial z \partial z}$ в точке $M(1;-1;2)$.

3) Найти экстремумы функции $z = x \cdot \sqrt{y} - x^2 + 6x - y$.

4) Найти полный дифференциал функции $v(t;z) = \ln\left(\operatorname{arctg}\frac{t}{z}\right)$ и вычислить его значение при $t = z = 1$, $\Delta t = 0{,}2$, $\Delta z = 0{,}1$.

5) Для функции $w = \cos(3u - 2v)$, где $u = 2^{\ln(1+x)}$, $v = \log_3(3\sqrt{x} + 2)$ найти $\frac{dw}{dx}$ в точке $x = 0$.

6) Найти производную $\frac{\partial z}{\partial x}$ неявной функции $z(x;y)$, заданной уравнением $\arcsin(xy) + \operatorname{tg}\left(\frac{\pi z}{4y}\right) = \frac{\pi}{6} + \frac{1}{z} - x$ при $x = 1$, $y = 1$, $z = 0{,}5$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2 + y^2 + z^2 - xz - 6 = 0$ в точке $M(1;2;-1)$.

Вариант 2.

1) Найти область определения функции $z = \sqrt{x^2 + y^2 - 4} + \ln(2x - y^2)$.

2) Для функции $u = \sin^2(2x + 3y)$ вычислить $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - 2\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}$ в точке $M\left(\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{6}\right)$.

3) Найти экстремум функции $z = x^2 + 2y^2 - 2xy + 2x - y + 5$.

4) Для функции $z = (2x + 1)^{y^2 - 1}$ составить формулу полного дифференциала.

5) Найти производную $\frac{dy}{dx}$ неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $y^2 - 4xy = 0$ и вычислить ее значение при $x = 1$, $y = 4$.

6) Найти градиент функции $u = \frac{x \cdot y^2}{z} + \frac{z \cdot x}{\sqrt{y}}$ в точке $M(1;2;-1)$.

7) Для функции $u = \ln(2x - y^2)$, где $x = 3e^t$, $y = \operatorname{arctg}\left(\frac{t}{2}\right)$ найти $\frac{du}{dt}$ и вычислить ее значение в точке $t = 0$.

Вариант 3.

1) Найти и построить область определения функции $z = \sin\left(\frac{1}{x} + \frac{x}{y}\right)$.

2) Для функции $u = \ln(\sqrt{x^2 + y})$ найти формулу полного дифференциала.

3) Найти экстремумы функции $z = xy - x^2y - xy^2$.

4) Найти производную $\frac{dy}{dx}$ неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $arctg\frac{x+3y}{3} = 2x + \frac{y}{3}$ и вычислить ее значение при $x = 0$, $y(0) = 0$.

5) Найти полную производную $\frac{du}{dx}$, если $u = e^v$, где $v = \ln(2x)$.

6) Найти производную функции $w = x^2y + 2y^2z + 3z^2x$ в точке $M(1;1;1)$ по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{MN}$, где $N(-1;4;-5)$.

7) Найти градиент функции $V = e^{xy^2 - z^3}$ в точке $M(1;2;-1)$ и его величину.

Вариант 4.

1) Найти область определения функции $f(x,y) = \frac{2x-3y}{3x-y}$. Вычислить $f(1;3)$, $f(a;-a)$, $f(-a;a)$, $a \neq 0$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^3 - x^2y - xy^2$.

3) Для функции $z = arctg\frac{y}{x-1}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 0$, $y = 1$, $\Delta x = \Delta y = 0{,}1$.

4) Найти производную $\frac{du}{dt}$ сложной функции $u = \sin(2x + y^2)$, где $x = \ln(3\sqrt{t} + 1)$, $y = arctg\frac{1}{t}$.

5) Найти $\frac{dy}{dx}$ производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $2x^2 + y^2 - 4x + 6y - 1 = 0$ и вычислить ее значение при $x = 0$, $y = -2$.

, если $u = e^v$, где $v = \ln(2x)$.

6) Найти градиент функции $u = z^2e^{x+2y} + \cos\frac{xy}{z}$ в точке $M(2;1;-1)$.

7) Вектор $\vec{l}$ составляет с осью OX угол $\alpha = 30^\circ$, с осью OY $0 \leq \beta \leq 90^\circ$. Найти производную функции $z = x^3 - 3\sqrt[3]{y^2} + 4\sqrt[4]{xy^3}$ в точке $M(1;1)$ по направлению $\vec{l}$.

Вариант 5.

1) Найти и построить область определения функции $f(x,y)=\frac{x^2+y^2}{\sqrt{x^2-y^2}}$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^2+y^2-6xy-20x+18y+20$.

3) Для функции $u=e^{x^2-y^2}\cdot\sin\frac{\pi}{2y}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=y=1$, $\Delta x=0.01$, $\Delta y=-0.01$.

4) Найти частные производные $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ сложной функции $z=\ln(u^2+v)$, где $u=\cos(2x-y)$, $v=\lg\frac{x+1}{y}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к окружности $x^2+y^2-2x+4y-20=0$, где $x=4$, $y<0$. Сделать чертеж.

6) В точке $M(4;3;-12)$ вычислить модуль градиента функции $u=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$.

7) Найти производную функции $z=x^3-3x^2y+3xy^2+1$ в точке $M(3;1)$ по направлению вектора $\vec{l}=\overrightarrow{MM_1}$, где $M_1(6;5)$.

Вариант 6.

1) Найти и построить область определения функции $f(x,y)=\frac{1}{\sqrt{xy}}$. Построить линии уровней $z=-\frac{1}{3}$, $z=-\frac{1}{2}$, $z=1$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^2+2y^2+2xy-2x+4y+15$.

3) Для функции $u=e^{xy}\cdot\sin\left(\frac{\pi x}{y}\right)$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=y=1$, $\Delta x=0.01$, $\Delta y=-0.01$.

4) Найти производную $\frac{\partial z}{\partial t}$ сложной функции $z=\arctg\left(\frac{x^2}{y}\right)$, где $x=\ln(5t+4v)$, $y=\arcsin(\sqrt{t-v})$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к эллипсу $3x^2+2y^2-8x-12y+16=0$ в точке, где $x=2$, $y>3$. Сделать чертеж.

6) Найти градиент функции $u=\arcsin\frac{x}{x+y}-\sqrt{\frac{y}{x^2}}$ в точке $M(1;1)$.

7) Найти производную функции $z=\frac{\sqrt{x}}{y}-\frac{y}{\sqrt{x}}-xy^2$ в точке $M_0(1;-2)$ по направлению вектора $\bar{l}=\overline{M_0M_1}$, где $M_1(-1;6;-2)$.

Вариант 7.

1) Найти и построить область определения функции $z=\sqrt{9-x^2-4y^2}$.

2) Найти экстремумы функции $z=2x^3+2y^3-36xy+430$.

3) Для функции $u=arctg\frac{x}{y}$ вычислить частные производные второго порядка и их значения в точке $M(2;-1)$.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции, где $z=t-\sin t$, $y=1-\cos t$.

5) Найти частные производные неявной функции $z=f(x,y)$, заданной уравнением $z\ln(2y-x)+2^{\frac{x}{z}}-\sqrt[3]{\frac{x}{z}}=0$ в точке $M(1;1;1)$.

6) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2+y^2=z^2$ в точке $M_0(3;4;5)$.

6) В точке $M(4;3;-12)$ вычислить модуль градиента функции $u=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$.

7) Найти производную функции $u=xy^{3yz}$ в точке $M_0(1;1;2)$ по направлению вектора $\bar{l}=\overline{M_0M_1}$, где $M_1(3;-1;2)$.

Вариант 8.

1) Найти и построить область определения функции $u=\arcsin(x)-x$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^3+y^3-6xy$.

3) Для функции $u=e^x\sin(2y)$ вычислить частные производные второго порядка и их значения при $x=1$, $y=0$.

4) Для функции $z=x^3\ln y$, где $x=\frac{u}{v}$, $y=3u+2v$ найти $\frac{\partial z}{\partial u}$ и $\frac{\partial z}{\partial v}$.

5) Найти производную неявной функции $z(x)$, заданной уравнением $2x^2+y^2-4z+6)-1=0$ в точке, где $y=-5$, $z=0$.

6) Найти градиент функции $u=\arcsin\frac{x}{x+y}-\sqrt{\frac{y}{x^2z}}$ в точке $M(1;1;1)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2(2-z^2)-y^2=0$ в точке $M_0(3;-1;1)$.

Вариант 9.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(x) + y$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 + 2y^2 - 3x + 4y$.

3) Для функции $u = 2^{\sin x^2 y}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 0$, $y = 1$, $\Delta x = \Delta z = 0{,}01$.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции $z = \lg(3x^2 - y)$, где $x = \ln(3t)$, $y = \sqrt{t}$.

5) Найти частные производные $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;1)$ $z = f(x;y)$ – неявной функции, заданной уравнением $x\ln(2z - y) + \operatorname{arctg}\frac{x}{y} = \frac{\pi}{2x}$.

6) Найти производную функции $u = \frac{1}{x}\lg\frac{\pi \cdot x^2}{2y} + e^{y - 2x}$ в точке $M_1(3;2)$ по направлению вектора $\bar{l} = \overline{M_1M_2}$, где $M_2(5;-1)$.

7) Найти градиент функции $u = \frac{2z}{\sqrt[3]{x}} + yz^3 - \sqrt{\frac{x}{y}}$ в точке $M_1(8;2;1)$. Составить уравнение поверхности уровня функции, проходящей через точку M_1.

Вариант 10.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(x^2 + y^2 - 2x)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 - xy + y^2 - 6x + 9y + 30$.

3) Для функции $u = \sqrt{y + 1} \cdot \ln(x^2 + 2y)$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 1$, $y = 0$, $dx = dy = 0{,}1$.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции $z = \lg(x + y^2)$, где $x = \operatorname{arctg}\frac{1}{t}$, $y = \sin(\pi \cdot t)$.

5) Уравнение $2x^2 + y^2 - 4x + 6y - 1 = 0$ задает неявную функцию $z(x)$. Найти производную $\frac{dy}{dx}$. Составить уравнения касательной плоскости и нормали к графику этой функции в точке, где $y = -1$, $x > 0$.

6) Найти градиент функции $u = e^{x^2} - \frac{1}{\pi}\lg\frac{\pi \cdot y}{xz}$ в точке $M(1;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = \frac{xy}{\sqrt{2z}} + \frac{z}{2x^2y} + \sqrt{\frac{2y}{z}}$ в точке $M_1(1;2;4)$ по направлению вектора $\bar{l} = \overline{M_1M_2}$, где $M_2(-2;0;-2)$.

Вариант 11.

1) Найти и построить область определения функции $z = \frac{\ln(x+1)}{1+\ln y}$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^3 - xy + y^2 + 9x - 6y + 23$.

3) Для функции $z = \sin^2(2x+3y)$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения при $x = \frac{\pi}{4}$, $y = \frac{\pi}{6}$.

4) Для функции $z = \frac{u}{\ln v}$, где $u = \sqrt{4x+y^2}$, $v = 4 - x^2 - y^2$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к плоскости $2x^2 + 3y^2 - 12x - 6y + 16 = 0$ в точке, где $x = 4$, $y \neq 0$.

6) Найти модуль градиента функции $u = e^{\frac{2x+y}{z}} - \frac{1}{\pi}\sin\frac{\pi \cdot z}{xy^2}$ в точке $M(2;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = \sqrt[3]{y^2 - 4z} + \operatorname{arctg}\frac{x-2}{y}$ в точке $M_1(1;2;-1)$ по направлению вектора $\bar{l} = M_1\bar{M}_2$, где $M_2(-2;-4;1)$.

Вариант 12.

1) Найти область определения функции $z = \sqrt{y - x + 1} \cdot \ln(x + y)$.

2) Найти экстремумы функции $z = \frac{x}{y} + \frac{1}{x} + y$.

3) Найти полный дифференциал функции $u(x;y) = \ln\left(\operatorname{arctg}\frac{x}{y}\right)$ и вычислить его значение при $x = y = 1$, $dx = 0{,}01$, $\Delta x = -0{,}01$.

4) Для функции $z = u \cdot e^{v}$, где $u = x^2 + y^2$, $v = xy$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $x^2 + y^2 = 2x - 4y + 20$ в точке, где $x = 0$, $y > 0$.

6) Найти производную функции $u = x \cdot \arcsin\frac{y-z}{2} - \sqrt{y^2 - 4z}$ в точке $M_1(-1;1;2)$ по направлению вектора $\bar{l} = M_1M_2$, где $M_2(0;2;1)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $2x^2 + 4y^2 + 9z^2 = 21$ в точке, где $x_0 = 2$, $y_0 = 0$, $z_0 = 1$.

Вариант 13.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(x - 2y)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 + y^2 + 6xy$.

3) Для функции $u = xy(e^{x^2-y^2})$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 1$, $y = -1$, $\Delta x = \Delta y = 0{,}1$.

4) Для функции $z = \arctg(x/y)$, где $y = e^{2x}$ найти $\frac{dz}{dx}$.

5) Для функции, заданной уравнением $\frac{\pi}{x}\arcsin\frac{x+y}{4z} - \sqrt{\frac{xy^3}{z}} = 0$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(1;1;1)$.

6) Найти градиент функции $u = y \cdot \ln(x + 2z) + z \cdot \sqrt{x^2 + y^2}$ в точке $M(-1;1;1)$. Найти модуль градиента.

7) Найти производную функции $u = \frac{x - y}{\sqrt{z}} + \frac{x + 2y}{x - z} + \sqrt{\frac{xy^3}{2z}}$ в точке $M_1(2;1;1)$ по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{M_1M_2}$, где $M_2(0;-1;2)$.

Вариант 14.

1) Найти и построить область определения функции $u = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 - 4}}$.

2) Найти экстремумы функции $z = e^{x^2}(x - y^2)$.

3) Вычислить приближенно изменение функции $\varphi = \arctg\frac{x+1}{y}$, если x изменяется от $x_0 = 0$ до $x_1 = 0{,}2$, y изменяется от $y_0 = 1$ до $y_1 = 0{,}8$.

4) Для функции $z = \ln^2(u) - \ln(3v)$, где $u = 4y(3x)$, $v = \sin(3x)$ найти $\frac{dz}{dx}$.

5) Составить уравнение касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2 + y^2 - 2x + 4y - 20 = 0$ в точке, где $y = -6$, $x < 0$.

6) Найти градиента функции $u = \frac{x}{\ln(y + z)} + \sqrt{2x^2z^2}$ в точке $M(2;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = \arcsin x\sqrt{y}$ в точке $M_1\left(\frac{1}{2};0\right)$ по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{M_1M_2}$, где $M_2\left(\frac{3}{2};\frac{1}{2}\right)$.

Вариант 15.

1) Найти область определения функции $z=\sqrt{x-y+2}+\ln(y-x^2+1)$.

2) Показать, что функция $z=x^4+y^4-2x^2-4xy-2y^2$ имеет экстремум в точке $M_0(\sqrt{2};\sqrt{2})$. Выяснить тип экстремума. Найти этот экстремум.

3) Для функции $u=y\cdot e^{\ln x-y}+\sin\frac{\pi\cdot x}{2y^2}$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Для функции $z=\operatorname{arctg}\frac{y}{x}$, где $y=\ln(2x+1)$ найти $\frac{dz}{dx}$ и $\frac{dz}{dy}$.

5) Уравнение $\frac{h}{e^x}\arcsin\frac{x+y}{4y}-\sqrt{\frac{x^2y}{z}}=0$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти частную производную этой функции в точке $M(1;1;1)$.

6) Найти производную функции $u=ye^{2x-z}+\frac{\sqrt{z}}{x+y}$ в точке $M_0(2;1;4)$ по направлению вектора $\bar{l}=\overline{M_0M_1}$, где $M_1(0;-2;-2)$.

7) Найти градиент функции $u=\frac{1}{e^x}\left(\cos\frac{\pi\cdot y^2}{2z}\right)^3$ в точке $M(2;1;1)$.

Вариант 16.

1) Найти и построить область определения функции $u=\frac{x+y}{x^2+y^2}$. Вычислить значение функции u в точке $M(1;1)$.

2) Найти экстремумы функции $z=e^{x(1-y)}(x+y^2)$.

3) Для функции $u=\frac{xy}{x^2+y^2}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=2$, $y=1$, $\Delta x=0{,}1$, $\Delta y=-0{,}2$.

4) Для сложной функции $z=x^2y-xy$, где $x=u\cos v$, $y=u\sin v$ найти $\frac{\partial z}{\partial u}$ и $\frac{\partial z}{\partial v}$.

5) Уравнение $u\cos\frac{y}{x}=\frac{\pi}{3}x-\sqrt{\frac{z}{x}}$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial y}$ при $x=\frac{1}{2}$, $y=1$, $z>0$.

6) Найти производную функции $u=\arcsin\frac{2y-x}{z}+\frac{\sqrt{2x^2z}}{y^2}$ в точке $M_0(2;1;-1)$ по направлению вектора $\bar{l}=\overline{M_0M_1}$, где $M_1(-1;-1;1)$.

7) Найти модуль градиента функции $u=\frac{2x-y}{3y+2z}$ в точке $M(-1;2;-1)$.

Вариант 17.

1) Найти область определения функции $u = \arcsin\left(\frac{1}{x^2 + y^2}\right)$.

2) Показать, что функция $z = 3x + 6y - x^2 - xy - y^2$ имеет экстремум в точке $M_0(\sqrt{3}; \sqrt{3})$. Выяснить тип экстремума. Найти этот экстремум.

3) Для функции $u = z \cdot e^{x - xy} + \frac{1}{3}\sin\frac{\pi \cdot x}{y}$ найти $\frac{\partial u}{\partial y}$ и $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z}$. Вычислить их значения в точке $M(1;2;1)$.

4) Для функции $z = 2u + \sqrt{v}$, где $u = \arcsin(xy)$, $v = \ln(x^2 + 2y)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Уравнение $x\ln(2y - z) + \arctg\frac{y}{z} = \frac{\pi}{2y}$ задает неявную функцию $z = f(x, y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;1)$.

6) Найти модуль градиента функции $u = \frac{1}{\pi}\cos\left(\frac{\pi \cdot x}{y \cdot z}\right) \cdot \frac{z - x}{y - x} + x \cdot \sqrt{\frac{y}{z}}$ в точке $M(1;2;2)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к параболоиду $z = 2x^2 + 4y^2$ в точке, где $y = 1$, $z = 12$, $x < 0$.

Вариант 18.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(x) \cdot \ln(y)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^3 + 3y^2 - 3xy + 17$.

3) Для функции $u = \ln(x^2 + 3y)$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения при $x = 2$, $y = 0$.

4) Для функции $u = \frac{x^2}{y} + \frac{y}{x + y}$, где $y = \arctg\frac{1}{x}$ найти $\frac{\partial u}{\partial x}$ и $\frac{du}{dx}$.

5) В точке $M(2;1)$ найти угловой коэффициент касательной к кривой $x^3 - x^2 \cdot y = 2^{x - y} - 2^y$.

6) Найти градиент функции $u = \frac{1}{\pi}\cos\frac{\pi \cdot x}{yz} \cdot e^{x - y} - \sqrt{\frac{(z)^2}{2y}}$ в точке $M(-1;1;2)$.

7) Найти производную функции $u = \frac{x}{y}\arcsin\frac{y}{x}$ в точке $M_1(-2;1)$ по направлению вектора $\bar{l} = M_1M_2$, где $M_2(2;4)$.

Вариант 19.

1) Найти и построить область определения функции $u = \frac{\ln(x^2 - 2y)}{\sqrt{9 - x^2 - y^2}}$.

2) Найти экстремумы функции $z = 3x^2 + y^2 - 3xy$.

3) Для функции $u = \frac{\sin\left(2y + \frac{\pi}{4}\right)}{x-1}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 3$, $y = 0$, $\Delta x = -0{,}04$, $\Delta y = 0{,}01$.

4) Для функции $z = \ln(y^2 - 2x^3)$, где $y = e^{x^2}$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{dz}{dx}$.

5) Уравнение $\arcsin\frac{x}{y} = \frac{\pi}{6} + \ln y - \sqrt{\frac{y}{x}}$ задает неявную функцию $z = f(x, y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M_0\left(\frac{1}{2}; 1; y_0\right)$, $y_0 > 0$.

6) Найти производную функции $u = \frac{x^2}{yz} - \sqrt{\frac{y}{2x}} + \ln z^2$ в точке $M_1(1;2;-1)$ по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{M_1M_2}$, где $M_2(-2;-4;1)$.

7) Найти градиент функции $z = x^3 + y^3$ в точке $M(2;1)$.

Вариант 20.

1) Найти область определения функции $z = \log_2(\sqrt{x} - \sqrt{y})$.

2) Показать, что функция $z = x^2 - xy + y^2 + \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$ имеет экстремум в точке $M_0(1;1)$. Выяснить тип экстремума. Найти этот экстремум.

3) Для функции $u = y \cdot e^{\ln(xy)} + \arcsin\frac{x+y}{2y^2}$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Катеты $a = 12$ (см), $b = 3$(см) измерены с точностью $\Delta a = \Delta b = 0{,}1$ (см). Найдите гипотенузу треугольника и относительную погрешность значения гипотенузы $\left(\delta c = \frac{\Delta c}{c} \cdot 100\%\right)$.

4) Для функции $u = x^3 + 2y^2 + \ln(1 + y)$, где $y = \sin(3x)$ найти $\frac{du}{dx}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к эллипсу $2x^2 + y^2 - 4x + 6y - 1 = 0$ в точке, где $y = -1$, $x < 0$.

6) Найти градиент функции $z = \arcsin\sqrt{\frac{x^2 - y^2}{x^2 + y^2}}$ в точке $M_0(\sqrt{3};1)$.

7) Найти производную функции $u = 6^{x+z} + z \cdot \sqrt{\frac{x}{y^2}}$ в точке $M_0(-1;1;2)$ по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{M_0M_1}$, где $M_1(4;3;16)$.

Вариант 21.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin\frac{1}{x} + \arccos\frac{1}{y}$.

2) Найти экстремумы функции $z = 3x^2 + y^2 - 6xy$.

3) Для функции $z = (x^2 + 2)\cdot\arcsin\frac{1}{y}$ найти частные производные второго порядка.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции $u = e^{x^2+y^2}$, где $x = \sin(\pi \cdot t)$, $y = \sqrt{t}$ и ее значение при $t = 1$.

5) Уравнение $x\ln(2z - y) + \cos(y\frac{z}{y} + \frac{\pi}{2z}) = 0$ задает неявную функцию $z = f(x; y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;-1)$.

6) Составить уравнения касательных плоскостей к эллипсоиду $x^2 + 2y^2 + 3z^2 = 21$ в точках пересечения эллипсоида и прямой $\frac{x}{1} = \frac{y}{2} = \frac{z}{3}$.

7) Найти производную функции $z = x^3 - y^2$ в точке $M(1;1)$ в направлении вектора l_2, составляющего с осью OY угол $\beta = 60°$.

Вариант 22.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(x^2 + y^2 - 2y)$. Вычислить z при $x = 0$, $y = 1$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 - 2x\sqrt{y} + y - 4x$.

3) Для функции $u = \frac{5x + 3y}{9x - 2y}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 1$, $y = 2$, $\Delta x = -0{,}1$, $\Delta y = 0{,}3$.

4) Для функции $u = \ln\frac{4v}{y^2}$, где $v = \arcsin(\theta - 2z)$, $y = \ln(y^2 + z^2)$ найти $\frac{\partial u}{\partial z}$.

5) Уравнение $\operatorname{arctg}\frac{x+2y}{3z}=xe^{z}+\frac{1}{z}-\frac{\pi}{4}$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(1;1;1)$.

6) Найти модуль градиента функции $u=\frac{2x^3}{y}+\frac{3y^3}{z}-xyz$ в точке $M(1;-2;3)$.

7) Найти производную функции $u=\frac{z}{\sqrt[3]{x-y}}+\frac{1}{\ln 2}\cdot 2^{\ln(z+\sqrt{x(y^2-z)})}$ в точке $M_0(2;1;-1)$ по направлению вектора $\bar{l}=M_0M_1$, где $M_1(3;-1;-1)$.

Вариант 23.

1) Найти область определения функции $u=\arcsin\left(\frac{x}{y}\right)$.

2) Найти экстремум функции $z=x^3+2y^2-xy^2+1$.

3) Для функции $u=x\ln(3x+2y)$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=1$, $y=-1$, $\Delta x=\Delta y=0{,}01$.

4) Для функции $z=u^2$, где $u=\sin(2x)$, $x=\operatorname{arctg}\frac{x}{y}$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $x\cdot 3^{\frac{x}{y}}+\operatorname{tg}\frac{\pi x}{4y}-10=0$ в точке $M(1;1)$.

6) Найти производную функции $u=\sqrt{3}\arcsin\frac{x-y}{z}+y^2\cdot\sqrt{\frac{x}{z}}$ в точке $M_0(1;2;1)$ по направлению вектора $\bar{l}=M_0M_1$, где $M_1(-1;5;-10)$.

7) Найти градиент функции $u=\frac{x}{\sqrt[3]{z(2x+y)}}+3\cdot\sqrt{\frac{y}{z}}+xyz^2$ в точке $M(1;2;-2)$.

Вариант 24.

1) Найти и построить область определения функции $z = x + 2y - \arcsin(xy)$.

2) Найти экстремум функции $z = x^2 + y^2 - 3x + 2y$.

3) Для функции $u = e^{x^2 - y^2}\ln(2y)$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Для функции $z = (u + 1)^v$, где $u = \arcsin\left(\frac{x}{y}\right)$, $v = \cos(2x + 3y)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Уравнение $x\ln(2z + y) + \arctg\frac{z}{y} + \frac{\pi}{2x} = 0$ задает неявную функцию $z = f(x, y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2; -1; 3)$.

6) Найти производную функции $u = \sqrt{3}\arcsin\frac{x - y}{z} + \frac{9}{\pi}\operatorname{tg}\frac{\pi y}{z^2}$ в точке $M_1(2;1;2)$ по направлению вектора $\bar{l} = \overline{M_1M_2}$, где $M_2(5; 1; -4)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $\sin(xy) - \cos y - z = 0$ в точке, где $x = y = \frac{\pi}{4}$.

Вариант 25.

1) Найти и построить область определения функции $u = \sqrt{x - 1} + \sqrt[3]{y + 2}$. Вычислить значение функции u в точке $M(2; -1)$.

2) Найти экстремумы функции $z = e^{2x}(x^2 + y)$.

3) Вычислить приближенно изменение функции $z = \arcsin\frac{y}{x}$, если x изменяется от $x_1 = 5$ до $x_2 = 4{,}8$, y изменяется от $y_1 = 1$ до $y_2 = 1{,}3$.

4) Для функции $z = y^{\sin x}$, где $y = \log_2(x^2 + 2x)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$, $\frac{dz}{dx}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к гиперболоиду $x^2 - 2y^2 + 4z - 4 = 0$ в точке $M(2;2;2)$. Сделать чертеж.

6) Найти производную функции $u = \frac{1}{\pi}\sin\frac{\pi z}{x^2y} + \frac{x + 2y}{z + y}$ в точке $M_1(1;2;1)$ по направлению вектора $\bar{l} = \overline{M_1M_2}$, где $M_2(3;3;-1)$.

7) Найти градиент функции $x^2 + y^2 + 4z^2 = 4$ в точке $M\left(\frac{4}{3}; \frac{4}{3}; \frac{1}{3}\right)$.

Вариант 26.

1) Найти и построить область определения функции $u = \frac{2x + y}{\cos(y - x)}$.

2) Найти экстремумы функции $z = \frac{4}{y} + \frac{1}{x} + y$.

3) Для функции $u = \sin\left(\frac{\pi}{2}(2x - y)\right)$ найти частные производные $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}$. Вычислить их значения в точке $M(0;1)$.

4) Для функции $z = u^{v+1}$, где $u = \arcsin(x + 2y)$, $v = \ln(x + \sqrt{y})$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Уравнение $\frac{x - z}{z^2} + e^{y(z+1)} - x\sqrt{y} = 0$ задает неявную функцию $z = f(x, y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;-1)$.

6) Найти градиент функции $u = \arcsin xy \cdot \frac{x}{x + z} + \sqrt{\frac{x^2}{2x^2 y}}$ в точке $M(2;1;1)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $u = \frac{1}{\ln 2} \cdot 2^{x^2 - y^2} + \frac{\sqrt{x}}{z} - \frac{2z}{\sqrt{y}} = \frac{1}{\ln 2}$ в точке $M_0(1;4;1)$.

Вариант 27.

1) Найти и построить область определения функции $z = \lg\left(y + 2x + \frac{\pi}{4}\right)$. Вычислить z при $x = 0$, $y = 1$.

2) Найти экстремумы функции $z = 2y^2 - 2y\sqrt{x} + x - 4y$.

3) Для функции $z = x^2 + 2y^2 - 3xy$ найти формулы частных приращений $\Delta_x z$, $\Delta_y z$ и полного приращения. Вычислить приращение, если x изменяется от $x_1 = 2$ до $x_2 = 2{,}1$, y изменяется от $y_1 = 2$ до $y_2 = 1{,}9$.

4) Для функции $z = x^y$, где $x = e^{-t}\sin(2t)$ найти $\frac{\partial z}{\partial t}$ и $\frac{dz}{dt}$.

5) Составить уравнения касательной и нормали к эллипсу $3x^2 + 2y^2 - 6x - 12y + 7 = 0$ в точке, где $x = 3$, $y > 3$.

6) Найти градиент функции $u = y\ln(x + 2z) - \sqrt{3}\arcsin\frac{x}{y^2} + y$ в точке $M_0(-1;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = 3\sqrt{\frac{xy^2}{y - 1}} + \frac{x + z}{2y - z} - \frac{x^2 y}{4z}$ в точке $M_1(2;3;1)$ по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{M_1 M_2}$, где $M_2(4;1;2)$.

Вариант 28.

1) Найти и построить область определения функции $u = \arcsin\frac{z-2}{x}$.

2) Для функции $u = x^{\frac{1}{y}}$ найти $\frac{\partial u}{\partial x}$, $\frac{\partial u}{\partial y}$, $\frac{\partial u}{\partial z}$ при $x=2$, $y=-1$, $z=1$.

3) Найти экстремумы функции $z = e^{x^2}(x + y^2 + 2y)$.

4) Высота $H = 4(см)$ и образующая $l = 3(см)$ конуса измерены с точностью $\Delta = 0{,}1(см)$. Найти объем конуса. Найти абсолютную и относительную погрешности объема.

5) Для функции $z = \arcsin\frac{x}{z}$, где $z = \sqrt{x^2+1}$ найти $\frac{\partial u}{\partial x}$ и $\frac{du}{dx}$ в точке, где $x=1$.

6) Найти градиент функции $u = \sqrt{3}\,\arcsin\frac{x-2z}{x+z} + \sqrt{\frac{2yz^3}{x}}$ в точке $M(1;-1;2)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2 + \ln(y^2 + z^2) - \ln(x^2 + z^2) = 1$ в точке, где $x=1$, $z=-2$, $y>0$.

Вариант 29.

1) Найти и построить область определения функции $u = \arcsin\sqrt{xy}$.

2) Для функции $z = x^y$ найти $\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}$, $\frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}$. Сравнить эти производные.

3) Найти экстремумы функции $z = -\frac{1}{4}x^2 + \frac{1}{2}y^2 - xy$.

4) С помощью дифференциала найти формулу объема стекла, нужного для изготовления цилиндрического стакана с толщиной стенки и дна k, если радиус внутреннего цилиндра R, а высота внутреннего цилиндра H.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $\ln x + \ln y - \sqrt[3]{y} = 0$ в точке $M(e;e)$.

6) Для функции $z = \ln(2x + y^2)$, где $x = \sin(3t)$, $y = \cos^2 t$ найти $\frac{dz}{dt}$.

7) Найти модуль градиента функции $u = x^2 - 2y^2 + z^2 - 4x + 2z$ в точке $M_1(0;1;1)$ и производную в точке M_1 по направлению вектора $\vec{l} = \overrightarrow{M_1M_2}$, где $M_2(-1;3;0)$.

Вариант 30.

1) Найти и построить область определения функции $u=\sqrt{\frac{x^2-4x+y^2}{x^2+4x+y^2}}$.

2) Для функции $z=\ln\left(\ln\frac{x}{y}\right)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$, $\frac{\partial z}{\partial y}$, $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}$.

3) Найти экстремум функции $z=2x^2+y^2-xy-3x+14$.

4) Для функции $u=\sqrt[3]{x+y^2}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=2$, $y=5$, $\Delta x=0{,}1$, $\Delta y=0{,}01$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $xe^{2z-1}-y^2+z=0$ в точке $M_0(1;-1)$.

6) Для функции $z=\frac{u}{v}\operatorname{arctg}(u+v)$, где $u=xy$, $v=x+y$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

7) Найти градиент функции $u=\frac{x^2}{y}-\frac{4y}{z^2}+x^2z^2$ в точке $M_1(1;-1;2)$. Найти производную этой функции в точке M_1 по направлению вектора $l=M_1M_2$, где $M_2(3;-4;-4)$.

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Н. П. Жданова, Т. С. Озерова

КРАТНЫЕ, КРИВОЛИНЕЙНЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

Методические указания и варианты индивидуальных и самостоятельных работ по разделу дисциплины «Математика» для студентов всех специальностей очного обучения

Екатеринбург
2019

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 4

I. КРАТНЫЕ И КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ ... 7
1. ... 7
... 11
2. ... 11
... 11
... 11
... 12
... 16
... 17
II. ПРИМЕНЕНИЕ КРАТНЫХ И КРИВОЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛОВ ... 17
1. ... 18
... 19
2. ... 21
... 22
3. ... 23
III. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ ... 31
1. ... 31
... 31
... 33
... 34
... 36
... 37
... 38
... 39
... 40
... 41
... 42
... 43
IV. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ ... 43
1. ... 44
2. ... 46
3. ... 48
... 50
V. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ... 51

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ... 61

ВВЕДЕНИЕ

I. ИНТЕГРАЛ И КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

1. Дивергенция векторного поля и векторная формула

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

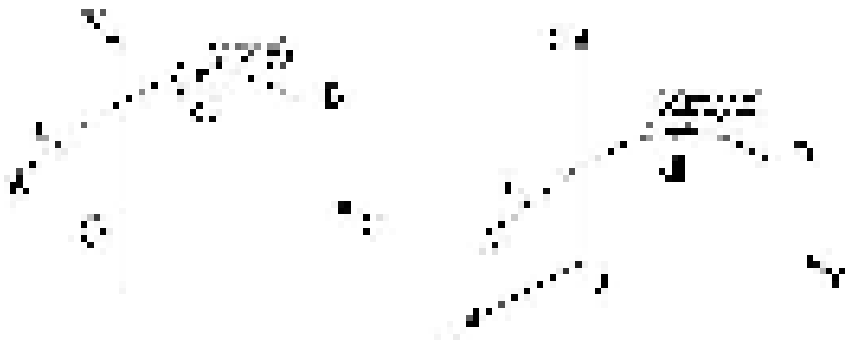


Рис. 1.

[illegible]

[illegible]

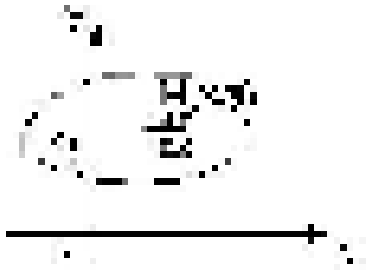


Рис.

1. Q – часть пространства

ограниченная

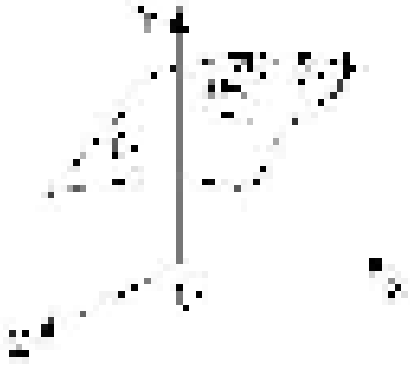


Рис. 2

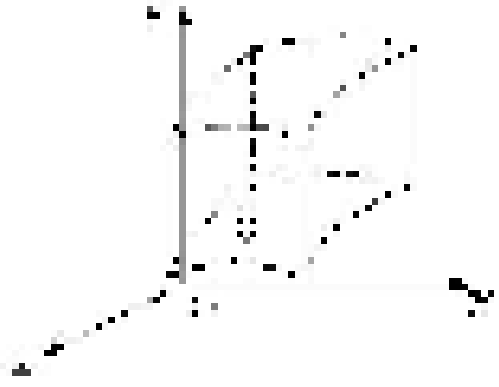
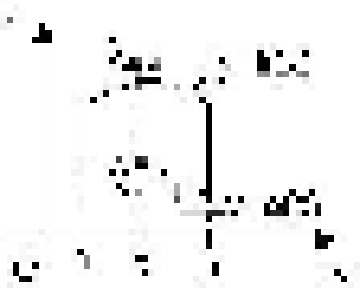


Рис.



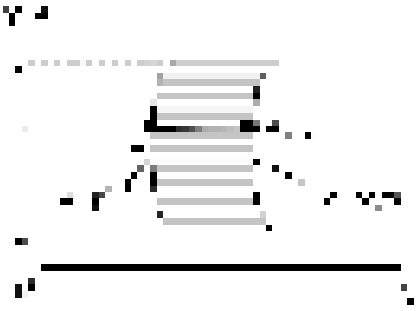


Рис. 3.2

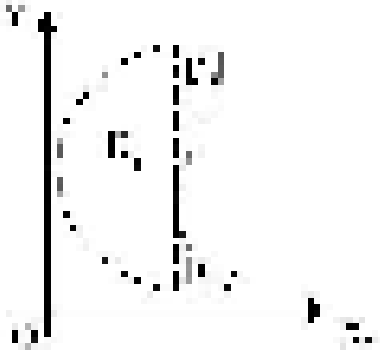


Рис. 3.3

Двойной интеграл в декартовых координатах

Пусть в плоскости Oxy задана область D, ограниченная замкнутой кривой L, и в этой области определена функция $f(x,y)$.

Разобьем область D произвольным образом на n частичных областей $\Delta D_1, \Delta D_2, \ldots, \Delta D_n$, площади которых также обозначим $\Delta D_1, \Delta D_2, \ldots, \Delta D_n$.

В каждой частичной области произвольно выберем точку (ξ_i, η_i) и составим интегральную сумму

$$\sum_{i=1}^{n} f(\xi_i, \eta_i)\,\Delta D_i. \qquad (1)$$

Если при неограниченном увеличении числа n частичных областей ΔD_i интегральная сумма (1) стремится к конечному пределу, не зависящему ни от способа разбиения области D, ни от выбора точек (ξ_i, η_i), то этот предел называется двойным интегралом от функции $f(x,y)$ по области D.

Обозначение двойного интеграла:

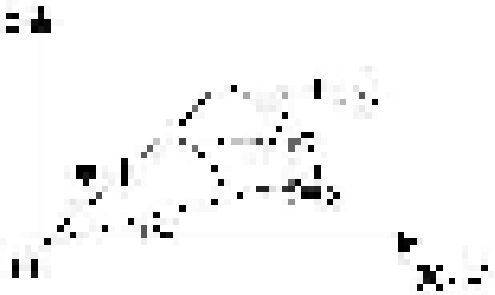


Рис. 1

Тогда

$$\iint_D f(x,y)\,dx\,dy = \int_a^b \left[\int_{y_1(x)}^{y_2(x)} f(x,y)\,dy \right] dx. \qquad (2)$$

При вычислении двойного интеграла по области, ограниченной замкнутой кривой, часто удобно использовать полярные координаты r, φ, связанные с декартовыми координатами x, y соотношениями $x = r\cos\varphi$, $y = r\sin\varphi$. Тогда

$$\iint_D f(x,y)\,dx\,dy = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left[\int_{r_1(\varphi)}^{r_2(\varphi)} f(r\cos\varphi, r\sin\varphi)\, r\,dr \right] d\varphi. \qquad (3)$$

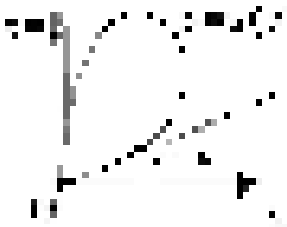


Рис. 4

Если область интегрирования имеет сложную форму:

$$\iint_{D} f(x,y)\,dx\,dy = \left| \iint_{D_1} f(x,y)\,dx\,dy \right| \qquad (6)$$

Рис. 5

2.4. Приложения двойного интеграла первого рода

Рис. 6

Если тело ограничено сверху поверхностью $z = f(x,y)$, где $f(x,y)$ непрерывна в замкнутой области D, снизу – областью D плоскости Oxy, с боков – цилиндрической поверхностью, образующие которой параллельны оси Oz, а направляющей служит граница области D, то такое тело называется *криволинейным цилиндром*.

$$\iiint_V f(x,y,z)\,dV = \iiint_V f(x,y,z)\,dx\,dy\,dz$$

3.5 Тройной интеграл

Рис. 3.5

$$\iint_{\Omega} f(x,y)\,dx\,dy = \int_{c}^{d}\left[\int_{\varphi_1(y)}^{\varphi_2(y)} f(x,y)\,dx\right]dy, \qquad (2)$$

Однако вычисление по формуле (2) $\int_{\varphi_1(y)}^{\varphi_2(y)} f(x,y)\,dx$ может оказаться

II. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДВОЙНЫХ И ПОВТОРНЫХ ИНТЕГРАЛОВ

Пусть Ω – область, ограниченная линиями $y = \varphi_1(x)$, $y = \varphi_2(x)$, $x = a$, $x = b$, $a < b$, $\varphi_1(x) < \varphi_2(x)$ на (a,b).

Пусть область Ω разбита на n частей $\Omega_1, \Omega_2, \ldots, \Omega_n$, $\Omega = \bigcup_{k=1}^{n} \Omega_k$, $\Omega_i \cap \Omega_j = \varnothing$ при $i \neq j$.

Пусть $f(x,y)$ определена и ограничена в области Ω, $m_k = \inf_{(x,y)\in\Omega_k} f(x,y)$, $M_k = \sup_{(x,y)\in\Omega_k} f(x,y)$.

Сумма $\sum_{k=1}^{n} m_k \Delta\sigma_k$ называется нижней интегральной суммой, а сумма $\sum_{k=1}^{n} M_k \Delta\sigma_k$ – верхней интегральной суммой.

Нижний и верхний интегралы Дарбу от функции $f(x,y)$ по области Ω определяются как $\underline{\iint_{\Omega}} f\,dx\,dy = \sup \sum m_k \Delta\sigma_k$ и $\overline{\iint_{\Omega}} f\,dx\,dy = \inf \sum M_k \Delta\sigma_k$.

1. Тело произвольной

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

3. Площадь плоской области

[illegible]

4. Площадь поверхности

[illegible]

5. Площадь поверхности

[illegible]

6. Площадь поверхности

[illegible]

7. Площадь поверхности

[illegible]

8. Объем тела

[illegible]

$$\int_{\Omega} \rho(x,y)\,dx\,dy \qquad (1.4)$$

5. Масса, распределенная в заданной области

Говорят, что масса распределена в области Ω, если для любой подобласти $\omega \subset \Omega$ можно вычислить массу $m(\omega)$, причем $m(\omega)$ обладает свойством аддитивности.

Пусть $\rho(x,y)$ — функция, непрерывная в области Ω. Разобьем область Ω произвольным образом на n частей $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$:

$$\Omega = \bigcup_{i=1}^{n} \omega_i \qquad (1.5)$$

и пусть $\Delta\omega_i$ — площадь ω_i.

Если масса распределена по закону $\rho(x,y)$, то можно считать, что в каждой из частей ω_i плотность $\rho(x,y)$ почти не изменяется и будет близка к значению $\rho(x_i, y_i)$, где (x_i, y_i) — некоторая точка, принадлежащая ω_i.

Тогда масса $m(\omega_i)$ части ω_i, с одной стороны, будет приближенно равна $\rho(x_i, y_i)\Delta\omega_i$, а с другой стороны, $m(\omega_i)$ — это масса области ω_i, поэтому

$$m = \sum_{i=1}^{n} m(\omega_i) \approx \sum_{i=1}^{n} \rho(x_i, y_i)\Delta\omega_i \qquad (1.6)$$

Это приближенное равенство тем точнее, чем мельче разбиение области Ω, т. е. чем меньше диаметры частей ω_i. Под диаметром области понимается наибольшее расстояние между двумя точками границы области. Обозначим через λ наибольший из диаметров частей ω_i, т. е.

$$\lambda = \max_{1 \le i \le n} \{\text{диаметр } \omega_i\}. \qquad (1.7)$$

Масса m равна пределу суммы (1.6) при $\lambda \to 0$:

а) масса, материальная линия с плотностью

$$m = \int_{L} \rho(x,y,z)\,dl;$$

б) [illegible]

$$\ldots \int_{L} \ldots dl; \qquad (10)$$

в) масса, распределенная по поверхности с поверхностной плотностью

$$m = \iint_{\sigma} \rho(x,y,z)\,d\sigma, \qquad (11)$$

г) масса, материальная поверхность

$$m = \iint_{\sigma} \ldots d\sigma; \qquad (12)$$

III. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ

1. Введение

Если каждой точке [illegible]

Если в некоторой области [illegible]

Если в некоторой области [illegible]

Если [illegible]

$$\vec{a}(x,y,z) = \ldots$$

[illegible] (1.3)

[illegible]

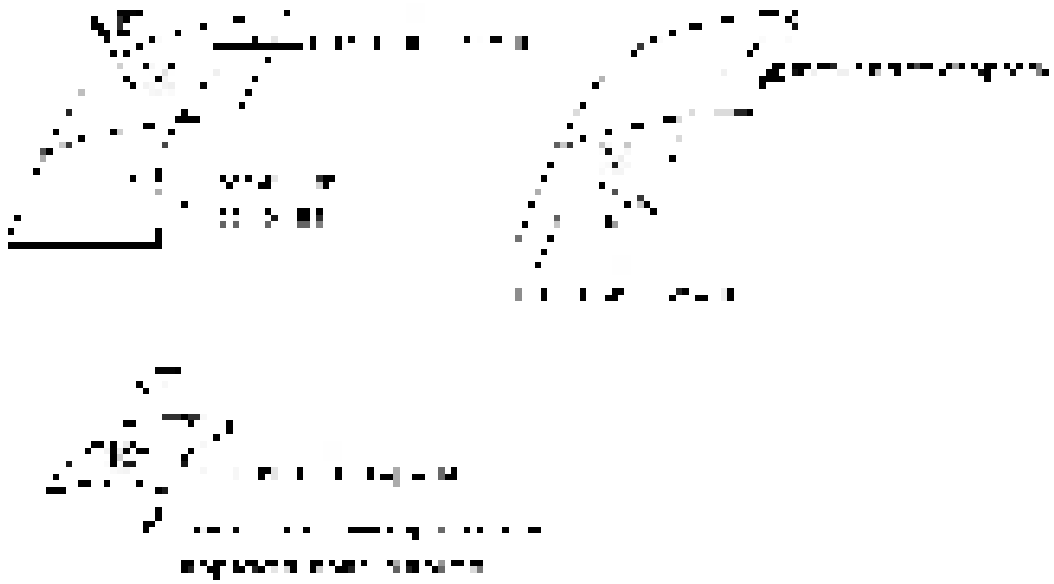
[illegible] (1.4)

[illegible]

1. [illegible]

2. [illegible]

[illegible]



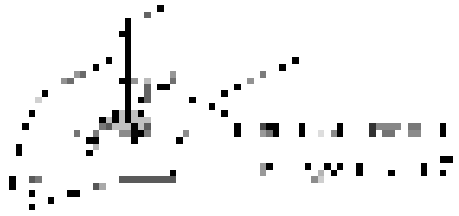


Рис. 4.2

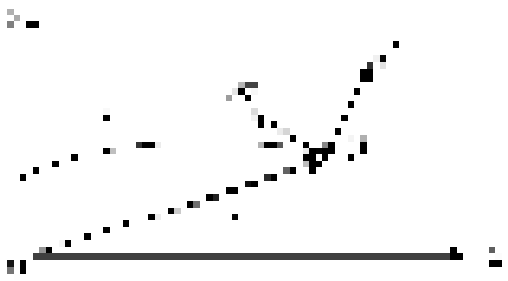


Рис. 13

4.2. Применение производной к вычислению пределов

Пусть требуется вычислить предел $\lim_{x \to a} \frac{f(x)}{g(x)}$, причем $f(a) = 0$ и $g(a) = 0$. Тогда непосредственно применить теорему о пределе частного нельзя. В этом случае говорят, что имеется неопределенность вида

$$\left[\frac{0}{0}\right] \quad (1)$$

Теорема (правило Лопиталя). Пусть функции $f(x)$ и $g(x)$ дифференцируемы в некоторой окрестности точки a, за исключением, может быть, самой точки a, и $g'(x) \neq 0$ в этой окрестности. Если существует предел $\lim_{x \to a} \frac{f'(x)}{g'(x)}$, то существует и предел $\lim_{x \to a} \frac{f(x)}{g(x)}$, причем

$$\lim_{x \to a} \frac{f(x)}{g(x)} = \lim_{x \to a} \frac{f'(x)}{g'(x)}.$$

Замечание. Правило Лопиталя применимо и в случае, когда $a = \infty$.

Замечание. Если $f'(a) = 0$ и $g'(a) = 0$, то можно снова применить правило Лопиталя, т. е. перейти к пределу $\lim_{x \to a} \frac{f''(x)}{g''(x)}$, и так далее.

4.3. Теоремы о среднем для дифференцируемых функций

Теорема Ролля

Если функция $f(x)$ непрерывна на отрезке $[a, b]$, дифференцируема на интервале (a, b) и принимает на концах отрезка равные значения $f(a) = f(b)$, то существует точка $c \in (a, b)$, в которой $f'(c) = 0$.

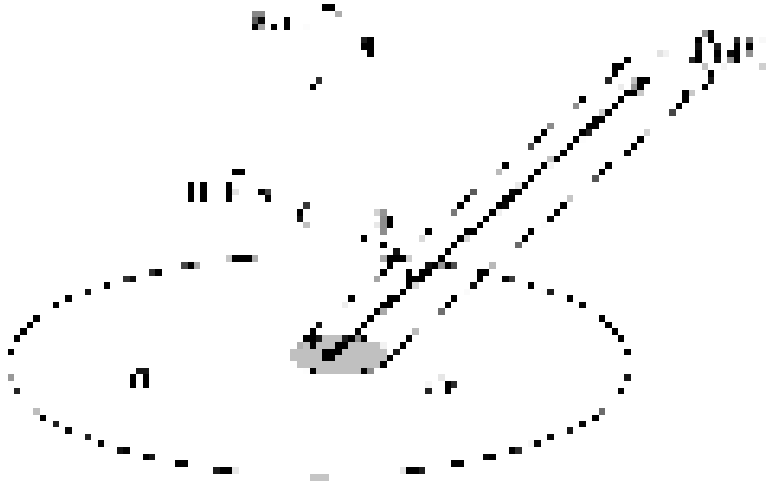


Рис. 1.1

1.1. [illegible]

[illegible]

1.2. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[

$$\cdot \pm \frac{\quad}{\cdot \cdot b} \pm \frac{\quad}{\quad}.$$

$$\Delta =$$

$$\cdot \cdot \cdot \

[illegible]

Пусть [illegible]

[illegible]

[illegible]

Сначала решаем задачу о построении [illegible] с максимальным числом [illegible]

Для этого [illegible]

Будем [illegible]

Построение [illegible]

Пусть [illegible]

[illegible] (1)

Покажем [illegible]

[illegible]

Алгоритм [illegible]

Пусть [illegible]

$$\text{solve}(x, y, z) = \begin{cases} \text{[illegible]} \\ \text{[illegible]} \\ \text{[illegible]} \end{cases}$$

Обозначим [illegible]

[illegible]

[illegible] (24)

Доказано.

[illegible]

[illegible] (23)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

3. Операторы векторного поля

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

8. Пятый параграф

[illegible]

$$[illegible] \tag{3.3}$$

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

$$[illegible] \tag{3.4}$$

[illegible]

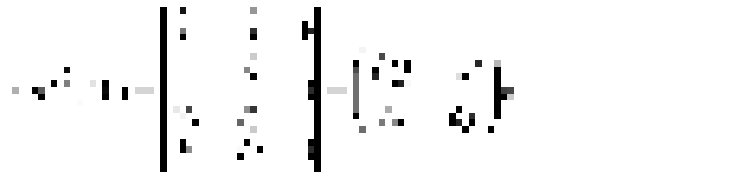
$$[illegible]$$

[illegible]

$$[illegible] \tag{3.5}$$

1.1. Пример интегрального оператора

Если ядро интегрального оператора



(1)

— непрерывная функция переменных x и s, $a \le x \le b$, $a \le s \le b$, то

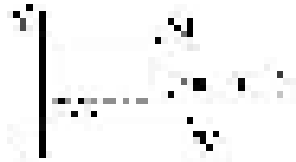


Рис. 1

$$\text{(26)}$$

15. РЕГЛАМЕНТНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ЗАДАЧИ

1. Основные этапы проектирования технологического процесса

При выполнении этой задачи необходимо:

1) определить ...;

2) выбрать инструменты, оборудование и приспособления для ...;

3) найти оптимальную ... операции;

4) ...

Например:

$$\int_{a}^{b} f(x)\,dx \approx \sum_{i=1}^{n} w_i f(x_i)$$

Формулы для расчета ... приведены в технологических инструкциях. Результаты ... должны удовлетворять ...

Рисунок

Вычислим интеграл:

Уравнение плоскости $\dots$ имеет вид $\dots$ и найдем проекцию треугольника, ограниченного данной плоскостью

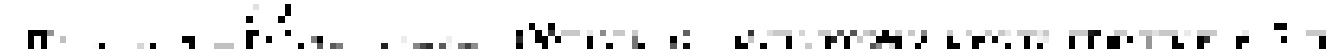
Двойной интеграл вычислим по формуле

$$\iint \dots = \int_{\dots}^{\dots} \left(\int_{\dots}^{\dots} \dots \right) \dots$$

Получим искомый результат.

Для нахождения работы силового поля $\dots$ вдоль замкнутого контура $\dots$ воспользуемся формулой $\dots$. Параметризуем $\dots$ Перейдем к определенному интегралу по $\dots$ и вычислим его

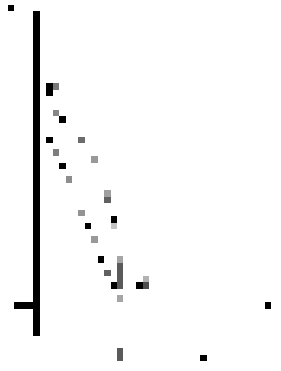
$$\dots = \int_{\dots}^{\dots} \left(\dots \right) \dots$$



[illegible]

[illegible]

[illegible]

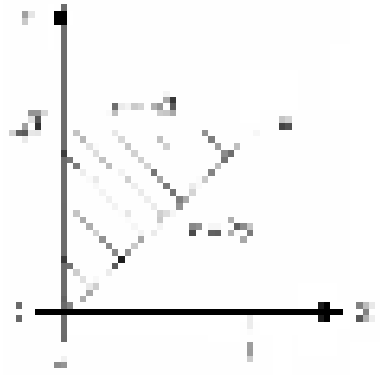


Пример

Вам нужно [illegible] [illegible]

[illegible]

[illegible]



Тогда [illegible]

[illegible]

Обычно [illegible] [illegible]

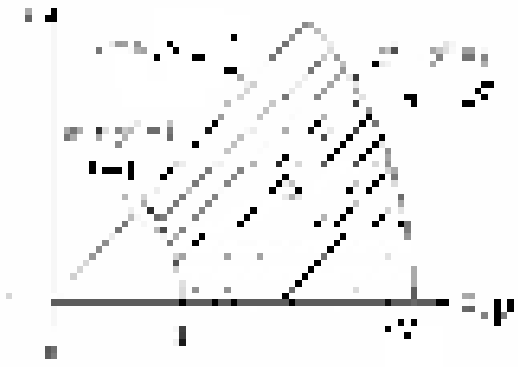
Задача [illegible] [illegible]

Задача 3 [illegible] [illegible]

[illegible]

[illegible]

Пример 1



Решение

Так как область [illegible]

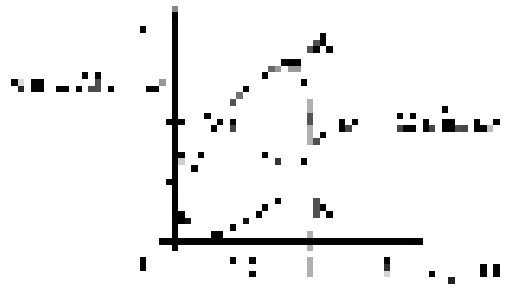
[illegible]

Пример 2 Вычислить

[illegible]

[illegible]

[illegible]



$$V = \iint_{S} f(x,y)\,dy$$

$$\int_{p=2\sin\varphi}^{p=2\cos\varphi}$$

2. Задача о массе пространственного тела

Пусть пространственное тело V занимает область, ограниченную поверхностью S, и в каждой точке (x,y,z) этой области задана функция $\rho(x,y,z)$, непрерывная в V.

Требуется

Найти массу m тела V, если плотность распределения вещества в теле равна $\rho(x,y,z)$.

Решение:

Разобьем тело V произвольным образом на n частей $V_1, V_2, \dots, V_n$, не имеющих общих внутренних точек. Обозначим через ΔV_i объем i-й части, $i = 1, 2, \dots, n$. Выберем в каждой части V_i произвольную точку (ξ_i, η_i, ζ_i).

Масса i-й части V_i приближенно равна

$$m_i \approx \rho(\xi_i, \eta_i, \zeta_i)\,\Delta V_i.$$

Тогда масса всего тела приближенно равна

$$m \approx \sum_{i=1}^{n} \rho(\xi_i, \eta_i, \zeta_i)\,\Delta V_i.$$

Точное значение массы тела получается в пределе при стремлении к нулю диаметров всех частей V_i, $i = 1, 2, \dots, n$.

$$\cdots = \iint \cdots \left| \cdots \right| \cdots - \iint \cdots \cdots - \iint \cdots$$

$$\cdots$$

$$\cdots$$

$$\cdots = \iint \cdots \cdots = \iint \cdots \left| \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \right| \cdots - \int \left| \cdots \right| \cdots -$$

$$\int \cdots \left| \cdots \right| \cdots \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \int_{\cdots}^{\cdots} \left| \cdots \right| \cdots$$

$$= \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \cdots \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots$$

$$- \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \left| \int_{\cdots}^{\cdots} \cdots \right| \cdots$$

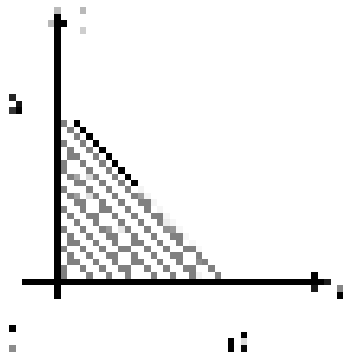
$$\cdots$$

Proof.

Since $\cdots$ is a continuous function on the compact set $\cdots$, it is uniformly continuous on $\cdots$.

Theorem.

$\cdots$ is a $\cdots$ matrix with $\cdots$ linearly independent columns. Then $\cdots$ has a unique $\cdots$ factorization $\cdots$ where $\cdots$ has orthonormal columns and $\cdots$ is an $\cdots$ upper triangular matrix with positive diagonal entries.



Solution. $f(x) = \frac{1}{x}$

4. Вычислить с приближением интеграл $\int_0^1 \frac{dx}{1+x^2}$ по формуле трапеций

Формула трапеций

Пусть функция $f(x)$ непрерывна на отрезке $[a,b]$. Разобьем отрезок $[a,b]$ на n равных частей точками $x_0 = a, x_1, x_2, \ldots, x_n = b$.

Площадь криволинейной трапеции, ограниченной графиком функции $f(x)$, осью Ox и прямыми $x = x_{i-1}$ и $x = x_i$, заменим площадью прямолинейной трапеции с основаниями $f(x_{i-1})$ и $f(x_i)$.

Площадь такой трапеции равна $\frac{f(x_{i-1}) + f(x_i)}{2} \cdot h$, где $h = \frac{b-a}{n}$ — шаг разбиения.

Суммируя площади всех n трапеций, получаем формулу трапеций:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx \left(\frac{f(x_0) + f(x_n)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + \ldots + f(x_{n-1}) \right) \cdot h$$

Оценка погрешности формулы трапеций: если $f''(x)$ непрерывна на $[a,b]$, то погрешность R_n удовлетворяет неравенству $|R_n| \le \frac{(b-a)^3}{12n^2} \max_{[a,b]} |f''(x)|$.

Для $f(x) = \frac{1}{1+x^2}$ на $[0,1]$ имеем $f''(x) = \frac{6x^2 - 2}{(1+x^2)^3}$, $|f''(x)| \le 2$ на $[0,1]$.

Чтобы погрешность была меньше $0{,}01$, достаточно взять n такое, что $\frac{1}{12n^2} \cdot 2 < 0{,}01$, то есть $n > \frac{1}{\sqrt{0{,}06}} \approx 4{,}08$.

Возьмем $n = 5$.

Решение.

Шаг разбиения: $h = \frac{1-0}{5} = 0{,}2$. Узлы: $x_0 = 0$, $x_1 = 0{,}2$, $x_2 = 0{,}4$, $x_3 = 0{,}6$, $x_4 = 0{,}8$, $x_5 = 1$.

Вычислим значения функции в узлах:

$$f(x_0) = 1, \quad f(x_1) = \frac{1}{1{,}04} \approx 0{,}9615, \quad f(x_2) = \frac{1}{1{,}16} \approx 0{,}8621,$$

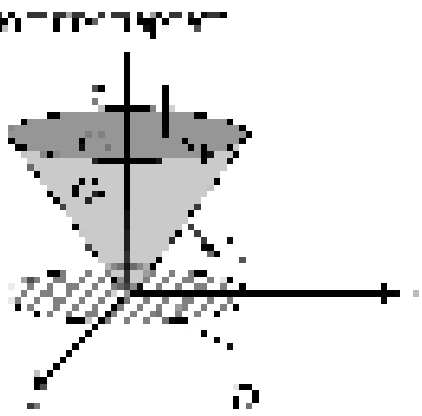
$$f(x_3) = \frac{1}{1{,}36} \approx 0{,}7353, \quad f(x_4) = \frac{1}{1{,}64} \approx 0{,}6098, \quad f(x_5) = \frac{1}{2} = 0{,}5.$$

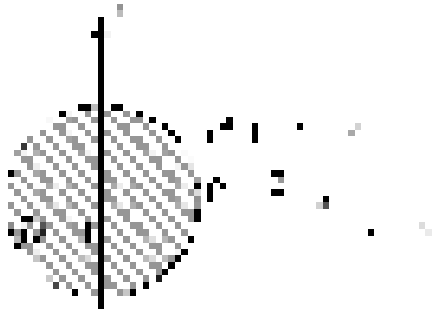
По формуле трапеций:

$$\int_0^1 \frac{dx}{1+x^2} \approx \left(\frac{1 + 0{,}5}{2} + 0{,}9615 + 0{,}8621 + 0{,}7353 + 0{,}6098 \right) \cdot 0{,}2 = (0{,}75 + 3{,}1687) \cdot 0{,}2 = 3{,}9187 \cdot 0{,}2 = 0{,}7837.$$

Точное значение: $\int_0^1 \frac{dx}{1+x^2} = \arctan 1 = \frac{\pi}{4} \approx 0{,}7854$.

Погрешность: $|0{,}7854 - 0{,}7837| = 0{,}0017 < 0{,}01$.





(2) – прототип (2).

4. Задачи, ведущие к понятию криволинейного интеграла

Сила, совершаемая

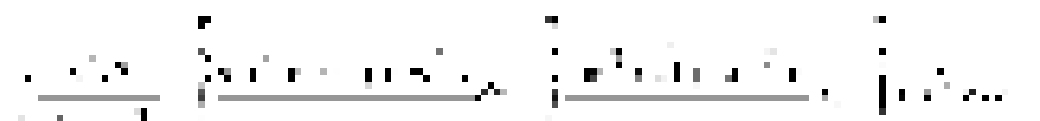
1. Пусть материальная точка M движется по некоторой кривой L под действием переменной силы $\vec{F}$, направление и величина которой в каждой точке кривой L известны.

2. Требуется вычислить работу, совершаемую силой $\vec{F}$ при перемещении материальной точки M вдоль кривой L из положения A в положение B.

3. Если кривая L – отрезок прямой, а сила $\vec{F}$ постоянна по величине и направлению, то работа A вычисляется по известной формуле

Решение

Для произвольной кривой L разобьем ее точками $A_0, A_1, \ldots, A_n$ на n частей. На каждом из полученных частичных участков $A_{i-1}A_i$ выберем произвольную точку $M_i(\xi_i, \eta_i)$ и вычислим в ней силу $\vec{F}(M_i)$. Будем считать, что на участке $A_{i-1}A_i$ сила $\vec{F}$ постоянна и равна $\vec{F}(M_i)$, а участок $A_{i-1}A_i$ – прямолинейный. Тогда работа A_i силы $\vec{F}$ на участке $A_{i-1}A_i$ приближенно равна



Работа A силы $\vec{F}$ на всей кривой L приближенно равна

[illegible]

$$\int_{[illegible]}^{[illegible]} \frac{[illegible]}{[illegible]} \, [illegible] \, dx = [illegible]$$

[illegible]

$$[illegible]$$

$$[illegible]$$

$$[illegible]$$

[illegible]

$$[illegible]$$

[illegible]

$$[illegible]$$

[illegible]

$$[illegible]$$

$$[illegible]$$

$$[illegible]$$

7. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Вариант 1

1. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(x-2)^n}{n \cdot 3^n}$.

Ответ: $[-1; 5)$.

2. Найти сумму ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{2^n}$. Указание: воспользоваться рядом

$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n}$.

Ответ: $y(x) = 2\ln(1-\frac{x}{2})$.

3. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' - 2y' + y = 0$.

Ответ: $y = (C_1 + C_2 x)e^x$.

4. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' - 2y' + y = \frac{e^x}{x}$.

Ответ: $y = (C_1 + C_2 x)e^x + xe^x \ln|x| - e^x$.

5. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' - 2y' + y = e^x \ln x$.

Ответ: $y = (C_1 + C_2 x)e^x + \frac{x^2}{2}e^x \ln|x| - \frac{3}{4}x^2 e^x$.

6. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + 4y = \sin 2x$.

Ответ: $y = C_1 \cos 2x + C_2 \sin 2x - \frac{x}{4}\cos 2x$.

7. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + 4y = \sin 2x + \cos 2x$.

Ответ: $y = C_1 \cos 2x + C_2 \sin 2x - \frac{x}{4}\cos 2x + \frac{x}{4}\sin 2x$.

8. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + 4y = \sin 2x + \cos 2x + x$.

Ответ: $y = C_1 \cos 2x + C_2 \sin 2x - \frac{x}{4}\cos 2x + \frac{x}{4}\sin 2x + \frac{x}{4}$.

Вариант 2

1. Вычислить производную функции $y = \dfrac{\ln x}{x^2}$ в точке $x = 1$.

Ответ: 1

2. Найти наименьшее значение функции $y = \dfrac{x^2 + 81}{x}$ на отрезке $[1; 10]$.

Ответ: 18

3. Найти наибольшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[-1; 1]$.

Ответ: 2

4. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[1; 3]$.

Ответ: -2

5. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[-1; 3]$.

Ответ: -2

6. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[-1; 0]$.

Ответ: -2

7. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[0; 3]$.

Ответ: -2

8. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[-1; 2]$.

Ответ: -2

9. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[0; 2]$.

Ответ: -2

10. Найти наименьшее значение функции $y = x^3 - 3x^2 + 2$ на отрезке $[-1; 1]$.

Ответ: -2

Вариант 7

1. Дана окружность с центром в точке O и точка A, не принадлежащая ей. Постройте касательную к окружности, проходящую через точку A.

Ответ: $\frac{\pi}{6}$.

2. Дана окружность с центром в точке O и точка A, не принадлежащая ей. Постройте касательную к окружности, проходящую через точку A.

Ответ: 6 вариантов.

Решение. Пусть окружность задана уравнением $x^2 + y^2 = 1$, а точка A имеет координаты $(2, 0)$.

Ответ: $\frac{\pi}{3}$.

3. Дана окружность с центром в точке O и точка A, не принадлежащая ей. Постройте касательную к окружности, проходящую через точку A.

Ответ: $\frac{\pi}{4}$.

4. Дана окружность с центром в точке O и точка A, не принадлежащая ей. Постройте касательную к окружности, проходящую через точку A.

Ответ: $\left(\frac{\pi}{3}; \frac{5\pi}{6}\right]$.

5. Дана окружность с центром в точке O и точка A, не принадлежащая ей. Постройте касательную к окружности, проходящую через точку A.

Ответ: $\frac{\pi}{3}$, $\frac{2\pi}{3}$, $\frac{4\pi}{3}$, $\frac{5\pi}{3}$.

Вариант 4

1. Найти определенный интеграл, используя формулу Ньютона-Лейбница

Ответ: $\left(\frac{1}{3}\frac{\pi}{2}\right)$

Вычислить несобственный интеграл или доказать его расходимость

Ответ: $\left(\frac{\pi}{2}\right)$

Найти площадь фигуры, ограниченной $\left\{\begin{array}{l} \\ \end{array}\right.$

Ответ:

Найти объем тела, образованного вращением вокруг оси Ox фигуры, ограниченной линиями $y=\sin x$, $y=0$, $x=0$, $x=\pi$.

Ответ: $\left(\frac{\pi^2}{2}\right)$

Найти площадь фигуры, ограниченной линией, заданной в полярных координатах уравнением $r=\varphi$, $0\le\varphi\le\frac{3}{4}$.

Ответ: $\left(\frac{9}{32}\right)$.

Найти длину дуги кривой, заданной параметрическими уравнениями $x=t^2$, $y=t^3$, $0\le t\le 1$.

Ответ: $\left(\frac{13\sqrt{13}-8}{27}\right)$.

Вариант 5

1. [illegible]

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

3. [illegible]

[illegible]

4. [illegible]

[illegible]

5. [illegible]

[illegible]

6. [illegible]

[illegible]

7. [illegible]

[illegible]

Вариант 6

Пусть $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n$ — выборка из распределения $N(\mu, \sigma^2)$, где μ и σ^2 — неизвестные параметры.

Дано: $n = 25$,

Найти доверительный интервал для μ с надежностью $\gamma = 0{,}95$.

Решение.

Доверительный интервал для μ при неизвестной σ строится с использованием распределения Стьюдента.

Вычислим $\bar{x}$:

Вычислим s^2:

Найдем t_{γ} из таблицы распределения Стьюдента с $k = n - 1$ степенями свободы:

Доверительный интервал имеет вид:

Вычислим $\sqrt{n}$:

Вычислим $t_{\gamma} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$:

Таким образом, доверительный интервал для μ с надежностью $\gamma = 0{,}95$:

Ответ:

Найдем $\chi^2_{\alpha/2}$ и $\chi^2_{1-\alpha/2}$ из таблицы распределения χ^2 с $k = n - 1$ степенями свободы:

Доверительный интервал для σ^2 с надежностью $\gamma = 0{,}95$:

Вычислим $(n-1)s^2$:

Вычислим границы интервала:

Таким образом, доверительный интервал для σ^2:

Вариант 3

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Вариант

1. Вычислите координаты вектора $\vec{c} = \frac{1}{2}\vec{a} + \vec{b}$, если

$\vec{a}(-4; 2; 0)$, $\vec{b}(1; 0; -3)$.

2. Вычислите координаты точки, симметричной точке $A(-2; 1; 3)$ относительно начала координат.

Ответ: $(2; -1; -3)$.

3. Найдите координаты вектора $\vec{a}$, если $\vec{a} = \vec{i} - 2\vec{j} + 3\vec{k}$.

Ответ: $(1; -2; 3)$.

4. Даны векторы $\vec{a}(-1; 2; 3)$ и $\vec{b}(2; 1; -1)$. Найдите координаты вектора $\vec{c}$, если $\vec{c} = 2\vec{a} - \vec{b}$.

Ответ: $(-4; 3; 7)$.

5. Даны векторы $\vec{a}(-1; 2; 3)$ и $\vec{b}(2; 1; -1)$. Найдите координаты вектора $\vec{c}$, если $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$.

Ответ: $(1; 3; 2)$.

6. Вычислите скалярное произведение векторов $\vec{a}(-1; 2; 3)$ и $\vec{b}(2; 1; -1)$.

Ответ: -3.

7. Вычислите длину вектора $\vec{a}(-1; 2; 3)$.

Ответ: $\sqrt{14}$.

8. Даны векторы $\vec{a}(-1; 2; 3)$ и $\vec{b}(2; 1; -1)$. Найдите координаты вектора $\vec{c}$, если $\vec{c} = \vec{a} \cdot \vec{b}$.

Ответ: -3.

9. Даны векторы $\vec{a}(-1; 2; 3)$ и $\vec{b}(2; 1; -1)$. Найдите координаты вектора $\vec{c}$, если $\vec{c} = [\vec{a}, \vec{b}]$.

Ответ: $(-5; 5; -5)$.

Вариант 5

1. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

4. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Вариант 1

1. [illegible]

2. [illegible]

3. [illegible]

4. [illegible]

5. [illegible]

6. [illegible]

7. [illegible]

8. [illegible]

9. [illegible]

10. [illegible]

Вариант 1

1. Вычислить массу однородного круглого цилиндрического стержня $x = \frac{3}{5}\sqrt{25-y^2}$, $y = 2x$, если плотность вещества, из которого он изготовлен, равна γ.

Ответ: $\frac{\gamma\pi}{10}$.

2. Найти момент инерции однородного круглого конуса относительно оси, проходящей через его вершину параллельно основанию.

Ответ: $\frac{3Mr^2}{10}$.

3. Вычислить координаты центра масс однородного полушара $x^2+y^2+z^2 \le R^2$, $z \ge 0$.

Ответ: $(0,0,\frac{3}{8}R)$.

4. Найти работу силы $\vec{F} = (x+y)\vec{i} + (x-y)\vec{j}$ при перемещении точки приложения силы вдоль отрезка прямой, соединяющей точки $A(1,1)$ и $B(2,3)$.

Ответ: $A = \int_1^2 (x+y)\,dx + \int_1^3 (x-y)\,dy$.

5. Найти количество тепла, выделяемое за единицу времени электрическим током в проводнике, имеющем форму конуса.

Ответ: $\frac{\pi r^2 h}{6}$.

6. Найти координаты центра тяжести однородной пластинки, ограниченной кривой $y = \sin x$ и осью Ox.

Ответ: $(\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{8})$.

7. Вычислить момент инерции однородного круглого цилиндра относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно оси цилиндра.

Ответ: $\frac{m}{12}(3R^2+h^2)$.

Вариант 2

[illegible]

Ответ: $\left(\frac{\pi}{2}\right)$

[illegible]

Ответ: [illegible]

[illegible]

Ответ: $\frac{\pi}{3}$

[illegible]

Ответ: $\frac{\ln 2}{3}$

[illegible]

Ответ: $\frac{\pi}{3}$

[illegible]

Ответ: [illegible]

Вариант 3

1. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[

Вариант 4

1. Найти все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\log_{x+a}(x^2+2x+a^2)=2$ имеет ровно два различных корня.

Решение. $a>-1$

2. Найти все пары чисел $(x;y)$, удовлетворяющие системе $\begin{cases} x^2+y^2+2xy+x+y=\frac{3}{4}, \\ \sqrt{x+y}+\sqrt{x-y}=1. \end{cases}$

Ответ: $\left(\frac{1}{4};0\right)$

3. Найти все значения параметра a, при каждом из которых наименьшее значение функции $f(x)=x^2+ax+\frac{a}{x}$ на промежутке $(0;+\infty)$ больше $-\frac{1}{2}$.

Ответ: $a\in\left(-\frac{1}{2};\frac{1}{2}\right)$

4. Найти все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\sqrt{x^2+2x+a}=x+a$ имеет ровно два различных корня.

Ответ: $a\in\left[0;\frac{1}{4}\right)$

5. Найти все пары чисел $(x;y)$, удовлетворяющие системе $\begin{cases} x^2+y^2+2xy+x+y=\frac{3}{4}, \\ \sqrt{x+y}+\sqrt{x-y}=1. \end{cases}$

Ответ: $\left(\frac{1}{4};0\right)$

6. Найти все значения параметра a, при каждом из которых наименьшее значение функции $f(x)=x^2+ax+\frac{a}{x}$ на промежутке $(0;+\infty)$ больше $-\frac{1}{2}$.

Ответ: $a\in\left(-\frac{1}{2};\frac{1}{2}\right)$

Вариант 5

1. [illegible]

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

3. [illegible]

[illegible]

4. [illegible]

[illegible]

5. [illegible]

[illegible]

6. [illegible]

[illegible]

7. [illegible]

[illegible]

Вариант 2

1. Найти предел $\lim\limits_{x \to \infty} \left(\frac{x+5}{x-3}\right)^{x+1}$.

2. Найти производную $y = \frac{\sqrt{x}}{x^2}$.

3. Найти интеграл $\int \frac{dx}{\sqrt{x}}$.

4. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями $y = \frac{x^2}{4}$, $y = 0$, $x = 2$.

5. Найти предел $\lim\limits_{x \to 0} \frac{\sin 3x}{x}$.

6. Найти производную $y = \frac{x}{\sqrt{x}}$.

7. Найти интеграл $\int \frac{dx}{x}$.

8. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями $y = x^2$, $y = 0$, $x = 1$.

9. Найти предел $\lim\limits_{x \to \infty} \left(\frac{x+1}{x-1}\right)^{x}$.

10. Найти производную $y = \frac{x^2}{\sqrt{x}}$.

11. Найти интеграл $\int \frac{dx}{x^2}$.

12. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями $y = x^2$, $y = 0$, $x = 2$.

Вариант 7

1. Дана функция $f(x) = \ln(x^2 - 1)$. Найдите область определения функции $f(x)$.

Решение.

Область определения:

Найдите значение выражения $\sqrt{\log_3 81}$.

Решение.

2. Дана функция $f(x) = \frac{x-2}{x+2}$. Найдите $f(f(x))$.

Решение.

Ответ:

3. Найдите $\log_2 \frac{1}{8}$.

Решение.

Ответ:

4. Найдите $\sqrt{(-4)^2 \cdot 7}$.

Решение.

Ответ:

Вариант 1

1. Найдите площадь фигуры, ограниченной графиком функции $y = \frac{x^2}{x^2 - 1}$

2. Найдите наименьшее значение функции $y = \left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right|$

3. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно два различных корня.

4. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно три различных корня.

5. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно четыре различных корня.

6. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно пять различных корней.

7. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно шесть различных корней.

8. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно семь различных корней.

9. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно восемь различных корней.

10. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно девять различных корней.

11. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно десять различных корней.

12. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно одиннадцать различных корней.

13. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно двенадцать различных корней.

14. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно тринадцать различных корней.

15. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно четырнадцать различных корней.

16. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно пятнадцать различных корней.

17. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно шестнадцать различных корней.

18. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно семнадцать различных корней.

19. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно восемнадцать различных корней.

20. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно девятнадцать различных корней.

21. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно двадцать различных корней.

22. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно двадцать один различных корней.

23. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно двадцать два различных корня.

24. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно двадцать три различных корня.

25. Найдите все значения параметра a, при каждом из которых уравнение $\left| \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} \right| = a$ имеет ровно двадцать четыре различных корня.

Вариант 7

1. Найти производную функции $y = \frac{x^2}{2} + \frac{2}{x^2}$ в точке $x_0 = 1$.

Решение:

$$y' = x - \frac{4}{x^3}$$

2. Найти вторую производную функции $y = \frac{3x+4}{x^2+1}$.

Решение:

$$y' = \frac{3(x^2+1) - (3x+4)\cdot 2x}{(x^2+1)^2} = \frac{3x^2+3-6x^2-8x}{(x^2+1)^2} = \frac{-3x^2-8x+3}{(x^2+1)^2}$$

$$y'' = \frac{(-6x-8)(x^2+1)^2 - (-3x^2-8x+3)\cdot 2(x^2+1)\cdot 2x}{(x^2+1)^4}$$

3. Найти производную функции $y = \sqrt{x}$.

Решение:

$$y' = \frac{1}{2\sqrt{x}}.$$

4. Найти работу, которую надо совершить при выкачивании воды из цилиндрического резервуара высотой $H = 1$ м, радиусом основания $R = 1$ м, если плотность воды $\rho = 1000$ кг/м^3, а ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

Решение:

$$A = \rho g \pi R^2 \int_0^H (H - x)\,dx = \rho g \pi R^2 \left(Hx - \frac{x^2}{2}\right)\Big|_0^H = \frac{\rho g \pi R^2 H^2}{2}$$

5. Вычислить площадь фигуры, ограниченной параболой $y = x^2 + 1$, касательной к ней в точке $x_0 = 2$ и осью Oy.

Решение:

$$y' = 2x, \quad y'(2) = 4.$$

Уравнение касательной: $y = 4x - 3$. Площадь фигуры равна $\frac{1}{3}$.

Решение:

$$S = \int_0^2 (x^2 + 1 - (4x - 3))\,dx = \int_0^2 (x^2 - 4x + 4)\,dx = \frac{(x-2)^3}{3}\Big|_0^2 = \frac{8}{3}$$

6. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями $y = \frac{x^2}{2}$, $y = 2$, $y = \frac{x^2}{8}$.

Решение:

$$S = \int_0^4 \left(2 - \frac{x^2}{8}\right)dx - \int_0^4 \frac{x^2}{2}\,dx = \left(2x - \frac{x^3}{24}\right)\Big|_0^4 - \frac{x^3}{6}\Big|_0^4 = \frac{16}{3}$$

Вариант 2

1. Найти множество значений функции $y = \frac{x^2 + 1}{x^2 - 1}$.

Решение: $y \neq 1$

2. Решить неравенство $\log_{\frac{1}{2}}(x^2 - 3x + 2) \geq -1$.

Решение: $x \in (-\infty; 1) \cup [3; +\infty)$.

3. Найти все значения параметра a, при которых уравнение $x^2 - 2ax + a^2 - 1 = 0$ имеет два различных положительных корня.

Решение: $a > 1$.

4. Найти наименьшее значение функции $y = \sqrt{x^2 - 4x + 5}$ на отрезке $[0; 3]$.

Решение: $y = 1$

5. Решить уравнение $\sin x + \cos x = \sqrt{2}$.

Решение: $x = \frac{\pi}{4} + 2\pi n, n \in \mathbb{Z}$.

Вариант 21

1. [illegible] $\frac{x^2}{x^2}$ [illegible]

[illegible] $\frac{x^2}{x}$.

[illegible]

[illegible] $\frac{x-1}{x}$

[illegible]

[illegible] $\int_0^x$

[illegible] $\int \frac{x^2}{x}$ [illegible]

[illegible] $\frac{x^2}{x}$.

[illegible] $\int_0^x$

[illegible] $\int \sqrt{x^2+x}$ [illegible]

[illegible] $\int_0^x$

[illegible]

[illegible] $\int_0^x$

Вариант 21

1. [illegible]

[illegible] $\frac{x^2}{2}$

[illegible]

Ответ: $\frac{\pi r \cdot \ldots}{4}$.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Ответ: $\frac{5}{2}$.

[illegible]

Ответ: $\frac{\ldots}{4}$

[illegible]

Ответ: [illegible]

Вариант 2

1. [illegible]

Решение:

2. [illegible]

Решение:

[illegible]

[illegible]

Ответ:

[illegible]

Ответ:

[illegible]

Ответ:

[illegible]

Ответ:

Вариант 24

1. Найдите область определения функции $y = \sqrt{\log_{\frac{1}{3}}(x-1)}$.

Ответ: $(1;2]$.

2. Найдите значение выражения $\left(\frac{1}{2}\right)^{-3} \cdot 2^{-4}$.

Ответ: $\frac{1}{2}$.

3. Решите уравнение $\log_{\frac{1}{3}}(x^2 - 2x) = \log_{\frac{1}{3}}(x^2 + 3x - 10)$.

Ответ: 2.

4. Найдите $\sin\alpha$, если $\cos\alpha = -\frac{1}{2}$ и $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$.

Ответ: $\frac{\sqrt{3}}{2}$.

5. Найдите $\log_{\frac{1}{3}} 81$.

Ответ: -4.

6. Найдите $\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$, если $\sin\alpha = \frac{1}{3}$.

Ответ: $\frac{1}{3}$.

7. Найдите $\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$, если $\cos\alpha = \frac{1}{3}$.

Ответ: $\frac{1}{3}$.

Вариант 25

1. [illegible]

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

3. [illegible]

[illegible]

[illegible]

4. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Вариант 2.

1. [illegible]

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

[illegible]

[

Вариант 27

1. [illegible]

[illegible]

2. [illegible]

[illegible]

3. [illegible]

[illegible]

4. [illegible]

[illegible]

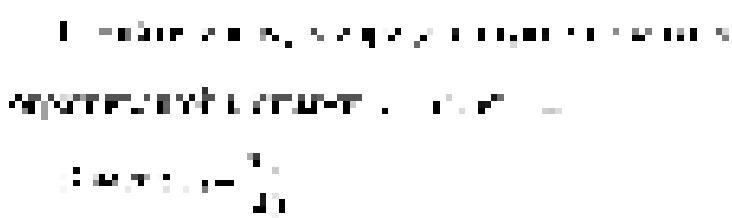
5. [illegible]

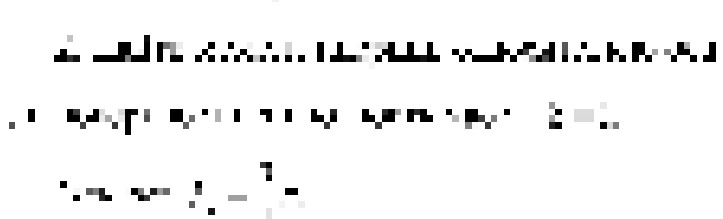
[illegible]

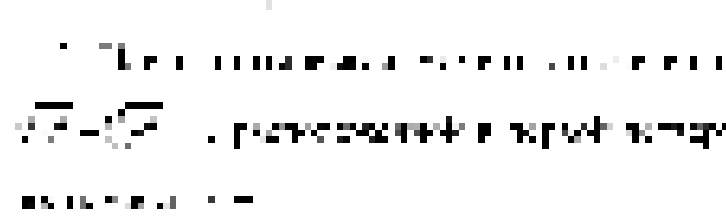
6. [illegible]

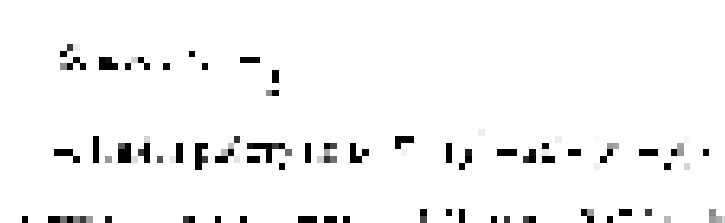
[illegible]

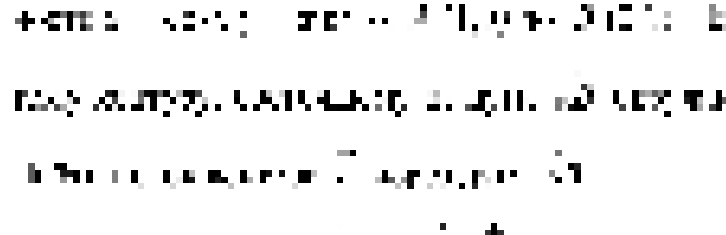
Вариант 21

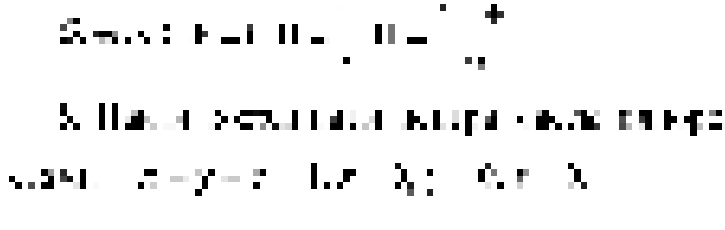


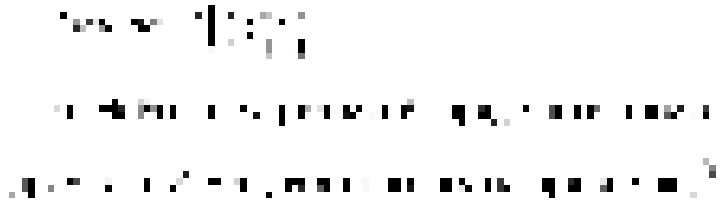


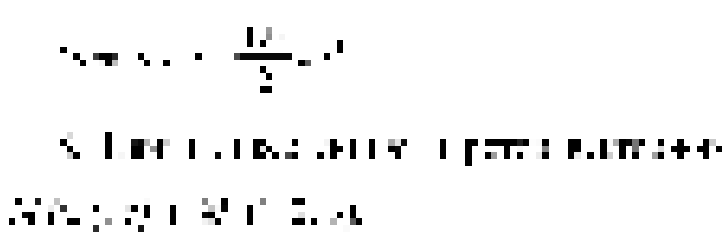


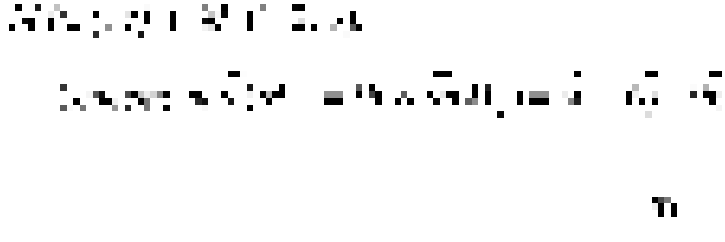












Вариант 2г

1. Найти частное решение дифференциального уравнения $y'' + y' - 6y = 0$, удовлетворяющее начальным условиям $y(0) = 1$, $y'(0) = -1$.

Ответ: $y = \frac{3}{5}e^{2x} + \frac{2}{5}e^{-3x}$

2. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + 4y = 0$.

Ответ: $y = C_1 \cos 2x + C_2 \sin 2x$

3. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' - 2y' + y = \frac{e^x}{x}$, используя метод вариации произвольных постоянных.

Ответ: $y = (C_1 + \ln|x|)e^x + C_2 x e^x$

4. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + y = \operatorname{tg} x$.

Ответ: $y = C_1 \cos x + C_2 \sin x - \cos x \ln|\cos x| - x \sin x$

5. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + 2y' + y = e^{-x}\ln x$.

Ответ: $y = (C_1 + C_2 x)e^{-x} + \frac{x^2}{2}e^{-x}\ln x - \frac{3x^2}{4}e^{-x}$

6. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + 4y = \frac{2}{\sin 2x}$.

Ответ: $y = C_1 \cos 2x + C_2 \sin 2x + \frac{x}{2}\sin 2x + \frac{1}{2}\cos 2x \ln|\sin 2x|$

7. Найти общее решение дифференциального уравнения $y'' + y = \frac{1}{\cos x}$.

Ответ: $y = C_1 \cos x + C_2 \sin x + x \sin x + \cos x \ln|\cos x|$

Вариант 3

1. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^2}$.

2. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n!}$.

3. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n}$.

4. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^n}$.

5. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^{n^2}}$.

6. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^{n^n}}$.

7. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^{n^{n^2}}}$.

8. Найти область сходимости степенного ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^{n^{n^n}}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный
университет»

Д. В. Исламгалиев
Г. Б. Петровских, В. В. Пятков

МАТРИЦЫ. ОПРЕДЕЛИТЕЛИ. СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Методические указания
и варианты контрольных
самостоятельных работ
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей
очного обучения

Екатеринбург

2014

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. МАТЕРИАЛЫ 5

1.1. Состояние вопроса 5

1.2. Постановка задачи 8

1.3. Обработка материала 11

1.4. Методы исследования 14

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ 17

2.1. Анализ [illegible] 18

2.2. Анализ [illegible] 23

2.3. Анализ [illegible] 27

2.4. Анализ [illegible] 33

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 39

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 41

Матрицы

Матрица — математическая модель, представляющая собой прямоугольную таблицу элементов кольца, поля или группы, которая определяет линейное отображение между конечными векторными пространствами, фиксированными базисами.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \qquad (1)$$

Часто матрицу называют таблицу чисел, символов или выражений, элементы которой подразумеваются для данной задачи. Например, матрица A размера $m \times n$:

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix},$$

где a_{ij} — элемент матрицы, расположенный на пересечении i-й строки и j-го столбца.

$$B = \begin{pmatrix} 4 & 1 & -2 \\ 0 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

Если матрица состоит из одной строки, то она называется матрицей-строкой или вектором-строкой. Если матрица состоит из одного столбца, то она называется матрицей-столбцом или вектором-столбцом.

Матрица, у которой число строк равно числу столбцов, называется квадратной матрицей. Элементы $a_{11}, a_{22}, \ldots, a_{nn}$ образуют главную диагональ.

1.1. ДЕЙСТВИЯ НАД МАТРИЦАМИ

Основные теоремы

Для всех матриц A, B, C и чисел α, β справедливы следующие свойства:

$$A + B = B + A, \qquad (A + B) + C = A + (B + C),$$

$$\alpha(A + B) = \alpha A + \alpha B, \qquad (\alpha + \beta)A = \alpha A + \beta A,$$

$$\alpha(\beta A) = (\alpha\beta)A, \qquad (AB)C = A(BC),$$

$$A(B + C) = AB + AC, \qquad (A + B)C = AC + BC.$$

Пример 1.1. Даны матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & -1 & 4 \end{pmatrix}, \qquad B = \begin{pmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 5 & 3 & 2 \end{pmatrix}.$$

Найти $3A - 2B$.

$$3A = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 9 \\ 0 & -3 & 12 \end{pmatrix}, \qquad 2B = \begin{pmatrix} 4 & 0 & -2 \\ 10 & 6 & 4 \end{pmatrix}$$

Умножение матриц на матрицы

Для того чтобы можно было перемножить матрицу A на матрицу B, необходимо, чтобы число столбцов матрицы A было равно числу строк матрицы B.

$$C = AB = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} \end{pmatrix} \qquad (1.1)$$

Пример 2. Дана матрица $A = \begin{pmatrix} 4 & 2 & -3 \\ 5 & 3 & -4 \\ 3 & 2 & -2 \end{pmatrix}$. Найти матрицу A^{-1}.

Решение:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A}\begin{pmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} \\ A_{12} & A_{22} & A_{32} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} \end{pmatrix}.$$

Умножение матриц

Произведением матрицы A размера $m \times n$ на матрицу B размера $n \times k$ называется матрица C размера $m \times k$, элементы которой вычисляются по правилу: $c_{ij} = \sum_{r=1}^{n} a_{ir} b_{rj}$, где $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, k$.

Другими словами, элемент, стоящий в i-й строке и j-м столбце произведения, равен сумме произведений элементов i-й строки матрицы A на соответствующие элементы j-го столбца матрицы B:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1k} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1k} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mk} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Пример 3. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 3 & 0 & -1 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 3 \\ 0 & 4 \end{pmatrix}$. Найти их произведение AB и BA, если оно существует.

Решение:

$$AB = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 3 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 3 \\ 0 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \cdot 2 + 2 \cdot (-1) + 1 \cdot 0 & 1 \cdot 1 + 2 \cdot 3 + 1 \cdot 4 \\ 3 \cdot 2 + 0 \cdot (-1) + (-1) \cdot 0 & 3 \cdot 1 + 0 \cdot 3 + (-1) \cdot 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 11 \\ 6 & -1 \end{pmatrix}$$

$$BA = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 3 \\ 0 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 3 & 0 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \cdot 1 + 1 \cdot 3 & 2 \cdot 2 + 1 \cdot 0 & 2 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) \\ (-1) \cdot 1 + 3 \cdot 3 & (-1) \cdot 2 + 3 \cdot 0 & (-1) \cdot 1 + 3 \cdot (-1) \\ 0 \cdot 1 + 4 \cdot 3 & 0 \cdot 2 + 4 \cdot 0 & 0 \cdot 1 + 4 \cdot (-1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 8 & -2 & -4 \\ 12 & 0 & -4 \end{pmatrix}$$

Отметим, что произведение матриц некоммутативно, то есть $AB \neq BA$ в общем случае.

Транспонированная матрица

Транспонированная матрица – матрица, полученная из данной заменой строк на столбцы с сохранением их номеров.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix} \quad A^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \\ a_{13} & a_{23} \end{pmatrix} \qquad (1.4)$$

Пример 1.4. Найти транспонированную матрицу, если $A = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ -1 & 5 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$.

Решение:

$$A^T = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ 3 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

1.2. ОПРЕДЕЛИТЕЛИ

Определитель – это числовая характеристика квадратной матрицы. Существует несколько способов его вычисления.

Вычисление определителя второго порядка

Определителем матрицы второго порядка, соответствующим матрице A, называется число Δ_{11}

$$\det A = \Delta_{11} \qquad (1.5)$$

Определитель третьего порядка

Определителем матрицы третьего порядка, соответствующим матрице A, называется число, вычисляемое по формуле

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} a_{13} - a_{23} \Delta_{13} \qquad (1.7)$$

[illegible]

Пример 1.5. Вычислить определитель матрицы $\begin{vmatrix} [illegible] \end{vmatrix}$.

Решение.

$$[illegible]$$

Пример 1.6. Вычислить определитель матрицы $\begin{vmatrix} [illegible] \end{vmatrix}$.

Решение.

$$\Delta = [illegible] = [illegible].$$

Вычисление определителя разложением

Разложение определителя по элементам строки:

$$[illegible]$$

Определитель треугольной матрицы равен произведению элементов, стоящих на главной диагонали.

Разложение определителя по i-й строке, определение минора M_{ij}:

$$[illegible]$$

Определение алгебраического дополнения A_{ij}.

Определение определителя матрицы n-го порядка, $n \geq 2$.

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = \sum_{(j_1,\dots,j_n)} (-1)^{\tau(j_1,\dots,j_n)} a_{1j_1} a_{2j_2} \dots a_{nj_n},$$

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = \sum_{(j_1,\dots,j_n)} (-1)^{\tau(j_1,\dots,j_n)} a_{j_1 1} a_{j_2 2} \dots a_{j_n n}.$$

где $\tau(j_1, \dots, j_n)$ — число инверсий в перестановке $(j_1, \dots, j_n)$.

Эти определения равносильны, поскольку каждое произведение вида $a_{1j_1} a_{2j_2} \dots a_{nj_n}$ встречается в обеих суммах ровно один раз.

Теорема 1.1. Определитель треугольной матрицы равен произведению её диагональных элементов:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 0 & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = a_{11} a_{22} \dots a_{nn}.$$

Доказательство. Рассмотрим произведение $a_{1j_1} a_{2j_2} \dots a_{nj_n}$. Если $j_1 \neq 1$, то $a_{1j_1} = 0$. Если $j_1 = 1$, но $j_2 \neq 2$, то $a_{2j_2} = 0$. Продолжая, получаем, что единственное ненулевое произведение соответствует перестановке $(1, 2, \dots, n)$, для которой $\tau = 0$. Следовательно, $\det A = a_{11} a_{22} \dots a_{nn}$.

Теорема 1.2. Определитель транспонированной матрицы равен определителю исходной матрицы:

$$\det A^T = \det A.$$

Доказательство. Пусть $A^T = (b_{ij})$, где $b_{ij} = a_{ji}$. Тогда

$$\det A^T = \sum_{(j_1,\dots,j_n)} (-1)^{\tau(j_1,\dots,j_n)} b_{1j_1} b_{2j_2} \dots b_{nj_n} = \sum_{(j_1,\dots,j_n)} (-1)^{\tau(j_1,\dots,j_n)} a_{j_1 1} a_{j_2 2} \dots a_{j_n n}.$$

Перестановка $(j_1, \dots, j_n)$ однозначно задаётся набором чисел $(1, 2, \dots, n)$, переставленных в порядке $(k_1, \dots, k_n)$, где $k_{j_i} = i$. Инверсии в $(j_1, \dots, j_n)$ и $(k_1, \dots, k_n)$ совпадают, поэтому $\tau(j_1, \dots, j_n) = \tau(k_1, \dots, k_n)$. Переходя к суммированию по $(k_1, \dots, k_n)$, получаем $\det A$.

Теорема 1.3. При перестановке двух строк определитель меняет знак.

Доказательство. Пусть матрица B получена из A перестановкой строк с номерами p и q, $p < q$. Тогда $b_{ij} = a_{ij}$ при $i \neq p, q$, $b_{pj} = a_{qj}$, $b_{qj} = a_{pj}$. Для произведения $b_{1j_1} \dots b_{nj_n}$ рассмотрим транспозицию σ, меняющую местами j_p и j_q. Тогда $\tau(j_1, \dots, j_p, \dots, j_q, \dots, j_n) = \tau(j_1, \dots, j_q, \dots, j_p, \dots, j_n) + (-1)^{q-p}$, откуда $\det B = -\det A$.

Следствие. Если две строки матрицы совпадают, то её определитель равен нулю.

Доказательство. При перестановке этих строк матрица не изменится, а определитель изменит знак. Следовательно, $\det A = -\det A$, откуда $\det A = 0$.

Теорема 1.4. Определитель линейно зависит от каждой строки:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \lambda a_{i1} + \mu b_{i1} & \dots & \lambda a_{in} + \mu b_{in} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = \lambda \begin{vmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} + \mu \begin{vmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & \dots & b_{in} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

Доказательство. Каждое произведение $a_{1j_1} \dots (\lambda a_{ij_i} + \mu b_{ij_i}) \dots a_{nj_n}$ раскладывается в сумму $\lambda a_{1j_1} \dots a_{ij_i} \dots a_{nj_n} + \mu a_{1j_1} \dots b_{ij_i} \dots a_{nj_n}$. Суммируя по всем перестановкам, получаем требуемое.

Следствие. Если строка матрицы состоит из нулей, то её определитель равен нулю.

Теорема 1.5. Определитель не изменится, если к одной строке прибавить другую, умноженную на число.

Доказательство. Пусть к i-й строке прибавляется j-я, умноженная на λ, $i \neq j$. По теореме 1.4 определитель равен сумме исходного определителя и определителя с двумя одинаковыми строками. Последний равен нулю по следствию теоремы 1.3.

Теорема 1.6. Для любых квадратных матриц A и B одного порядка $\det(AB) = \det A \cdot \det B$.

Доказательство. Пусть $C = AB$, $c_{ij} = \sum_k a_{ik} b_{kj}$. Тогда

$$\det C = \sum_{(j_1,\dots,j_n)} (-1)^{\tau(j_1,\dots,j_n)} \sum_{k_1} a_{1k_1} b_{k_1 j_1} \dots \sum_{k_n} a_{nk_n} b_{k_n j_n} =$$

$$= \sum_{(k_1,\dots,k_n)} a_{1k_1} \dots a_{nk_n} \sum_{(j_1,\dots,j_n)} (-1)^{\tau(j_1,\dots,j_n)} b_{k_1 j_1} \dots b_{k_n j_n} =$$

$$= \det A \cdot \det B.$$

$$\det\begin{vmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{vmatrix} = \qquad \det\begin{vmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{vmatrix} =$$

Пример 1.5. Вычислить определитель

$$\begin{vmatrix} 2 & 1 & 5 \\ 3 & 7 & 0 \\ 1 & 4 & 0 \end{vmatrix}.$$

Решение. Так как элементы третьего столбца содержат два нуля, то разложим определитель по элементам третьего столбца:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 5 \\ 3 & 7 & 0 \\ 1 & 4 & 0 \end{vmatrix} = \qquad \Delta = \qquad .$$

1.5. ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

Рассмотрим квадратную матрицу A порядка n. Квадратная матрица A^{-1} называется обратной к матрице A, если выполняется равенство

$$A^{-1} = \qquad \det A \neq 0, \qquad (1.5)$$

где E — единичная матрица того же порядка, что и A.

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{pmatrix}, \quad \det A = \qquad \neq 0,$$

A_{ij} — алгебраическое дополнение элемента a_{ij} матрицы A.

Для нахождения матрицы, обратной данной, используется формула

$$A^{-1} = \qquad . \qquad (1.6)$$

1.4. РАНГ МАТРИЦЫ

Рассмотрим матрицу размерности $m \times n$:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Выделим в ней произвольным образом k строк и k столбцов. Элементы, стоящие на пересечении выделенных строк и столбцов, образуют квадратную матрицу k-го порядка.

Определение. Определитель матрицы k-го порядка, составленной из элементов матрицы A, расположенных на пересечении k произвольно выбранных строк и k произвольно выбранных столбцов, называется минором k-го порядка матрицы A.

Например, для матрицы $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$ миноры второго порядка:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 5 \end{vmatrix} = 5 - 8 = -3, \quad \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 4 & 6 \end{vmatrix} = 6 - 12 = -6, \quad \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 6 \end{vmatrix} = 12 - 15 = -3,$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 7 & 8 \end{vmatrix} = 8 - 14 = -6, \quad \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 7 & 9 \end{vmatrix} = 9 - 21 = -12, \quad \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 8 & 9 \end{vmatrix} = 18 - 24 = -6,$$

$$\begin{vmatrix} 4 & 5 \\ 7 & 8 \end{vmatrix} = 32 - 35 = -3, \quad \begin{vmatrix} 4 & 6 \\ 7 & 9 \end{vmatrix} = 36 - 42 = -6, \quad \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ 8 & 9 \end{vmatrix} = 45 - 48 = -3.$$

Миноры третьего порядка: $\det A = 45 + 84 + 96 - 105 - 96 - 72 = 0$.

1. Вычисление ранга матрицы методом окаймляющих миноров

Этот метод основан на утверждении: если все миноры k-го порядка матрицы A равны нулю, то равны нулю и все миноры $(k+1)$-го порядка.

$$\begin{vmatrix} \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{vmatrix} \qquad (2.1)$$

где a_{ij} – коэффициенты системы, x_j – неизвестные, b_i – свободные члены, m – количество уравнений, n – количество неизвестных.

Систему (2.2) можно записать в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdots \\ b_m \end{pmatrix} \quad \text{или} \quad AX = B, \qquad (2.3)$$

где $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$ – матрица системы, $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdots \\ x_n \end{pmatrix}$ – матрица-столбец неизвестных,

$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdots \\ b_m \end{pmatrix}$ – матрица-столбец свободных членов.

Расширенной матрицей системы называется матрица вида:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} & b_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} & b_m \end{pmatrix} \qquad (2.4)$$

Система уравнений называется совместной, если она имеет хотя бы одно решение. Система называется

Теорема 2.1. Если $\{X_n\}$ — последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин, имеющих конечное математическое ожидание a, то

Пример 2.1. Пусть $\{X_n\}$ — последовательность независимых случайных величин, каждая из которых принимает значения ± 1 с вероятностью $1/2$. Тогда $\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_k \to 0$ по вероятности.

Решение.

Математическое ожидание каждой X_k:

$$M X_k = (-1)\cdot\frac{1}{2} + 1\cdot\frac{1}{2} = 0.$$

Дисперсия

$$D X_k = M X_k^2 - (M X_k)^2 = 1 - 0 = 1.$$

Чебышёв для любого $\varepsilon > 0$ оценивает вероятность отклонения среднего от нуля:

$$P\left(\left|\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_k\right| \ge \varepsilon\right) \le \frac{1}{n\varepsilon^2} \to 0.$$

Отсюда $\frac{1}{n}\sum X_k \to 0$ по вероятности. Закон больших чисел выполнен.

Пример 2.2. Пусть $\{X_n\}$ — последовательность независимых случайных величин, каждая из которых принимает значения ± 1 с вероятностью $1/2$. Тогда $\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_k \to 0$ по вероятности.

Решение.

Математическое ожидание каждой X_k:

$$M X_k = (-1)\cdot\frac{1}{2} + 1\cdot\frac{1}{2} = 0.$$

Дисперсия

$$D X_k = M X_k^2 - (M X_k)^2 = 1 - 0 = 1.$$

Чебышёв для любого $\varepsilon > 0$ оценивает вероятность отклонения среднего от нуля:

$$P\left(\left|\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_k\right| \ge \varepsilon\right) \le \frac{1}{n\varepsilon^2} \to 0.$$

Отсюда $\frac{1}{n}\sum X_k \to 0$ по вероятности. Закон больших чисел выполнен.