Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ

Практикум по динамике подземных вод для студентов специализации «Технология и техника разведки метсорождений полезных ископаемых» специальность 21.05.03 – «Технология геологической разведки»

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 00899356C4B8E7194321D0149160B2398C
Владелец: Зубов Владимир Владимирович
Действителен: с 26.06.2024 до 19.09.2025

Екатеринбург
2018

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»
МИНОБРНАУКИ

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
факультета геологии
и геофизики УГГУ
13 апреля 2017 г.
Председатель комиссии
проф. В. И. Бондарев

ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ

Практикум по динамике подземных вод для студентов специализации «Технология и техника разведки МПИ» специальность 21.05.03 – «Технология геологической разведки»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018

О 62

Р е ц е н з е н т – Савинцев И. А., к. г. м. н., доцент кафедры ГИГГ УГГУ

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры ГИГГ 22 июня 2016 г. (протокол № 58) и рекомендованы к изданию в УГГУ.

В практикуме изложена программа по проведению опытно-фильтрационных работ (ОФР) и содержание учебных задач. Достаточно подробно представлены основные исходные теоретические и методические положения, которые необходимы для осознанного выполнения задач. В пособии изложены необходимые рекомендации по выполнению основных видов ОФР, уделено значительное внимание чисто практическим аспектам выполнения всех видов работ.

© Тагильцев С. Н., Кибанова Т. Н.,
Тагильцев В. С., Рубцова А. Е., 2018
© Уральский государственный
горный университет, 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ **5**

1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ **6**

1.1. Основные понятия ***6***

1.2. Методика проведения опытно-фильтрационных работ ***9***

1.2.1. Выполнение экспресс-налива 10

1.2.2. Кустовые откачки 10

2. СХЕМАТИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ **12**

2.1. Особенности интерпретации данных фильтрационных исследований ***12***

2.2. Схематизация гидрогеологических условий ***13***

2.2.1. Схематизация режима фильтрации 13

2.2.2. Схематизация структуры и формы потока 15

2.2.3. Схематизация гидравлического состояния потока 16

2.2.4. Схематизация основных источников питания пласта 19

2.2.5. Схематизация фильтрационной неоднородности 20

2.2.6. Схематизация граничных условий 20

2.2.7. Вывод по схематизации 21

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ **22**

3.1. Откачки в безграничных пластах ***22***

3.2. Метод эталонной кривой ***23***

3.3. Откачки в двухслойных пластах ***25***

3.4. Обработка данных восстановления уровней ***28***

3.5. Особенности интерпретации данных одиночных опробований ***33***

3.6. Влияние емкости ствола скважин на результаты опробования ***36***

4. УЧЕБНЫЕ ЗАДАЧИ **40**

4.1. Обработка опытной откачки в палеогеновом водоносном горизонте (изотропный пласт) ***40***

4.2. Обработка опытной откачки в палеогеновом водоносном горизонте (анизотропный пласт) *41*
4.3. Обработка опытной откачки в хазарском водоносном горизонте *43*
4.4. Наливы и откачки с постоянным дебитом в одиночных скважинах
Налив с постоянным дебитом в скважину 2а *45*
5. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ **47**
ЛИТЕРАТУРА **50**

ВВЕДЕНИЕ

Опытно-фильтрационные работы (ОФР) являются важнейшим видом исследований, проводимых при решении различных гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических задач. Умение правильно ставить, проводить и интерпретировать результаты ОФР в значительной степени определяет уровень квалификации инженера-гидрогеолога, так как эти работы составляют основу гидрогеологической специализации.

В динамике подземных вод непрерывно происходят значительные изменения, которые определяются актуальными гидрогеологическими задачами, возникающими при решении вопросов мелиоративной гидрогеологии, водоснабжения, разработки месторождений полезных ископаемых, загрязнения подземных вод и ряда других направлений. При этом усиливается роль гидродинамического изучения и прогноза все более тонких и сложных гидрогеологических процессов.

Гидродинамические методы развиваются в основном по пути все большего отражения природной (геологической и гидрогеологической) обстановки, учета физико-химических процессов, широкого привлечения аппарата математической физики с использованием математического моделирования как инструмента для решения конкретных задач. Эти преобразования должны, естественно, найти свое отражение в учебных программах и пособиях по курсу «Динамика подземных вод».

В пособии изложены необходимые рекомендации по основным видам учебных ОФР, уделено значительное внимание чисто практическим аспектам выполнения тех или иных видов работ: ведению документации, методике проведения опытов, первичной интерпретации полученных результатов.

1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ

1.1. Основные понятия

Опытно-фильтрационные работы проводятся для решения следующих задач:

1. Определение гидрогеологических параметров водоносных горизонтов - коэффициентов фильтрации, водопроводимости, пьезо- и уровнепроводности, водоотдачи, перетекания, сопротивления подрусловых отложений, действующих гидродинамических радиусов опытных скважин.
2. Изучение характера взаимосвязи подземных и поверхностных вод, а также взаимодействие водоносных горизонтов между собой.
3. Получение зависимости между дебитом скважины и понижением уровня в ней (при установившемся режиме откачки).
4. Оценка характера связи уровня воды в скважине и в водоносном пласте (оценка инерционности пьезометров – наблюдательных скважин).

Опытно-фильтрационные работы нередко определяют как фильтрационные опробования [3]. Фильтрационные опробования выполняются откачками из скважин, а также наливами и нагнетаниями в скважины. Нагнетание отличается от налива тем, что при нагнетании над устьем скважины создаётся дополнительный напор с помощью специальных технических средств.

Фильтрационные опробования скважин подразделяют на одиночные и кустовые. Одиночное опробование характеризуется тем, что фильтрационный опыт (откачка, налив, нагнетание) производится в отдельной (одиночной) скважине. В этой же скважине выполняются наблюдения за изменениями (возмущениями) уровня подземных вод в ходе фильтрационного опыта. При кустовых откачках (наливах), кроме опытной (центральной) скважины, наблюдения за изменениями уровня подземных вод производятся в других

(наблюдательных) скважинах [1]. Количество наблюдательных скважин может быть любым.

Принято считать, что с помощью одиночных откачек можно получить лишь самые общие сведения о гидрогеологических параметрах водоносных горизонтов, а кустовые откачки дают возможность решать значительно больший круг задач и с более высокой степенью точности. Эти представления являются не совсем верными. Тщательное проведение и квалифицированная интерпретация данных одиночных опробований позволяют получить почти полный набор гидрогеологических параметров водоносного пласта. Кроме того, данные кустовых откачек не позволяют достоверно оценить фильтрационную неоднородность водоносного горизонта. Поэтому правильнее считать, что одиночные и кустовые опробования очень часто решают самостоятельные задачи и во многих случаях должны применяться в комплексе.

При производстве фильтрационных опробований следует ориентироваться на режим постоянного (заданного) дебита. Объясняется это тем, что при режиме постоянного дебита упрощается методика интерпретации откачек и повышается надежность определения гидрогеологических параметров.

При выборе дебита откачки следует исходить из возможностей имеющегося водоподъемного оборудования и фильтрационных свойств водоносного горизонта. Необходимо стремиться к тому, чтобы понижение в дальней скважине куста составляло не менее 0,2 м, т. е. на порядок превышало уровень погрешности измерительных средств (уровнемеров, хлопушек). Очень важно, чтобы наблюдаемые возмущения уровней при фильтрационных опытах всегда существенно превышали значения колебаний уровня подземных вод за счет естественных или техногенных факторов [2].

Основные буквенные обозначения и понятия, которые применяются при проведении ОФР (рис. 1.1), можно условно разделить на четыре группы:

1. Абсолютные отметки точек и уровней, обозначаются «АО».

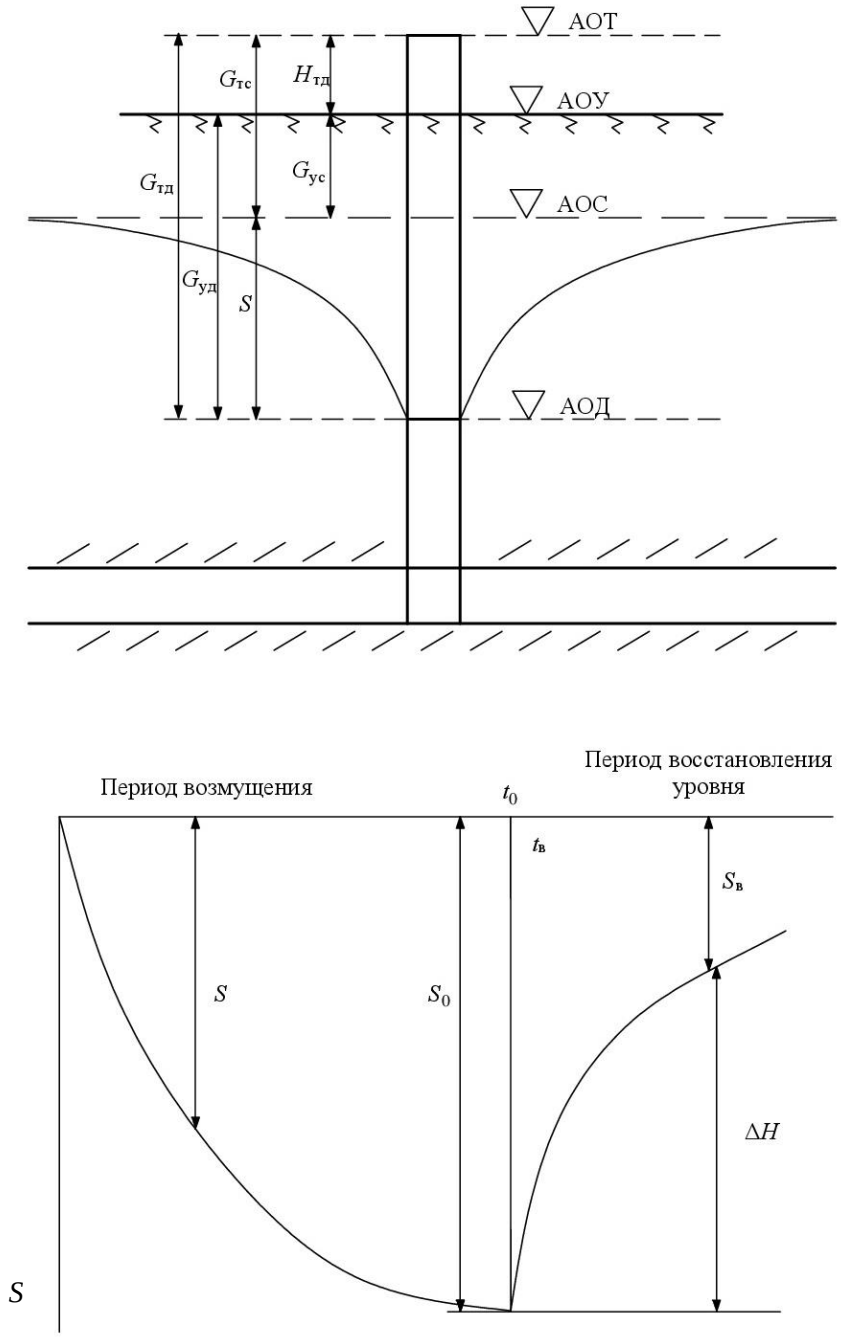


Рис. 1.1. Основные обозначения показателей положения и динамики уровней при опробовании скважин: АОТ, АОУ, АОС, АОД – абсолютные отметки края трубы, устья скважины, статического уровня подземных вод, динамического уровня подземных вод соответственно; $G_{тс}$, $G_{ус}$, $G_{уд}$, $G_{тд}$ – глубины от края трубы до статического уровня воды, от устья скважины до статического уровня воды, от устья скважины до динамического уровня воды, от края трубы до динамического уровня воды; $H_т$ – высота обсадной трубы над уровнем земли (над устьем); S, $S_о$, $S_в$ – понижение (возмущение) текущее, максимальное на конец возмущения, в период восстановления уровня; $t_о$- продолжительность опыта (возмущения); $t_в$ – текущие время от начала восстановления уровня; ΔH – восстановление уровня.

2. Возмущения уровня - разница между статическим и динамическим уровнями при выполнении опробований, обозначается «S».
3. Высоты и напоры отсчитываются вверх, обозначаются «H».
4. Глубины отсчитываются вниз, обозначаются «G».

Продолжительность откачки в общем случае не может быть строго определена. Для обоснования выбора момента прекращения откачек следует использовать «индикаторные» графики зависимости возмущения уровня (S) от логарифма времени проведения опытов ($\lg t$), которые должны строиться непосредственно в процессе проведения опыта.

1.2. Методика проведения опытно-фильтрационных работ

Проведение опытов включает в себя ряд подготовительных операций и собственно сам эксперимент. В период подготовки необходимо подготовить журнал наблюдений, составить схему расположения скважины (скважин), подготовить измерительные средства, измерить положение естественного уровня подземных вод по каждой скважине и заполнить соответствующую таблицу, ознакомиться с устройством для проведения откачки или налива, включая порядок включения и выключения устройства.

Для каждой задачи специально оговариваются элементы техники безопасности в данной ситуации. При проведении кустовой откачки четко оговаривается время начала и конца опыта, специальные сигналы (звуковые, визуальные), которые позволяют точно фиксировать необходимые моменты опыта.

В связи с логарифмическим характером графиков, с помощью которых производится обработка данных, частота измерений регулируется логарифмическим масштабом. Рекомендуемые моменты времени приведены в специальной таблице (табл. 1.1). Если наблюдатель по каким-то причинам не может придерживаться рекомендуемых значений времени, следует стараться

измерять уровни через 10 секунд в первую минуту, через 1 минуту - первые 10 минут и через 2-5 минут - первые полчаса откачки.

Таблица 1.1

Рекомендуемые моменты времени для наблюдений уровней в скважинах при откачках

t, мин	1,0	1,26 (~1′15′)	1,59 (~1′40′)	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
lg *t*	0	0,1	0,2	0,301	0,398	0,477	0,602	0,699	0,778	0,903
t, мин	10	12,5	16	20	25	30	40	50	60	80
lg *t*	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
t, мин	100	120 (2 ч)	160 (2ч40мин)	300 (3ч20мин)	240* (4 ч)	300 (5 ч)	400 (6ч40мин)	500 (8ч20мин)	600 (10 ч)	800 (13ч20мин)
lg *t*	2,0	2,08	2,2	2,3	2,38	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9

* В первую минуту откачки следует стараться измерять уровень через 10 секунд, после 4-5 часов откачки -- через 1-2 часа.

1.2.1. Выполнение экспресс-налива

После проведения предварительных измерений в скважину выливается определенный объем воды (10-30 литров). Следует стараться выполнить налив за короткое время. Момент начала опыта отсчитывается от момента середины процесса налива. Длительность проведения опыта лимитируется подъемом уровня воды в скважине до устья. Обычная продолжительность опыта составляет 30 минут.

Измерение дебита выполняется перед началом опыта, через каждые 5 минут - в процессе выполнения налива и в конце опыта. Окончание периода возмущения уровня определяется прекращением подачи воды в скважину. Сразу после окончания налива начинаются измерения динамического уровня. Эти измерения продолжаются до полного восстановления уровня (до статического положения).

1.2.2. Кустовые откачки

При кустовой откачке идет откачка воды из центральной скважины и наблюдение за уровнем в наблюдательных скважинах. До начала откачки

измеряется уровень подземных вод в наблюдательных скважинах. Перед началом откачки оговариваются сигналы, точное время начала и окончания откачки. Выполняется подготовка насоса и приведение его в рабочее состояние. Вода из насоса поступает в емкости известного объема (вёдра). Расход рассчитывается по общему объему выкачанной воды и продолжительности откачки. В процессе проведения откачки следует поддерживать примерно постоянный дебит. Уровень подземных вод измеряется в процессе откачки и при восстановлении уровня.

Обычная продолжительность откачки составляет 1 сутки. Примерно такой же период времени занимает восстановление уровня.

2. СХЕМАТИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

2.1. Особенности интерпретации данных фильтрационных исследований

Районы работ обычно имеют сложное гидрогеологическое строение, затрудняющее обоснование однозначной гидрогеологической схемы для участков проведения фильтрационных опробований. Геологическая неоднородность в плане и разрезе определяет существенную изменчивость фильтрационных показателей. Разнообразный литологический состав пород, широкое развитие тектонических нарушений, практически повсеместное распространение глинистой коры выветривания, наличие естественных и технических водоемов осложняет диагностику граничных условий опробуемых горизонтов.

Относительно низкие фильтрационные показатели определяют ряд специфических особенностей проведения и обработки ОФР. Большое влияние на индикаторные графики оказывает также осушение стволов скважины (влияние емкости скважины). Данное явление может существенно осложнять интерпретацию временных графиков. Применение скважин большого диаметра значительно увеличивает временной диапазон действия этого фактора. В сложных гидрогеологических условиях становится проблематичной полная идентичность данных понижения и восстановления уровней.

Таким образом, можно указать ряд факторов, осложняющих интерпретацию данных фильтрационных опробований и требующих специального анализа:

1. Сложные и неодинаковые гидродинамические схемы для различных фильтрационных опытов.
2. Сложная форма графиков временного прослеживания.
3. Влияние осушения ствола скважины (влияние ёмкости скважины).

В рассматриваемых условиях значительно повышаются требования к уровню интерпретации данных одиночных и кустовых опробований. При этом

следует помнить, что надежность интерпретации данных ОФР определяется тщательной гидродинамической схематизацией гидрогеологических условий.

Таким образом, прежде чем обрабатывать данные фильтрационных опытов, необходимо выполнить анализ гидрогеологических условий с целью обоснования наиболее вероятных гидродинамических схем.

2.2. Схематизация гидрогеологических условий

Схематизация ведется поэтапно и основывается на неразрывном сочетании качественного анализа гидрогеологических условий и количественных результатов фильтрационных исследований. Схематизация проводится в определенной последовательности. На первом этапе схематизации количественные результаты откачек используются в минимальном объеме, оцениваются режим фильтрации, структура и форма потока, гидравлическое состояние водоносного горизонта. Далее рассматривается фильтрационная неоднородность, источники питания и граничные условия.

2.2.1. Схематизация режима фильтрации

Первоначальный этап при проведении фильтрационных опробований всегда является нестационарным. При обработке данных ОФР с помощью графиков в координатах $S \div \lg t$ четко выявляется изменение S во времени. В центральных скважинах практически мгновенно устанавливается квазистационарный режим, для которого характерна прямолинейная форма графиков (рис. 2.1). Опыт обработки данных по наблюдательным скважинам показывает, что продолжительность нестационарного этапа варьирует в очень широких пределах (от 10 минут до нескольких суток).

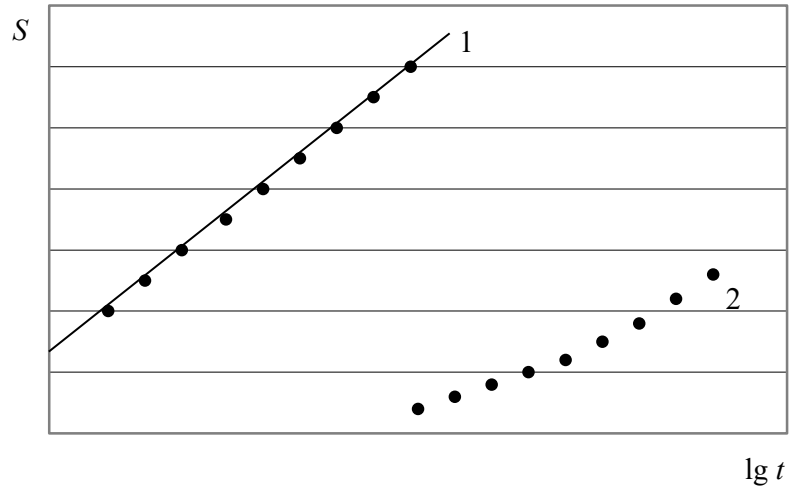


Рис. 2.1. Нестационарный режим при проведении ОФР: 1 – квазистационарный режим (линейная зависимость); 2 – неквазистационарный режим

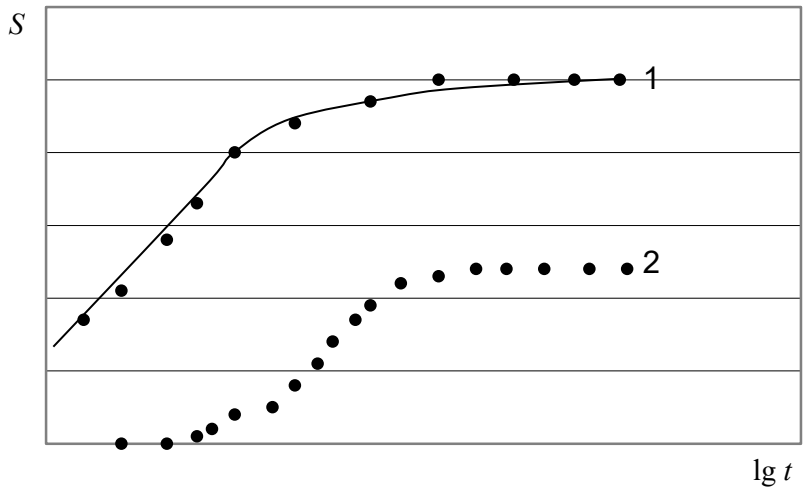


Рис. 2.2. Стабилизация уровней при проведении ОФР: 1 – стационарный режим в центральной скважине; 2 – стационарный режим в наблюдательной скважине

Очень часто наблюдается ложная или истинная стабилизация уровней (рис. 2.2). Стабилизация имеет различную продолжительность. При кратковременных откачках не всегда удается надежно отличить истинную стабилизацию от ложной. Иногда наблюдается несколько (до трех) этапов стабилизации.

2.2.2. Схематизация структуры и формы потока

В водоносном горизонте региональной трещиноватости поток при проведении фильтрационных опробований имеет обычно планово-радиальный характер, но очень часто депрессионная воронка отличается от формы окружности. Это показывает, что планово-радиальный характер потока осложняется плановой фильтрационной неоднородностью различного происхождения.

Сложное строение водоносный горизонт имеет по вертикали. Различные данные показывают, что относительно однородное строение трещинной среды встречается редко. Обычно в разрезе палеозойских пород наблюдается несколько водоносных горизонтов (слоёв), которые связаны с субгоризонтальными зонами повышенной трещиноватости. Хорошая взаимосвязь водоносных трещинных систем наблюдается только в верхней части палеозойских пород до глубины нескольких десятков метров. В целом следует отметить, что фильтрационная вертикальная зональность и структура потока требует специального рассмотрения [4,7,8].

Практически повсеместно на палеозойских трещиноватых породах залегают глинистые покровные образования. Мощность глинистой коры выветривания варьирует по площади и составляет обычно 5 - 15 м. Очень важно отметить, что уровень подземных вод в ненарушенных и слабонарушенных условиях обычно располагается в верхнем (глинистом) слое.

Таким образом, в рассматриваемых условиях наблюдается двухслойное строение, наиболее характерное для большинства комплексов грунтовых вод. Верхняя часть комплекса представлена относительно слабопроницаемыми (покровными) отложениями. В этом случае можно использовать упрощенные представления о структуре потока, основанные на предпосылке перетекания. Основная суть этой предпосылки сводится к представлениям о

горизонтальном движении подземных вод в нижнем трещиноватом горизонте и вертикальной фильтрации в верхнем покровном слое.

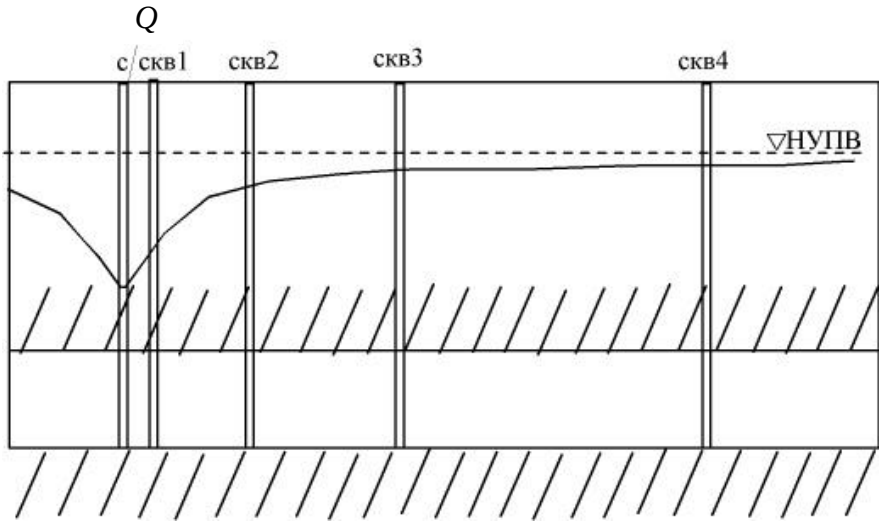
2.2.3. Схематизация гидравлического состояния потока

Рассматриваемые условия обычно классифицируются как безнапорный поток, но двухслойное строение пласта накладывает определенные особенности. Свободная поверхность подземных вод находится в слабопроницаемом слое, перекрывающем трещинный водоносный горизонт. При откачке гравитационная водоотдача со свободной поверхности начинается после сработки некоторой части упругих или емкостных запасов трещинного горизонта. Поэтому трещинный горизонт в естественных условиях нередко обладает определенными свойствами напорного пласта (рис. 2.3).

Для откачки в двухслойном пласте характерны три этапа снижения уровня (рис. 2.4). Этап I связан со сработкой упругих запасов водоносного горизонта. Трещинный горизонт на этом этапе работает как изолированный напорный пласт. Этап II - ложностационарного режима - связан с развитием гравитационной водоотдачи со свободной поверхности. Возникший на первом этапе перепад напоров между слоями приводит к нисходящей, практически вертикальной, фильтрации воды из верхнего слоя в нижний. Этот процесс сопровождается подключением нового источника питания - гравитационной водоотдачи покровного слоя. Ложная стабилизация продолжается до тех пор, пока происходит прирост водоотдачи.

Этап III представляет собой этап преимущественно гравитационного режима водоотдачи. На этом этапе двухслойный пласт работает как единый горизонт с суммарной (упругой и гравитационной) водоотдачей и водопроводимостью, близкой по величине к водопроводимости нижнего слоя.

а



б

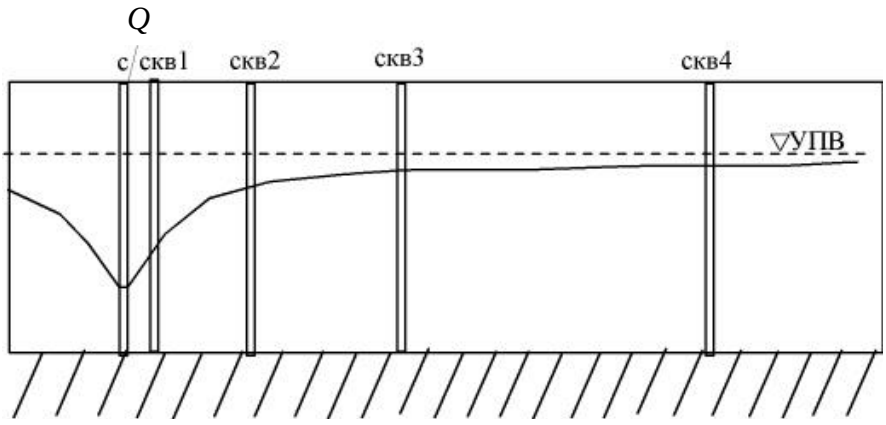


Рис. 2.3. Схемы безграничных пластов: а - напорного, б - безнапорного

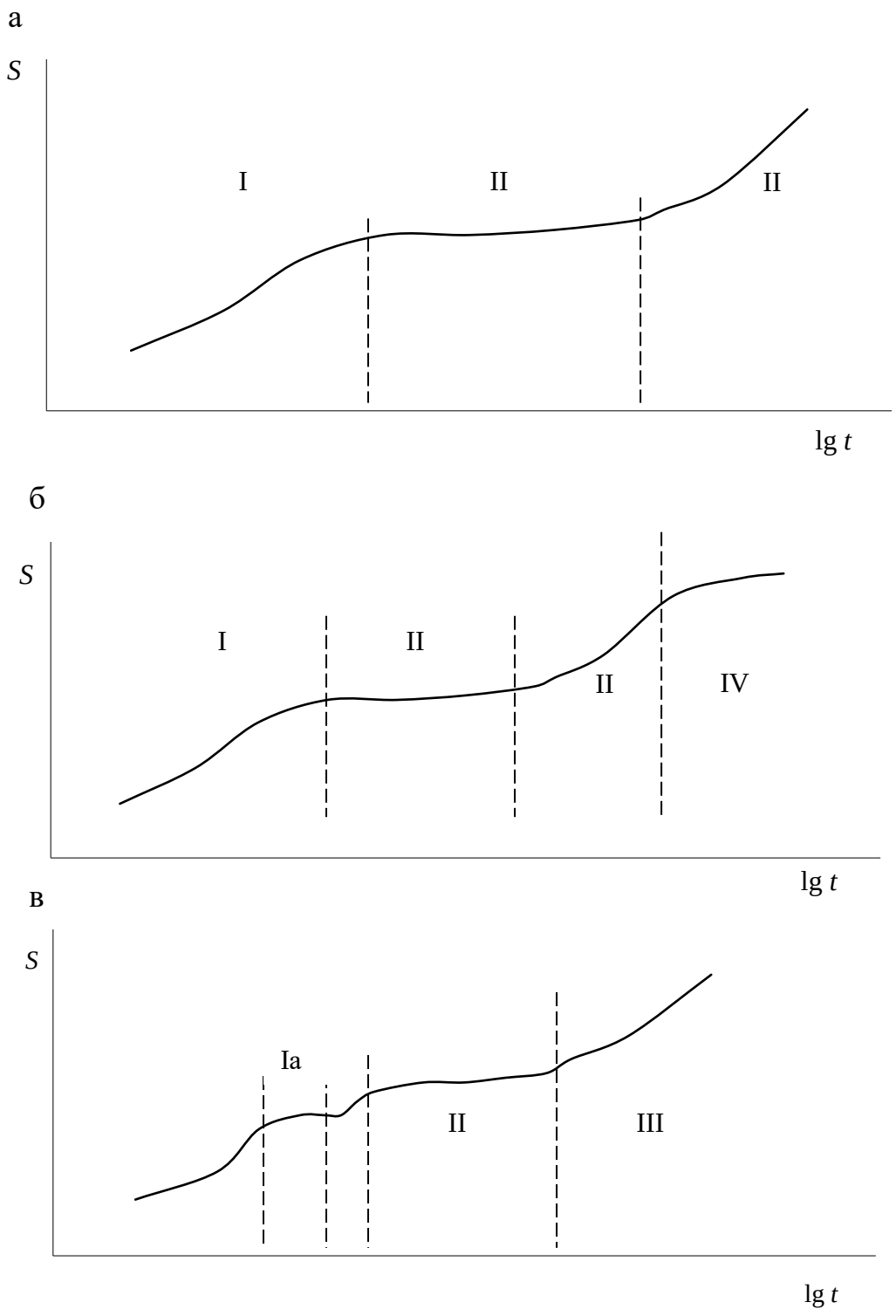


Рис. 2.4. Временные графики в двухслойных пластах

а - безграничный пласт: I - этап упругой водоотдачи, II - этап ложной стабилизации, III - этап гравитационной водоотдачи; б - влияние границы третьего рода: IV - этап стабилизации; в - влияние двойной пористости: Ia - этап ложной стабилизации

2.2.4. Схематизация основных источников питания пласта

Емкостные запасы водоносного горизонта сформировались главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков. Если в зоне влияния откачки отсутствуют дополнительные источники питания, то в процессе фильтрационного опыта идет сработка гравитационных запасов и наблюдается снижение уровня подземных вод.

На рассматриваемой территории расположен ряд естественных и искусственных водоемов, которые, как правило, отделены от трещинного горизонта слабопроницаемым слоем. В зависимости от фильтрационных свойств верхнего слоя может наблюдаться два случая. Если верхний слой на участке развития депрессии является практически водоупорным, то водоем не будет работать как источник питания для конкретной откачки. В противном случае при установлении тесной гидравлической связи между водоемом и водоносным горизонтом наступит окончательная стабилизация уровней при откачке. На временном графике появится характерный IV этап (стационарного режима).

При существенных размерах депрессионной воронки стабилизация уровней при откачке может наступить за счёт площадного питания. Если есть возможность для оценки площади депрессии, то можно рассчитать модуль площадного питания ($M_{\text{п}}$):

$$M_{\text{п}} = Q/\omega, \qquad (2.1)$$

где Q – дебит откачки; ω - площадь депрессионной воронки.

Расчётная величина модуля площадного питания позволяет оценивать реальные причины, определяющие стабилизацию уровней при откачке. При отсутствии источников питания модуль имеет значения, близкие к величинам модуля подземного стока (1,5 – 3,5 л/с·км^2). В техногенных условиях, при дополнительном питании, указанные значения могут возрасти в 2-3 раза. В случае наличия питающих границ расчётный модуль площадного питания может иметь значения, составляющие десятки л/с·км^2.

2.2.5. Схематизация фильтрационной неоднородности

Временные закономерности изменения уровня, даже в условиях существенной неоднородности, сохраняются обычно функциональными. Это значит, что элементы неоднородности не получают отражения в форме временных графиков. Плановая неоднородность обычно проявляется в форме депрессионной воронки и в значениях некоторых гидродинамических параметров. Значения параметра водопроводимости, при правильной интерпретации данных кустовых откачек, сохраняют одинаковые значения для всех наблюдательных скважин.

Кроме крупных элементов плановой неоднородности при опробовании трещинных сред нередко проявляется действие относительно небольших элементов неоднородности, которое получило название «двойной пористости». В трещинной среде проявление эффекта «двойной пористости» чаще всего связано с наличием трещин с разным раскрытием (относительно большим и малым раскрытием). «Двойная пористость» проявляется в виде кратковременного участка ложной стабилизации на временном графике, на начальном этапе откачки (см. рис. 2.4, в). В связи с кратковременностью этого эффекта, участок временного графика, связанный с ним, фиксируется не всегда.

2.2.6. Схематизация граничных условий

В качестве питающих границ трещинного водоносного горизонта могут выступать поверхностные водоемы. В связи с наличием покровных глинистых отложений заранее не известно, какое влияние будут оказывать водоемы на ОФР. На основании геологического строения следует предполагать, что в некоторых случаях на результаты откачек могут оказывать влияние непроницаемые границы (тектонические нарушения с глинистым заполнителем, литологические границы). Диагностику граничных условий

следует проводить путем совместного анализа геологического строения и результатов опытных работ.

2.2.7. Вывод по схематизации

На основании рассмотренных позиций схематизации можно сделать заключение, что в начальный период проведения опытных работ должна проявляться схема безнапорного или напорного пласта двухслойного строения. В этот период пласт следует рассматривать как квазиоднородный и безграничный в плане. Граничные условия могут проявиться в виде изменений формы временного графика при проведении относительно продолжительных откачек. Стабилизация уровня в скважинах, вскрывших трещинный водоносный горизонт, носит, как правило, ложный характер и связана с проявлением эффекта «двойной пористости» и (или) развитием перетекания из горизонта покровных образований.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ

3.1. Откачки в безграничных пластах

Развитие депрессионной воронки в безграничном пласте описывается уравнением Тэйса. Форма временных графиков имеет вид, показанный на рис. 2.1. При наступлении квазистационарного режима уравнение Тэйса упрощается. Эта зависимость обычно называется уравнением Джейкоба:

$$S = \frac{Q}{4\pi T}\ln\frac{2{,}25at}{r^2}, \tag{3.1}$$

где S – понижение (возмущение) уровня в скважине;

Q – расход воды;

T – водопроводимость;

a – коэффициент уровне- или пьезопроводности;

t – время от начала опыта;

r – расстояние от оси центральной скважины до точки, где измеряется понижение (расстояние до наблюдательной скважины).

При переходе от натуральных к десятичным логарифмам зависимость Джейкоба приобретает вид:

$$S = 0{,}183\frac{Q}{T}\lg\frac{2{,}25at}{r^2}. \tag{3.2}$$

Последнюю зависимость можно представить в форме прямой (рис. 3.1):

$$S = 0{,}183\frac{Q}{T}\lg\frac{2{,}25a}{r^2} + 0{,}183\frac{Q}{T}\lg t \tag{3.3}$$

$$S = A + C_{\text{р}}\lg t; \tag{3.4}$$

$$A = 0{,}183\frac{Q}{T}\lg\frac{2{,}25a}{r^2}; \tag{3.5}$$

$$C_{\text{р}} = 0{,}183\frac{Q}{T}. \tag{3.6}$$

Основные фильтрационные параметры (T и a) рассчитываются на основании зависимостей:

$$T = 0{,}183\frac{Q}{C_{\text{р}}}; \tag{3.7}$$

$$\lg\frac{a}{r^2} = \frac{A}{C_{\text{р}}} - 0{,}35; \tag{3.8}$$

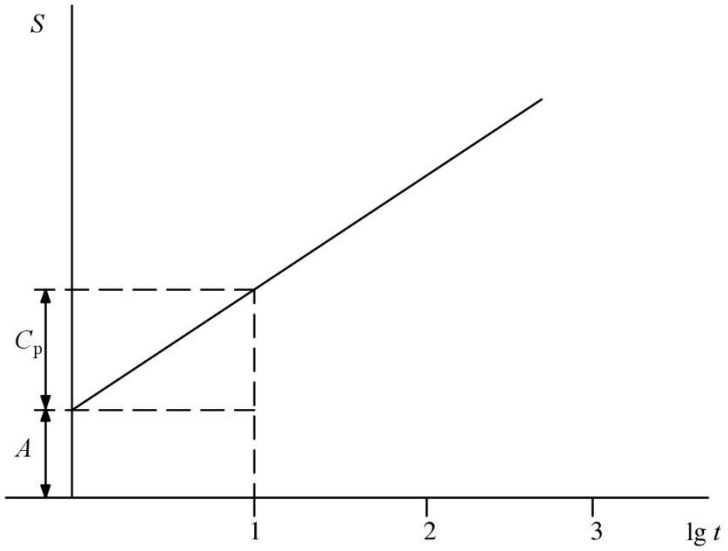


Рис. 3.1. Определение расчетных коэффициентов A и C_p

$$\lg a = \frac{A}{C_p} - 0{,}35 + 2\lg r. \tag{3.9}$$

3.2. Метод эталонной кривой

Для обоснования этого способа прологарифмируем уравнение (3.10) и аргумент u:

$$S = 0{,}183\frac{Q}{4\pi T}W(u), u = \frac{r^2}{4at}; \tag{3.10}$$

$$\lg S = \lg\frac{Q}{4\pi T} + \lg W; \tag{3.11}$$

$$\lg\frac{1}{u} = \lg\frac{4a}{r^2} + \lg t. \tag{3.12}$$

Если далее построить эталонную кривую по зависимости $\lg W$ от $\lg\frac{1}{u}$ (табл. 3.1) и фактическую кривую зависимости $\lg S$ от $\lg t$ для каждой наблюдательной скважины, то они при одинаковой форме будут сдвинуты по осям на величину $\lg\frac{Q}{4\pi T}$, а по осям абсцисс – на величину $\lg\frac{4a}{r^2}$ (рис. 3.2). Обработка производится графоаналитическим путем: на фактический график временного прослеживания в билогарифмических координатах накладывается

эталонная кривая (предварительно построенная на гальке) так, чтобы опытные точки оптимально совмещались с эталонной кривой. Совпадение формы эталонного и фактического графиков является диагностическим признаком расчетной схемы неограниченного однородного изолированного пласта. С совмещенных графиков считывают координаты любой точки и определяют параметры из выражений

$$\lg\frac{Q}{4\pi T} = \lg S - \lg W; \tag{3.13}$$

$$\lg\frac{4a}{r^2} = \lg\frac{1}{u} - \lg t. \tag{3.14}$$

Таблица 3.1

Значения функции $W(u)$

u	$W(u)$	u	$W(u)$	u	$W(u)$	u	$W(u)$	u	$W(u)$
0,001	6,332	0,11	1,737	0,39	0,719	0,67	0,396	0,95	0,239
0,002	5,639	0,12	1,660	0,40	0,702	0,68	0,388	0,96	0,235
0,003	5,235	0,13	1,589	0,41	0,686	0,69	0,381	0,97	0,231
0,004	4,948	0,14	1,524	0,42	0,670	0,70	0,374	0,98	0,227
0,005	4,726	0,15	1,465	0,43	0,640	0,71	0,367	0,99	0,223
0,006	4,544	0,16	1,409	0,44	0,655	0,72	0,360	1,00	0,219
0,007	4,392	0,17	1,358	0,45	0,625	0,73	0,353	1,10	0,186
0,008	4,259	0,18	1,310	0,46	0,611	0,74	0,347	1,20	0,158
0,009	4,142	0,19	1,265	0,47	0,598	0,75	0,340	1,30	0,135
0,010	4,038	0,20	1,223	0,48	0,585	0,76	0,334	1,40	0,116
0,015	3,637	0,21	1,183	0,49	0,572	0,77	0,328	1,50	0,100
0,020	3,355	0,22	1,145	0,50	0,560	0,78	0,322	1,60	0,086
0,025	3,137	0,23	1,110	0,51	0,548	0,79	0,316	1,70	0,075
0,030	2,959	0,24	1,076	0,52	0,536	0,80	0,311	1,80	0,065
0,035	2,810	0,25	1,044	0,53	0,526	0,81	0,305	1,90	0,056
0,040	2,681	0,26	1,014	0,54	0,514	0,82	0,300	2,00	0,049
0,045	2,568	0,27	0,985	0,55	0,503	0,83	0,294	2,50	0,025
0,050	2,468	0,28	0,957	0,56	0,493	0,84	0,289	3,00	0,013
0,055	2,378	0,29	0,931	0,57	0,483	0,85	0,284	3,50	0,007
0,060	2,295	0,30	0,906	0,58	0,473	0,86	0,279	4,00	0,0038
0,065	2,220	0,31	0,882	0,59	0,464	0,87	0,274	4,50	0,0021
0,070	2,151	0,32	0,858	0,60	0,454	0,88	0,269	5,00	0,0011
0,075	2,087	0,33	0,836	0,61	0,445	0,89	0,265	5,50	$6{,}4*10^{-4}$
0,080	2,027	0,34	0,815	0,62	0,437	0,90	0,260	6,00	$3{,}6*10^{-4}$
0,085	1,971	0,35	0,794	0,63	0,428	0,91	0,256		
0,090	1,919	0,36	0,775	0,64	0,420	0,92	0,251		
0,095	1,870	0,37	0,755	0,65	0,412	0,93	0,247		
0,100	1,823	0,38	0,737	0,66	0,404	0,94	0,243		

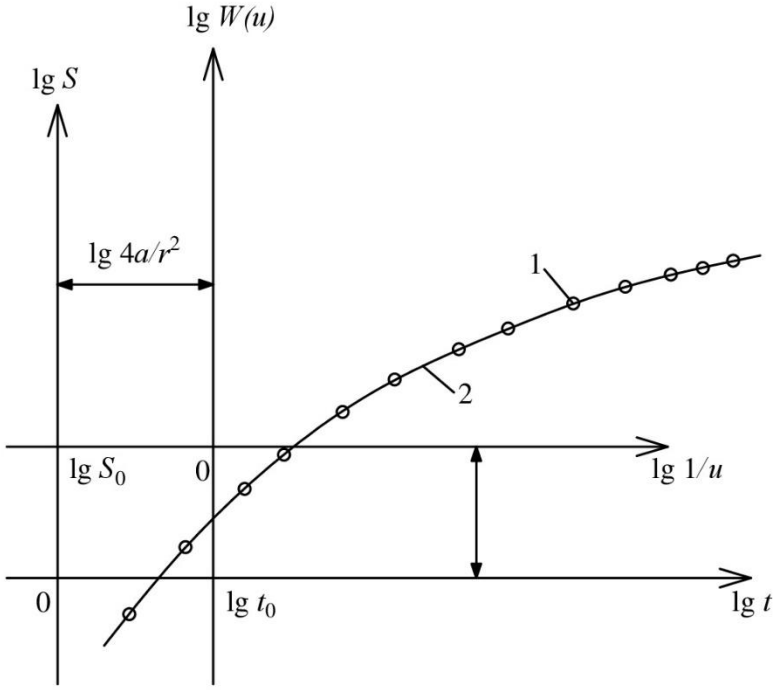


Рис. 3.2. Определение параметров способом эталонной кривой:
1 - опытные точки (график $\lg S \div \lg t$);
2 - эталонная кривая (график $\lg W(u) \div \lg 1/u$)

Удобно использовать координаты нулевой точки эталонной кривой на фактическом графике (S_0, t_0), когда в выражениях (3.13), (3.14) $\lg W$ и $\lg \frac{1}{u}$ равны нулю, и, следовательно:

$$T = \frac{Q}{4\pi S_0}; \tag{3.15}$$

$$a = \frac{r^2}{4t_0}. \tag{3.16}$$

3.3. Откачки в двухслойных пластах

Обработка данных откачки в двухслойных пластах достаточно детально рассмотрена в специальной литературе [4, 5, 6, 8]. Чаще всего используется графоаналитический метод обработки, который заключается в интерпретации графиков понижения уровня от логарифма времени откачки ($S \div \lg t$). Менее надёжные результаты позволяет получить обработка данных по восстановлению уровней после окончания возмущения.

На графиках $S \div \lg t$ визуально определяется положение точки перегиба и снимаются значения $S_{\text{п}}$ и $t_{\text{п}}$ (см. рис. 3.2). Положение этой точки можно скорректировать исходя из условия $S_{\text{п}} = 0{,}5\, S_{\text{ст}}$ (максимальное понижение этапа ложной или окончательной стабилизации). Далее в точке перегиба проводится касательная и определяется ее уклон. Отношение между понижением ($S_{\text{п}}$) и уклоном касательной в этой точке ($C_{\text{п}}$) определяется соотношением

$$2{,}3\frac{S_{\text{п}}}{C_{\text{р}}} = e^{-\frac{r}{B}} K_0\left(\frac{r}{B}\right) = F\left(\frac{r}{B}\right), \qquad (3.17)$$

где e - основание натурального логарифма;

B - параметр перетекания;

K_0 и F - специальные функции.

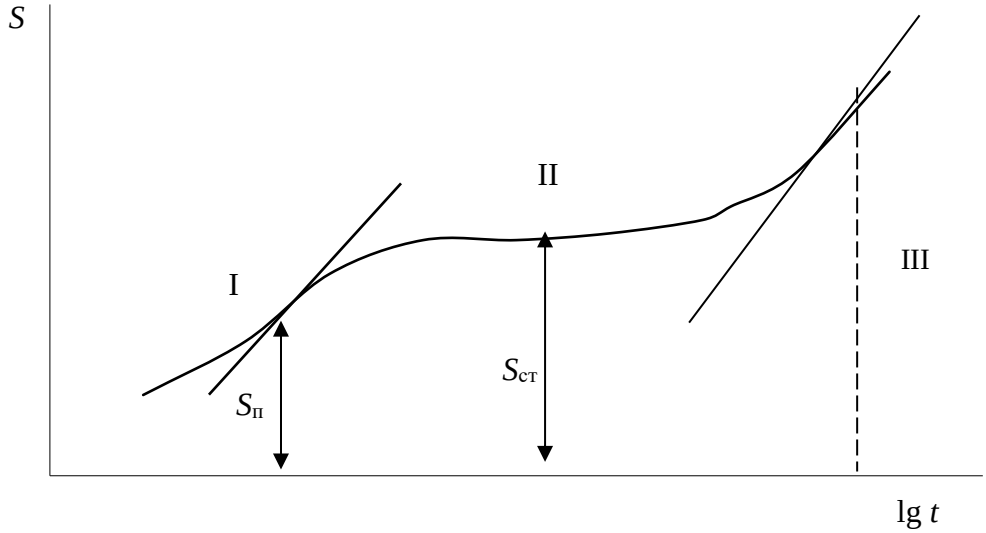


Рис. 3.3. Интерпретация временного графика в двухслойном безграничном пласте

I, III - расчетные участки графика
II- участок ложной стабилизации

Из соотношения (3.17) величина r/B находится по специальной таблице (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Значения специальных функций

$x = r/B$	lg x	$K_0(x)$	lg $K_0(x)$	e^x	$F(x)=e^xK_0(x)$
0.010	-2.000	4.721	0.674	1.010	4.768
0.020	-1.699	4.028	0.605	1.020	4.109
0.030	-1.523	3.623	0.559	1.030	3.733
0.040	-1.398	3.336	0.523	1.040	3.472
0.050	-1.301	3.114	0.493	1.051	3.273
0.060	-1.222	2.932	0.467	1.061	3.114
0.070	-1.155	2.779	0.444	1.072	2.981
0.080	-1.097	2.647	0.423	1.083	2.868
0.090	-1.046	2.531	0.403	1.094	2.769
0.100	-1.000	2.427	0.385	1.105	2.682
0.200	-0.699	1.752	0.244	1.221	2.140
0.300	-0.523	1.372	0.137	1.349	1.852
0.400	-0.398	1.114	0.047	1.491	1.662
0.500	-0.301	0.924	-0.034	1.643	1.524
0.600	-0.222	0.777	-0.110	1.822	1.416
0.700	-0.155	0.660	-0.180	2.013	1.330
0.800	-0.097	0.565	-0.248	2.225	1.258
0.900	-0.046	0.486	-0.313	2.459	1.197
1.000	0.000	0.421	-0.376	2.718	1.144
1.200	0.079	0.318	-0.498	3.320	1.057
1.400	0.146	0.243	-0.614	4.055	0.988
1.600	0.204	0.188	-0.726	4.953	0.930
1.800	0.255	0.145	-0.839	6.049	0.882
2.000	0.301	0.113	-0.947	7.389	0.841
3.000	0.477	0.034	-1.469	20.085	0.697
4.000	0.602	0.011	-1.959	54.598	0.609
5.000	0.699	0.004	-2.432	148.413	0.547

Величину водопроводимости (T) и значение коэффициента пьезопроводности (a) можно определить из выражений:

$$T = 0{,}183\frac{Q}{C_{\text{р}}}e^{-\frac{r}{B}}; \tag{3.18}$$

$$a = \frac{rB}{2t_{\text{п}}}. \tag{3.19}$$

Первый этап откачки завершается периодом ложностационарного режима. Если откачка достаточно длительная, то на графиках временного прослеживания может наблюдаться третий участок, отражающий работу пласта как единого безнапорного горизонта с суммарной гравитационной водоотдачей.

Для центральных скважин или «близких» наблюдательных, в которых наступил квазистационарный режим, зависимости (3.18), (3.19) и (3.8), (3.10) дают близкие результаты. Поэтому при обработке данных центральных скважин обычно применяются выражения (3.8), (3.17).

При правильной обработке откачек значения параметров водопроводимости, рассчитанные по данным I и III этапов (рис. 3.3), должны практически совпадать, что является дополнительным критерием проверки результатов.

Этапы ложной и окончательной стабилизации используются для расчёта параметра перетекания (B), условных радиусов питания ($R_{\text{п}}$) и влияния ($R_{\text{вл}}$) откачки, на основании значения понижения уровня, при котором достигнута стабилизация ($S_{\text{ст}}$). Последовательность расчётов следующая:

$$\lg (R_{\text{п}}/r) = 2{,}73\, T\, S_{\text{ст}} /Q; \tag{3.20}$$

$$R_{\text{п}} = (R_{\text{п}}/r)\cdot r; \tag{3.21}$$

$$B = R_{\text{п}}/1{,}12; \tag{3.22}$$

$$R_{\text{вл}} = 5\, B. \tag{3.23}$$

3.4. Обработка данных восстановления уровней

Прекращение откачки является воздействием на пласт, которое можно рассматривать как самостоятельный опыт или стадию одного опыта. Обработка этой второй стадии отличается определенной спецификой по сравнению с интерпретацией данных, поученных на стадии откачки. Прежде всего это относится к необходимости учета «наследства» первой стадии опыта. Под понятием «наследство» при обработке безграничных пластов обычно понимают продолжающееся снижение уровней в периферийной части депрессионной воронки, когда откачка в центральной скважине уже прекращена и происходит восстановление уровня. «Наследство» требует соответствующих приемов для его учета. Рассматривая «наследство» более

широко, сюда можно включить влияние границ, проявившихся во время откачки, а также влияние перетекания в слоистых пластах, "двойной пористости" и других факторов, осложняющих временной график во время откачки.

Обработка восстановления уровня обычно выполняется путем построения графика $\Delta H \div \lg t_{\text{в}}$ (рис. 3.4, а), хотя этот способ не учитывает "наследство" откачки. Величина ΔH отражает значение восстановления уровня после окончания возмущения и рассчитывается как разность между значением возмущения на конец опыта (S_0) и текущим возмущением в процессе восстановления уровня ($S_{\text{в}}$):

$$\Delta H = S_0 - S_{\text{в}}. \tag{3.24}$$

Величина $t_{\text{в}}$ отсчитывается от начала восстановления (см. рис. 1.1). Расчёты выполняются на основании зависимостей (3.25) – (3.32):

$$\Delta H = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2{,}25at}{r^2}; \tag{3.25}$$

$$\Delta H = 0{,}183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2{,}25at}{r^2}; \tag{3.26}$$

$$\Delta H = 0{,}183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2{,}25a}{r^2} + 0{,}183 \frac{Q}{T} \lg t; \tag{3.27}$$

$$\Delta H = A + C_{\text{р}} \lg t; \tag{3.28}$$

$$A = 0{,}183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2{,}25a}{r^2}; \tag{3.29}$$

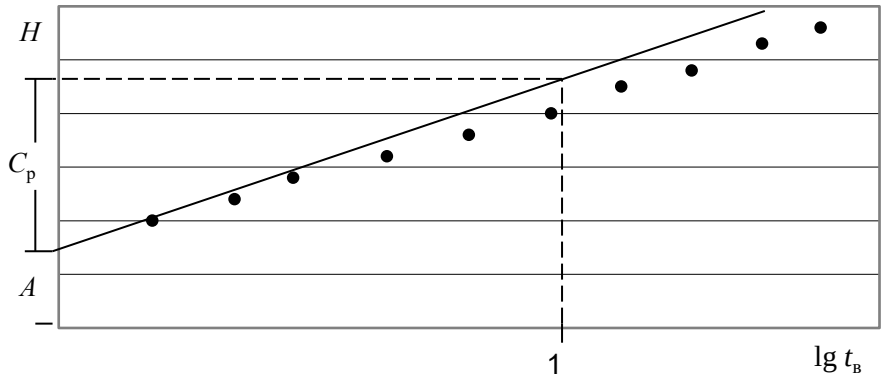
$$C_{\text{р}} = 0{,}183 \frac{Q}{T}; \tag{3.30}$$

$$T = 0{,}183 \frac{Q}{C_{\text{р}}}; \tag{3.31}$$

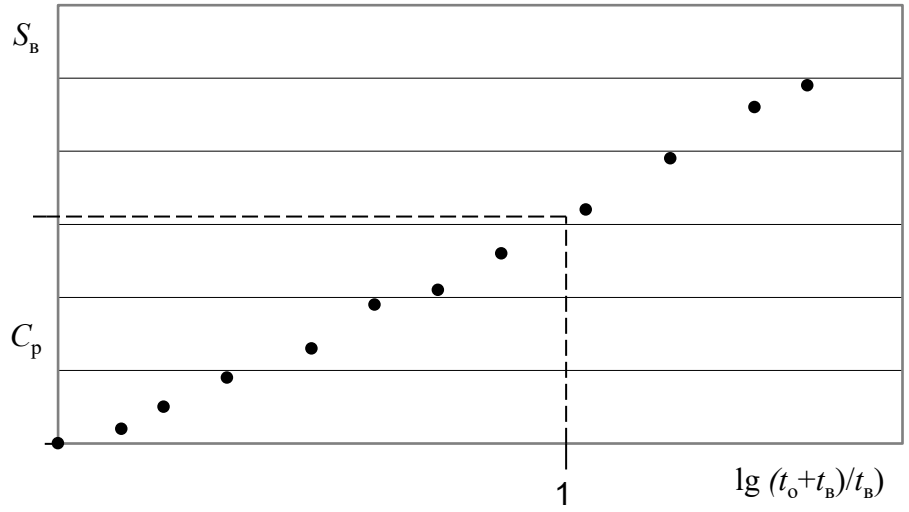
$$\lg \frac{a}{r^2} = \frac{A}{C_{\text{р}}} - 0{,}35; \tag{3.32}$$

$$\lg a = \frac{A}{C_{\text{р}}} - 0{,}35 + 2 \lg r. \tag{3.33}$$

а



б



в

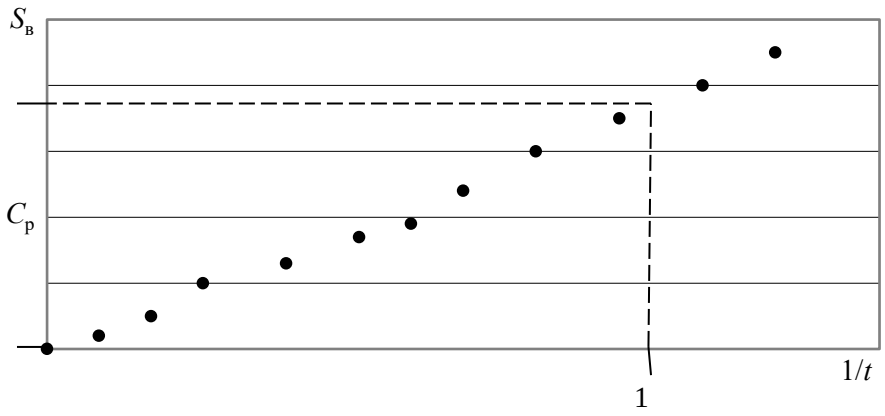


Рис. 3.4. Форма временных графиков в однородных безграничных пластах при обработке данных восстановления уровней

"Наследство" откачки в безграничных однородных пластах учитывается при построении графиков в координатах $S_в \div \lg((t_0 + t_в)/t_в)$ (рис. 3.4б) ($S_в$ - понижение уровня в скважине в процессе восстановления; t_0 - продолжительность откачки). График $S_в \div \lg((t_0 + t_в)/t_в)$ в условиях безграничных однородных пластов приходит в начало координат. Данное свойство имеет важное диагностическое значение и позволяет широко применять график $S_в \div \lg((t_0 + t_в)/t_в)$ для расшифровки различных фильтрационных аномалий:

$$S_в = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t_0 + t_в}{t_в}; \quad (3.34)$$

$$S_в = 0{,}183 \frac{Q}{T} \lg \frac{t_0 + t_в}{t_в}; \quad (3.35)$$

$$S_в = C_р \lg \frac{t_0 + t_в}{t_в}; \quad (3.36)$$

$$C_р = 0{,}183 \frac{Q}{T}; \quad (3.37)$$

$$T = 0{,}183 \frac{Q}{C_р}. \quad (3.38)$$

Для обработки данных экспресс-наливов используется условие, что при $t_0 \ll t_в$:

$$\ln \frac{t_0 + t_в}{t_в} \approx \frac{t_0}{t_в}. \quad (3.39)$$

При использовании последней зависимости уравнение (3.40) принимает вид:

$$S_в = \frac{Q}{4\pi T} \frac{t_0}{t_в}; \quad (3.41)$$

$$S_в = \frac{W}{4\pi T} \frac{1}{t_в}, \quad (3.42)$$

где W – объем воды, залитой в скважину.

Для обработки данных экспресс-налива используется график в координатах $S_в \div 1/t_в$. (рис. 3.4, в). Уклон графика обозначается $C_р$. Расчет значения водопроводимости пласта выполняется по зависимостям:

$$S_в = C_р \frac{1}{t_в}; \quad (3.43)$$

$$C_р = \frac{W}{4\pi T}; \quad (3.44)$$

$$T = \frac{W}{4\pi C_{\text{р}}}. \quad (3.45)$$

В рассматриваемых условиях, в связи с двухслойным строением пласта, существенную продолжительность имеет период ложной стабилизации. Время продолжительности откачки (t_0), которое в условиях безграничного пласта включает только нестационарный режим, в рассматриваемых условиях завышается за счет ложностационарного этапа. Это влечет значительный сдвиг графика по оси абсцисс и отклонение представительного участка графика от начала координат (см. рис. 3.4, а).

Важно отметить, что сам по себе сдвиг графика обычно не оказывает значительного влияния на точность расчета величины водопроводимости при длительных откачках, так как уклон представительного участка практически не меняется. Данное положение объясняется тем, что при построении графика чаще всего $t_0 \ll t_{\text{в}}$, поэтому

$$\lg\frac{t_0+t_{\text{в}}}{t_{\text{в}}} \approx \lg\frac{t_0}{t_{\text{в}}}. \quad (3.46)$$

Необходимо отметить, что встречаются случаи, когда условие $t_0 \ll t_{\text{в}}$ не выполняется, уклон графика меняется и параметры рассчитываются с определенной погрешностью. Данное замечание очень часто справедливо для ОФР с небольшой продолжительностью.

Полезным свойством информации, получаемой на стадии восстановления уровня, является ее меньшая, по сравнению со стадией понижения, зависимость от колебаний дебита. В качестве негативных моментов следует отметить, что перетекание в слоистых пластах может искажать временной график на стадии восстановления, причем вероятность и величина ошибок практически неопределимы. Следовательно, при опробовании слоистых пластов способы прослеживания понижения и восстановления уровня не являются равноценными. Способ прослеживания восстановления уровня оказывается менее надежным.

С учётом отмеченных моментов, временные графики восстановления уровней в слоистых пластах имеют вспомогательное значение. Эти

зависимости следует применять только для дополнительного контроля расчетных значений водопроводимости.

3.5. Особенности интерпретации данных одиночных опробований

Данные, полученные по центральным скважинам и при одиночных откачках (опробованиях), принято считать менее надежными и информативными по сравнению с данными по наблюдательным скважинам. Данное положение связано в основном с техническими причинами. Например, выполнение измерений уровня в опытной скважине обычно затруднено в связи с наличием в стволе скважины водоподъёмного оборудования. В опытной скважине сильнее, чем в наблюдательной скважине, мешают колебания дебита. Поэтому временной график может иметь более сложную форму и труднее поддается интерпретации.

Очень существенным фактором, затрудняющим расчёт некоторых гидродинамических характеристик пласта, является неопределенность величин действующего гидродинамического (эффективного) радиуса опытной скважины (r'_{c}). Значение действующего гидродинамического радиуса опытной скважины может в несколько раз и даже в несколько порядков отличаться от фактического радиуса скважины. Данное обстоятельство обычно не позволяет рассчитывать точные значения коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности), параметра перетекания и радиуса влияния откачки по результатам одиночных опробований. Ниже будут рассмотрены приемы, позволяющие определять ориентировочные значения указанных параметров.

В ряду положительных свойств, которыми отличаются данные центральных скважин, следует, в первую очередь, отметить диагностические свойства параметра, который называется удельным дебитом опытной скважины ($q_{\text{c}} = Q/S_c$). Из основных аналитических зависимостей динамики

подземных вод следует, что значение q примерно соответствует значению величины T. В зависимости от ряда факторов, различие в значениях указанных параметров может варьировать от 5 % до 2-3 раз, но больше - очень редко. Значение удельного дебита позволяет выполнить диагностику правильности определения основных гидродинамических характеристик, рассчитанных по временным графикам. Удельный дебит позволяет также оценить продолжительность влияния емкости ствола скважины на начальном этапе интерпретации (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Продолжительность влияния емкости скважины

T, м^2/сут	1	5	10	20	50	100	500
$t_{см}$, мин при r_c=0,05	113	23	11	6	2	1	0.2
$t_{см}$, мин при r_c=0,1	450	90	45	22	9	5	1
$t_{см}$, мин при r_c=0,2	1800	360	180	88	36	18	4

Временные графики опытных (центральных) скважин имеют ещё и другое преимущество. В опытных скважинах практически с самого начала опробования наступает квазистационарный режим изменения уровня. При этом режиме форма депрессионной воронки не изменяется (воронка опускается параллельно самой себе), а индикаторные графики (временные графики возмущения уровня) должны иметь форму прямой линии в условиях однородного безграничного пласта. Форма графика имеет важное диагностическое значение. Следует помнить, что прямолинейность графика сохраняется только в условиях безграничных и однородных пластов, при отсутствии влияния ёмкости скважины.

Обработка представительного участка временного графика позволяет рассчитать достаточно надежные значения параметров T и a/r_c^2. Для определения последнего параметра используют зависимости (3.8), (3.32).

Необходимо отметить, что базовым параметром, который следует рассчитывать с максимально возможной точностью, является коэффициент

водопроводимости. Достоверное определение значения этой характеристики пласта позволяет избежать значительных ошибок при расчётах параметров, стоящих под знаком логарифма.

Значения коэффициента уровнепроводности составляют обычно 10^3-10^4 м^2/сут, а коэффициента пьезопроводности – 10^5-10^7 м^2/сут. Если известны примерные значения гравитационной водоотдачи пород изучаемого пласта, то коэффициент уровнепроводности можно уточнить, опираясь на выражение:

$$a = T/\mu. \tag{3.47}$$

Этап временного графика, которому соответствуют достаточно надёжные значения коэффициента пьезопроводности или уровнепроводности, можно использовать для достоверного определения значений r'_c:

$$r'_c = \sqrt{a/\left(\frac{a}{r_c^2}\right)}. \tag{3.48}$$

На любом этапе опробования, при наличии надёжного значения r'_c, можно оценить размеры депрессионной воронки. Значение $\lg R_п/r'_c$ рассчитывается на основании зависимости (3.20), а значение условного радиуса питания получается на основании выражения:

$$R_п = (R_п/r'_c)r'_c. \tag{3.49}$$

Следует помнить, что значение $R_п$ существенно меньше размеров фактической депрессионной воронки. Радиус депрессионной воронки в безграничных пластах обозначается как радиус влияния откачки ($R_{вл}$). Соотношение значений радиусов влияния и питания в безграничных пластах составляет 2.33. Размеры депрессионной воронки в двухслойных пластах можно рассчитать на основании зависимостей (3.22), (3.23).

Достаточная надежность рассчитанных значений параметров обеспечивается:

- малыми вариациями значений параметра уровнепроводности;
- значительным понижением внесенной погрешности при извлечении квадратного корня.

Таким образом, тщательная интерпретация данных одиночных опробований позволяет рассчитать ориентировочные значения практически всех необходимых параметров.

3.6. Влияние емкости ствола скважин на результаты опробования

При проведении исследований в породах со слабыми фильтрационными свойствами или в скважинах большого диаметра начальные периоды понижения и восстановления уровней всегда осложняются участием в формировании дебита откачки емкости (объема) опытной скважины. В качестве критерия, позволяющего оценивать продолжительность влияния емкости опытной скважины на форму графиков временного прослеживания (рис. 3.5), обычно используют выражение

$$\frac{\omega_c S(\Delta H)}{Q t_{ем}} \leq \varepsilon, \qquad (3.50)$$

где ω_c- площадь сечения ствола скважины;

$S(\Delta H)$- понижение или восстановление уровня;

$t_{ем}$ – продолжительность влияния емкости скважины;

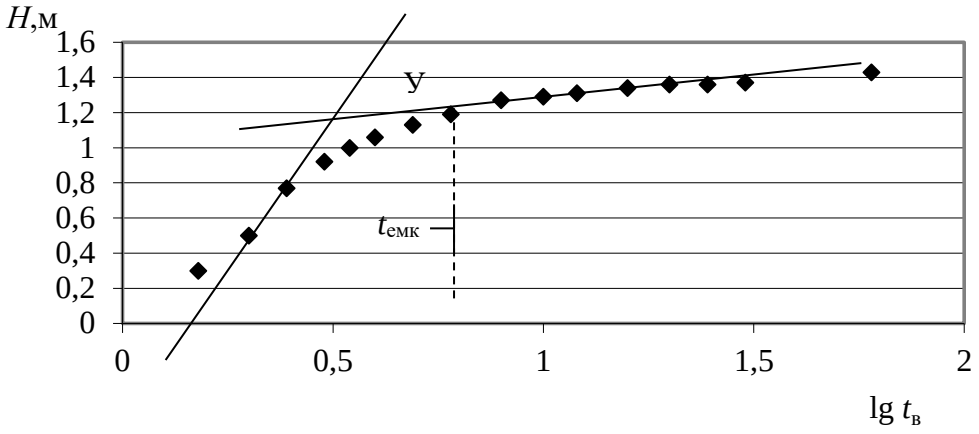
ε - допустимая погрешность.

Если принять, что ε=0,1; $\frac{Q}{S(\Delta H)} \approx T$; $\omega_c = \pi r_c^2$ то для ориентировочных расчетов периода влияния емкости выражение (3.50) упрощается:

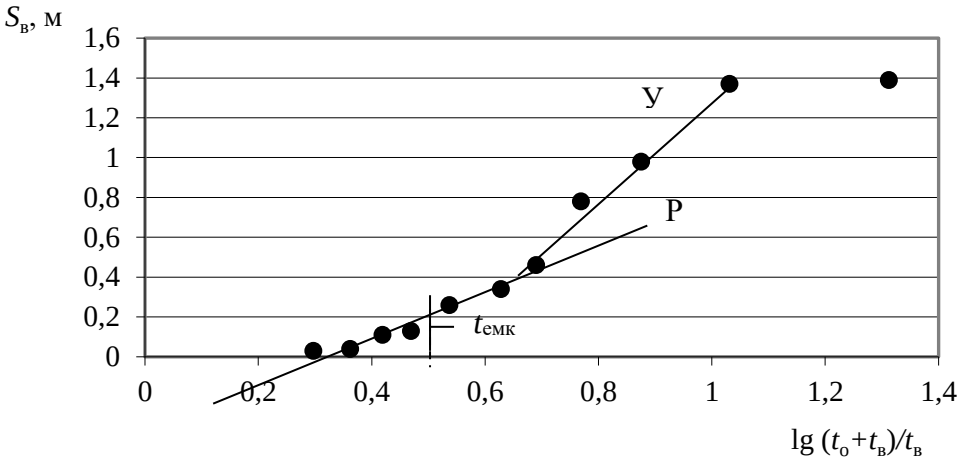
$$t_{емк} = \frac{10\pi r_c^2}{T} = \frac{31{,}4 r_c^2}{T}. \qquad (3.51)$$

На основании зависимости (3.51) можно оценить продолжительность влияния емкости скважины, задаваясь типичными для рассматриваемых условий значениями T и r_c^2 (см. табл. 3.3).

а



б



в

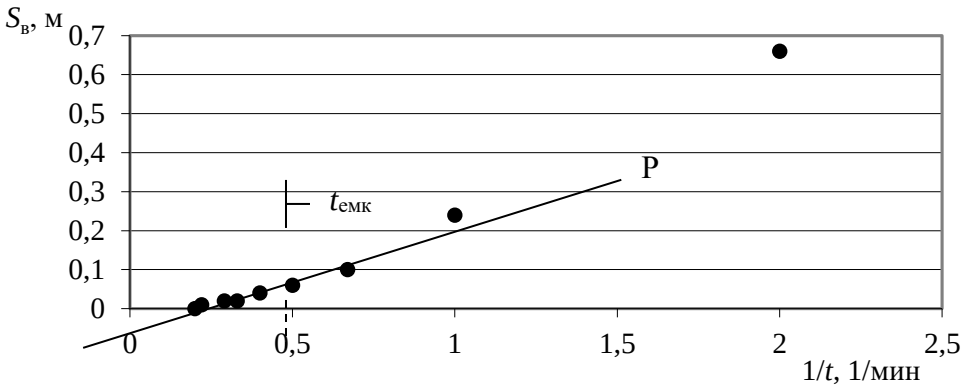


Рис. 3.5. Особенности интерпретации временных графиков; $t_{емк}$ – период влияния емкости скважины; Р – расчетный участок; У – участок для определения условного коэффициента $C_у$

Результаты расчетов свидетельствуют, что при T<50 м^2/сут влияние емкости скважины осложняет временные графики в течение довольно продолжительного периода. При опробовании скважин относительно большого диаметра (r_c≥0,2), влияние емкости скважины осложняет временные графики на начальном этапе опробования практически всегда.

Использование выражения (3.50) при обработке фактических материалов связано с существенными трудностями, которые определяются недостаточной точностью величин, входящих в данную зависимость. Принимаемое значение допустимой погрешности не является строго определенным. Площадь фактического сечения скважины зависит кроме радиуса скважины от размеров водоподъемного оборудования, занимающего часть ствола скважины, наличия каверн и вывалов в зоне изменения уровней. Значения величин возмущения уровня (S или ΔH), входящие в выражение (3.50), должны определяться на момент окончания периода влияния емкости скважины. Поэтому точное значение этих величин оценить достаточно сложно.

В рассматриваемых гидрогеологических условиях нередко требуется точное определение продолжительности влияния емкости скважины. Наличие других осложняющих факторов, например, этапов ложной стабилизации, приводит к тому, что представительные участки временного графика, пригодные для определения гидродинамических параметров пласта, недостаточно выражены и имеют очень короткую продолжительность.

Хорошие результаты даёт способ диагностики, позволяющий достаточно точно оценивать период влияния емкости ствола скважины, а также достоверно выделять представительный участок временного графика. Этот способ основан на свойстве графика $S_в \div \lg((t_0 + t_в)/t_в)$ приходить в начало координат при отсутствии каких-либо других фильтрационных аномалий. Даже в тех случаях, когда форма временного графика осложняется влиянием этапов ложной стабилизации или граничных условий, участок графика, деформированный влиянием емкости, отличается по форме, уклону и отделяется от представительного (расчетного) участка резким перегибом

(см. рис. 3.5). Форма временного графика позволяет достаточно точно выделить период влияния ёмкости скважины и момент окончания этого эффекта ($t_{\text{ем}}$).

При обработке данных фильтрационных опробований влияние емкости скважин на форму временных графиков имеет значительную продолжительность при проведении опробований в пластах с относительно низкими фильтрационными свойствами. Неправильный выбор представительного участка временного графика (на участке влияния ёмкости скважины) обычно приводит к занижению фильтрационных характеристик (параметра T) в 3 – 5 раз.

В тех случаях, когда представительный участок графика слабо выражен и рассчитать значение коэффициента $C_{\text{р}}$ с достаточной точностью не представляется возможным, можно определить значение $C_{\text{у}}$. Последняя характеристика – «условный» коэффициент - определяется по «крутому» участку графика, связанному с влиянием емкости ствола скважины. В тех случаях, когда на графиках хорошо выражены участки «Р» и «У», следует рассчитать поправочный коэффициент $C_{\text{у}}/C_{\text{р}}$. Этот коэффициент можно применять для скважин, расположенных на одном участке и вскрывающих тот же водоносный горизонт.

4. УЧЕБНЫЕ ЗАДАЧИ

4.1. Обработка опытной откачки в палеогеновом водоносном горизонте (изотропный пласт)

Опробуемый водоносный горизонт сложен трещиноватыми опоками и песчаниками палеогена мощностью около 60 м, перекрытыми глинами и диатомитами суммарной мощностью 80-90 м. Снизу водоносный пласт подстилается мощной (около 140 м) толщей глин.

Таблица 4.1

Данные откачки из скв. 60

Время от начала откачки t, сут	Дебит, л/с	Понижение S, м				
		центр. скв. 60 r_c=0,127 м	набл. скв. 59 r=50 м		набл. скв. 58 r=140 м	
0,083	2,7	8,30	0,15		0,02	
0,25	2,7	9,10	0,56		0,05	
0,50	2,75	9,60	0,92		0,10	
0,75	2,65	9,80	1,20		0,17	
1,0	2,7	10,05	1,38		0,25	
1,5	2,7	10,30	1,58		0,36	
2,0	2,7	10,50	1,80		0,57	
3,0	2,7	10,80	2,05		0,80	
4,0	2,7	11,00	2,23		0,97	
5,0	2,7	11,15	2,33		1,10	
6,0	2,65	11,25	2,47		1,22	
7,0	2,25	11,40	2,56		1,32	
8,0	2,8	11,45	2,60		1,42	
9,0	2,8	11,55	2,75		1,55	
10,0	2,75	11,60	2,80		1,60	
12,0	2,75	11,70	2,93		1,70	
14,0	2,7	11,85	3,03		1,78	
Время от начала восстановления t^*, сут			S, м	ΔH^*,м	S, м	ΔH^*,м
0,17		11,2	2,48	0,55	1,76	0,02
0,25		10,5	2,40	0,63	1,73	0,05
0,50		10,3	2,00	1,03	1,62	0,16
0,75		10,0	1,78	1,25	1,48	0,30
1,0		9,9	1,58	1,45	1,38	0,40
1,5		9,7	1,33	1,70	1,20	0,58
2,0		9,2	1,23	1,80	1,12	0,66
3,0		9,0	0,93	2,10	0,93	0,85

Кустовая откачка с двумя наблюдательными скважина 58, 59 выполнена из скв. 60 практически с постоянным дебитом 2,7 л/с в течение 14 сут при сохранении нестационарного режима фильтрации (табл. 4.1).

4.2. Обработка опытной откачки в палеогеновом водоносном горизонте (анизотропный пласт)

Кустовой откачкой опробован водоносный горизонт трещиноватых опок мощностью 50-60 м, перекрытый диатомитовыми глинами мощностью 8-12 м и подстилаемый плотными глинами мощностью более 40 м. Расположение скважине в кусте показано на рис. 4.1. Откачка проведена в течение 20 сут практически с постоянным дебитом 23,6 л/с. В области влияния откачки отсутствуют геологически выраженные границы пласта; в разрезе он изолирован перекрывающими и подстилающими глинами (рис. 4.2).

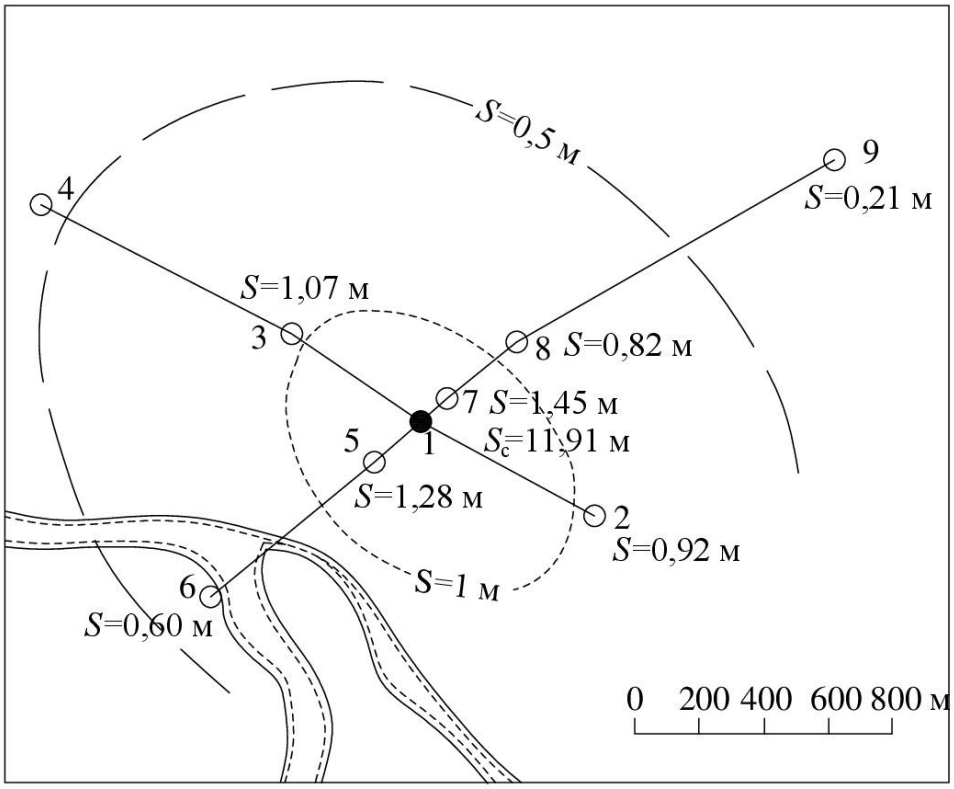


Рис. 4.1. План опытного куста скважин

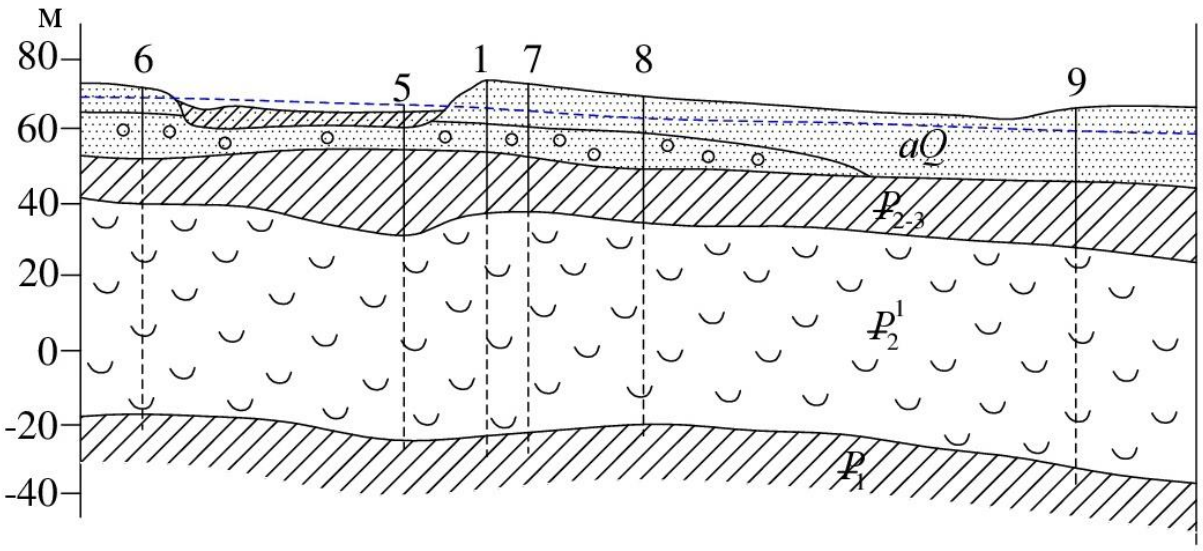


Рис. 4.2. Гидрогеологический разрез

Таблица 4.2

Данные снижения уровней при откачке из скв. 1

Время от начала откачки *t*, сут	Дебит, л/с	Центр. скв. 1 , r_c=0,076 м	2 *r*=620 м	3 *r*=500 м	4 *r*=1400 м	5 *r*=205 м	6 *r*=880 м	7 *r*=95 м	8 *r*=395 м	9 *r*=1550м
0,0104	25,8	1,30						0,0,3		
0,0174	25,8	1,73				0,01		0,08		
0,0243	-	10,79				0,03		0,12		
0,0313	24,7	10,81				0,05		0,15		
0,0417	24,7	10,81				0,07		0,20		
0,0521	-	10,86		0,01		-		-		
0,0625	24,7	10,83		0,02		0,12		0,27		
0,0833	24,3	10,86	0,01	0,03		0,17		0,32		
0,125	23,6	10,87	0,03	0,07		0,23		0,40	0,01	
0,208	24,0	10,91	0,06	0,13		0,33		0,50	0,03	
0,375	23,6	11,01	0,14	0,22		0,46	0,01	0,63	0,08	
0,5	24,0	11,11	0,18	0,27		0,52	0,02	0,69	0,12	
0,75	23,6	11,24	0,26	-	0,01	-	-	-	-	
1,0	23,6	11,40	0,30	0,41	0,02	0,66	0,08	0,83	0,22	
2,0	23,3	11,44	0,44	0,56	0,07	0,81	0,17	0,98	0,35	
3,0	23,3	11,47	0,52	0,65	0,12	0,90	0,23	1,07	0,44	0,01
4,0	23,6	11,67	0,58	0,71	0,16	0,96	0,28	1,13	0,50	0,02
5,0	23,3	11,75	0,63	0,76	0,20	1,0	0,32	1,17	0,55	0,03
6,0	24,0	11,88	0,67	0,80	0,23	1,04	0,36	1,20	0,58	0,04
8,0	23,3	11,74	0,73	0,86	0,28	1,10	0,42	1,26	0,64	0,07
10,0	23,6	11,72	0,77	0,90	0,32	1,14	0,46	1,30	0,68	0,10
12,0	23,6	11,67	0,81	0,94	0,36	1,16	0,49	1,33	0,72	0,13
14,0	23,6	11,77	0,85	0,98	0,38	1,19	0,53	1,36	0,75	0,15
16,0	23,6	11,82	0,87	1,01	0,40	1,23	0,56	1,40	0,78	0,17
18,0	23,6	11,87	0,90	1,04	0,42	1,25	0,58	1,42	0,80	0,19
20,0	23,6	11,91	0,92	1,07	0,43	1,28	0,60	1,45	0,82	0,21

Окончание табл. 4.2

Время от начала восстановления t^*, сут	Понижение S, м								
	Центр. скв. 1, r_c=0,076 м	2 r=620 м	3 r=500 м	4 r=1400 м	5 r=205 м	6 r=880 м	7 r=95 м	8 r=395 м	9 r=1550м
0,00013									
0,0006	10,22								
0,00138	3,19								
0,0035	2,42						1,44		
0,0069	2,06						1,41		
0,0104	1,83						1,38		
0,0139	1,75						1,35		
0,0174	1,71				1,26		1,33		
0,0208	1,65				1,25		1,31		
0,0278	-				1,24		1,29		
0,0313	1,58				1,23		1,26		
0,0417	-				1,20		-		
0,0521	1,54		1,05		-		1,20		
0,0625	1,49		-		-		-	0,81	
0,0833	1,45		1,04		1,12		1,14	-	
0,0938	1,39	0,91	-		-		-	0,80	
0,125	1,38	-	1,02		1,07		-	-	
0,146	1,29	0,89	-		-		1,02	0,78	
0,167	1,28	-	-		1,03		0,99	-	
0,208	1,24	0,86	0,96		0,99		0,94	0,76	
0,333	1,21	0,82	0,90		0,89		0,85	0,72	
0,458	-	0,77	0,84		0,81	0,55	0,77	0,69	
0,625	-	-	-		-	0,53	0,70	-	
0,875	1,04	0,64	0,69	0,42	0,65	-	-	0,58	
0,958	-	-	-	-	-	0,50	0,62	-	
1,23	0,94	0,57	0,61	-	0,57	-	0,56	0,52	
1,5	0,76	0,52	0,56	0,37	0,52	-	0,52	0,49	
2,04	0,61	0,45	0,48	0,34	0,44	-	0,45	0,43	
3,25	0,52	0,36	0,39	0,28	0,33	0,30	0,35	0,34	
4,13	0,46	0,31	0,32	0,25	0,27	-	0,30	0,29	0,20
5,25	0,39	0,26	0,27	0,22	0,22	0,21	0,25	0,25	0,19
6,13	0,34	0,23	0,23	0,20	0,19	0,18	0,22	0,22	0,18
12,13		0,10	0,08	0,10	0,08	0,06	0,09	0,11	0,15

4.3. Обработка опытной откачки в хазарском водоносном горизонте

Схема опытного куста в водоносном пласте, сложенном мелкозернистыми хазаровскими песками, перекрытыми хвалынскими глинами и суглинками, показана на рис. 4.3. Откачка проведена с постоянным дебитом Q=2500 м^3/сут в течение трех суток с последующим наблюдением за восстановлением уровней в течение трех суток. Данные понижений S и восстановлений ΔH^* уровней в пьезометрических скважинах приведены в табл. 4.3.

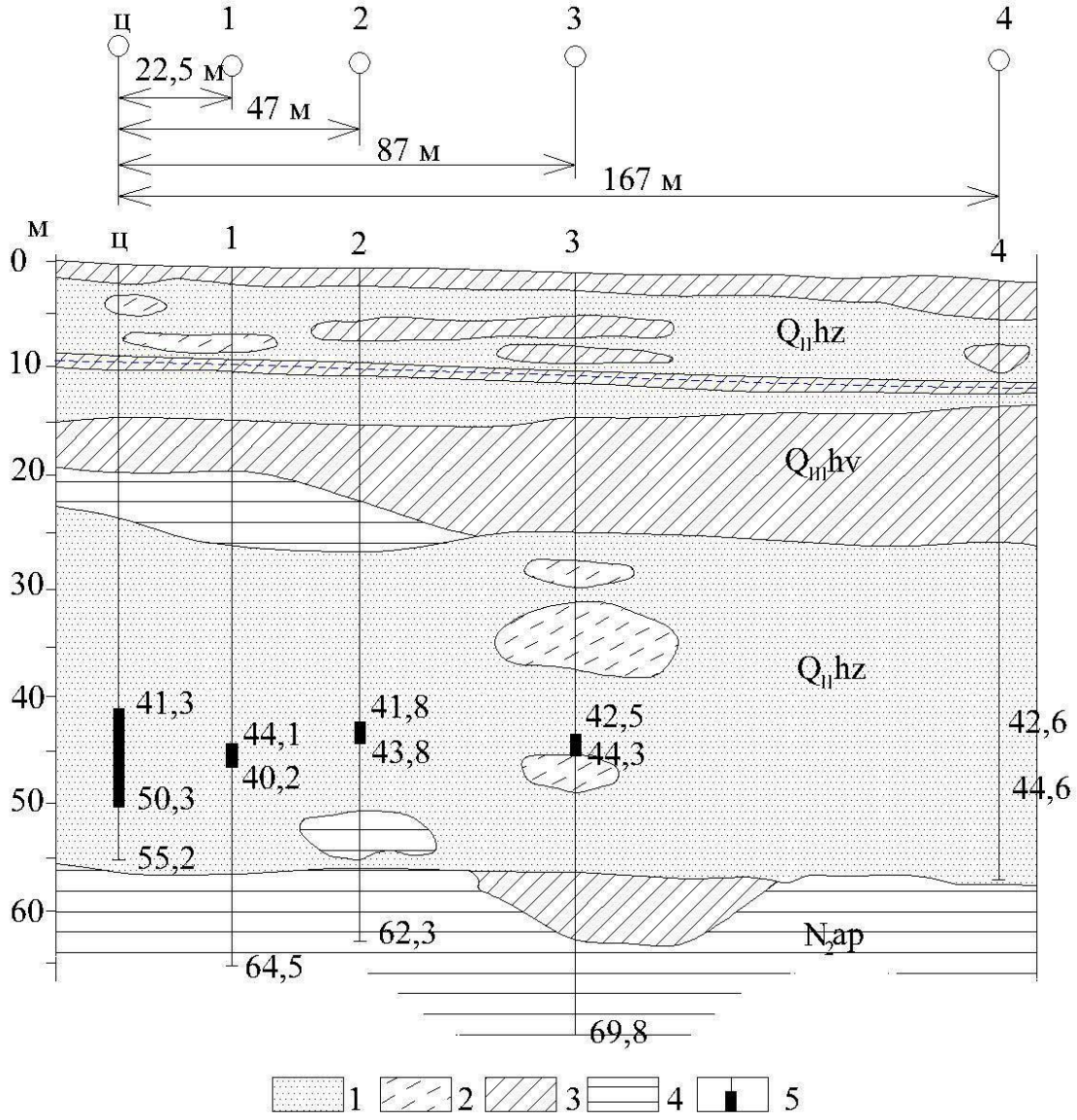


Рис. 4.3 План расположения и разрез по лучу пьезометрических скважин кустовой откачки из хазарских отложений:
1 - песок; 2 - супесь; 3 - суглинок; 4 - глина; 5 - интервал фильтров скважин

Таблица 4.3

Данные наблюдений при откачке

t, мин	Скв. 1 r_1=22,5 м		Скв. 2 r_2=47 м		Скв. 3r_3=87 м		Скв. 4 r_4=167 м	
	S, м	ΔH^*, м	*S*, м	ΔH^*, м	*S*, м	ΔH^*, м	*S*, м	ΔH^*, м
2	0,539	0,4	0,079	0,2	-	0,14	-	-
4	0,77	0,56	0,37	0,38	-	0,12	-	-
6	0,91	0,68	0,48	0,48	0,21	0,19	0,038	-
8	1,01	0,9	0,59	0,62	0,29	0,22	0,05	0,03
10	1,082	0,94	0,67	0,64	0,35	0,3	0,07	0,02
15	1,24	-	0,819	-	0,48	-	0,12	-
20	1,37	1,15	0,919	0,82	0,56	0,44	0,16	0,13
30	1,5	1,33	1,04	1,02	0,66	0,58	0,24	0,18
45	1,7	-	1,22	-	0,84	-	0,36	-
55	-	1,58	-	1,18	-	0,8	-	0,38
60	1,8	-	1,34	-	0,95	-	0,44	-
120	2,,02	-	1,57	-	1,19	-	0,68	-
170	-	1,96	-	1,58		1,12		0,66
320	2,2		1,74		1,34		0,84	
660	2,57		2,09		1,72		1,19	
1000	2,67		2,22		1,84		1,28	
1400	2,74		2,31		1,88		1,36	
1800	2,77		2,31		1,92		1,39	
2000	2,81		2,31		1,93		1,43	
3100	2,84		2,34		1,94		1,46	
4000	2,84		2,41		1,942		1,46	
5000	2,842		2,42		1,96		1,48	

4.4. Наливы и откачки с постоянным дебитом в одиночных скважинах

Налив с постоянным дебитом в скважину 2а

Скважина 2а расположена на полигоне УГГУ. Скважина вскрывает двухслойный пласт. Коренные породы представлены гнейсами протерозойского возраста. Водопроводимость определяется трещинами горных пород. Коренные породы перекрыты покровными глинистыми образованиями мощностью 5 м.

В скважину 2а произведен налив с постоянным дебитом продолжительностью 30 минут. Данные наблюдений за дебитом и уровнем подземных вод при наливе представлены в табл. 4.4, 4.5, 4.6.

Таблица 4.4

Данные наблюдений за дебитом

t, мин	5	10	15	20	25	30
Q, л/с	0,14	0,13	0,14	0,15	0,17	0,17

Таблица 4.5

Данные наблюдений за уровнем при наливе

t, мин	0,16	0,33	0,5	0,67	0,83	1,0	1,66	2,0	2,5	3,0
$G_{тд}$, м	6,23	6,12	5,97	5,75	5,50	5,30	5,06	5,00	4,90	4,82
S, м	0,05	0,16	0,31	0,53	0,78	0,98	1,22	1,28	1,38	1,46
t, мин	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	20,0	30,0	-
$G_{тд}$, м	4,79	4,73	4,68	4,56	4,53	4,50	4,48	4,40	4,39	-
S, м	1,49	1,55	1,6	1,72	1,75	1,78	1,8	1,89	1,89	-

Таблица 4.6

Данные наблюдений за восстановлением уровня

$t_в$, мин	0,16	0,33	0,5	1,0	1,66	2,0	2,5	3,0
$G_{тд}$, м	4,54	4,67	4,82	5,19	5,42	5,53	5,69	5,81
$S_в$,м	1,74	1,61	1,46	1,09	0,86	0,75	0,59	0,47
$t_в$, мин	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	20,0
$G_{тд}$, м	6,0	6,07	6,14	6,20	6,22	6,24	6,26	6,28
$S_в$,м	0,28	0,21	0,14	0,08	0,06	0,04	0,02	0

5. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ

Таблица 5.1

Данные для построения зависимости $S \div \lg t$

t, мин	0,16	0,3	0,5	0,67	0,83	1,0	1,66	2,0	2,5	3,0
lg t	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,3	0,4	0,5
S,м	0,05	0,16	0,31	0,53	0,78	0,98	1,22	1,28	1,38	1,46
t, мин	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	20,0	30,0	-
lg t	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	-
S, м	1,49	1,55	1,6	1,72	1,75	1,78	1,8	1,88	1,89	-

Таблица 5.2

Данные для построения зависимости $\Delta H \div \lg t_в$

tв, мин	0,16	0,33	0,5	1,0	1,66	2,0	2,5	3,0
lg $t_в$	-0,8	-0,5	-0,3	0	0,2	0,3	0,4	0,5
ΔH, м	0,16	0,28	0,43	0,8	1,03	1,14	1,3	1,42
$t_в$, мин	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	20,0
lg $t_в$	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
ΔH, м	1,61	1,68	1,75	1,81	1,83	1,85	1,87	1,89

Таблица 5.3

Данные для построения зависимости $S_в \div \lg (t_о + t_в)/t_в$

$t_в$	0,16	0,3	0,5	0,83	1,0	1,66	2,0	2,5	3,0
$(t_о + t_в)/t_в$	188,5	91,9	61	37,14	31,0	19,1	16,0	13,0	11,0
lg $(t_о + t_в)/t_в$	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
$S_в$, м	1,74	1,61	1,46	1,2	1,09	0,86	0,75	0,59	0,47
$t_в$	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	20,0	30,0
$(t_о + t_в)/t_в$	8,5	7,0	6,0	4,75	4,0	3,5	3,0	2,5	1,0
lg $(t_о + t_в)/t_в$	0,93	0,85	0,78	0,68	0,6	0,50	0,48	0,40	0
$S_в$, м	0,28	0,21	0,14	0,08	0,06	0,04	0,02	0	0

Таблица 5.4

Результаты интерпретации данных налива

Зависимость	$S \div \lg t$	$\Delta H \div \lg t_в$	$S_в \div \lg (t_о + t_в)/t_в$
$C_у$, м	1,90	1,46	1,42
$C_р$, м	0,44	0,34	0,34
$C_у/C_р$	4,32	4,29	4,18
T, м^2/сут	5,41	7,0	7,0

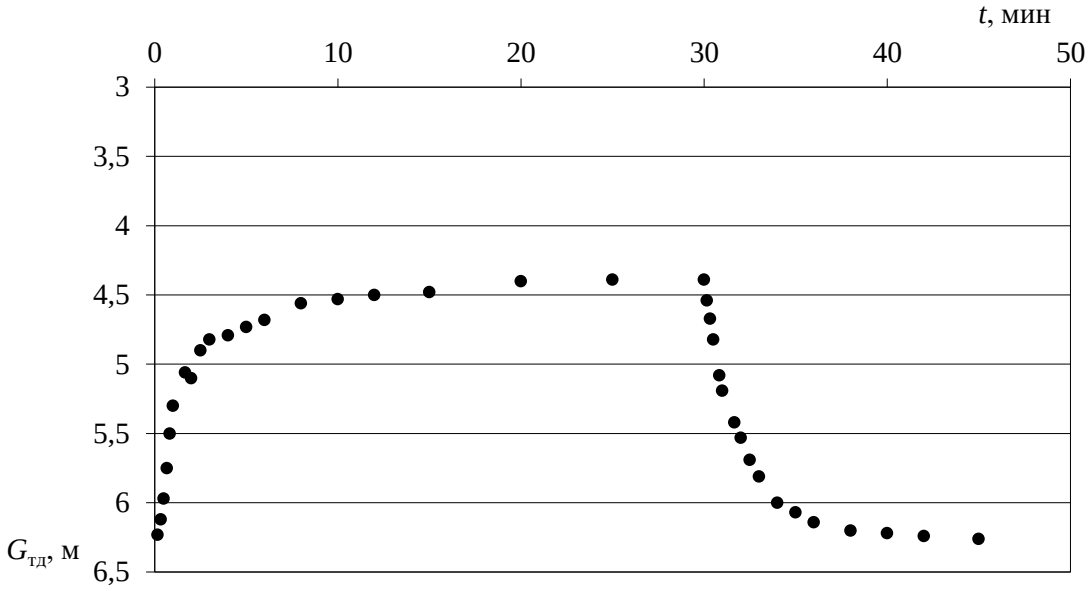


Рис. 5.1. Зависимость $G_{тд} \div t$. Налив в скв. 2а

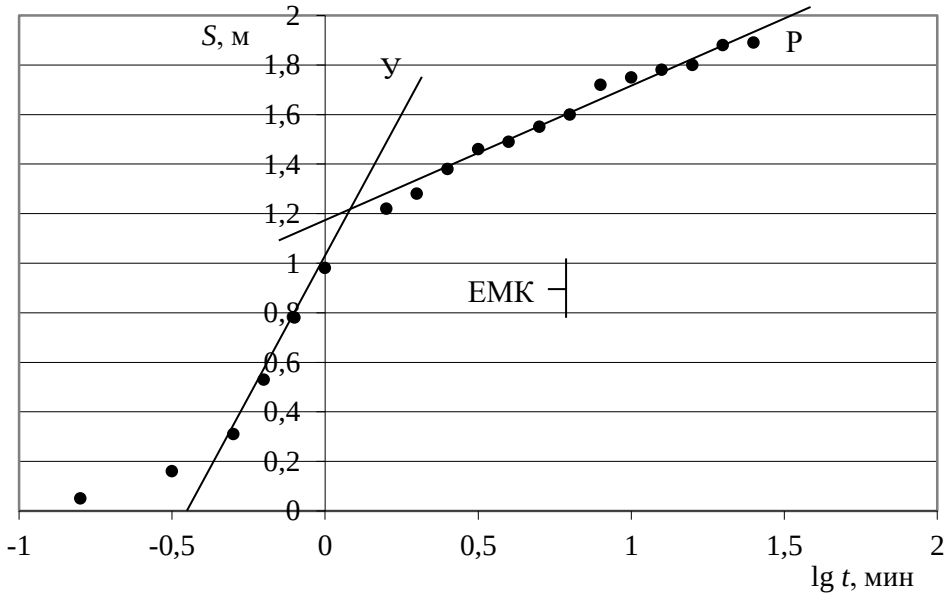


Рис. 5.2. Зависимость $S \div \lg t$. Налив в скв. 2а

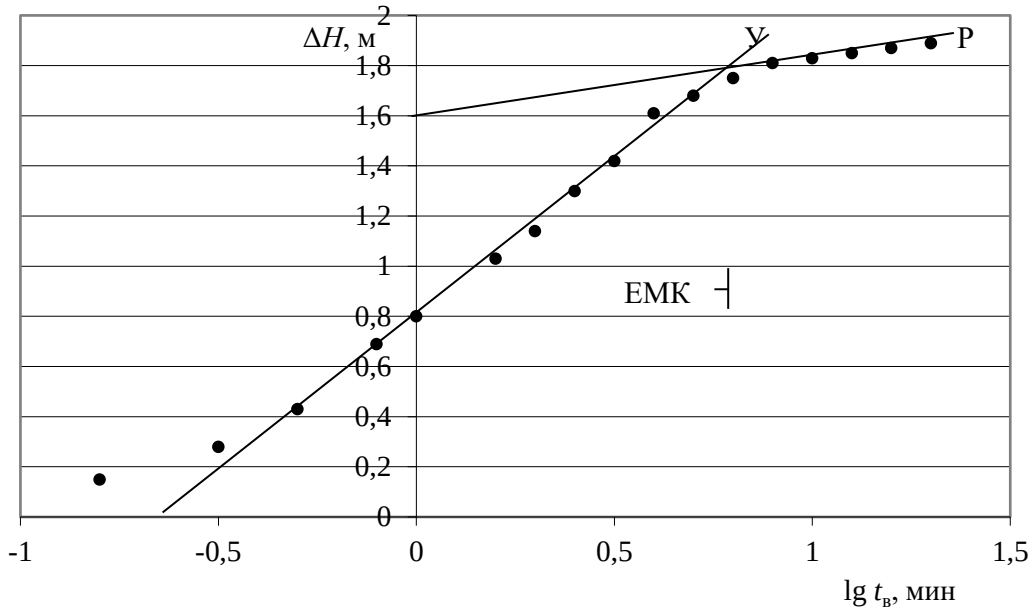


Рис.5.3. Зависимость $\Delta H \div \lg t_в$. Налив в скв. 2а

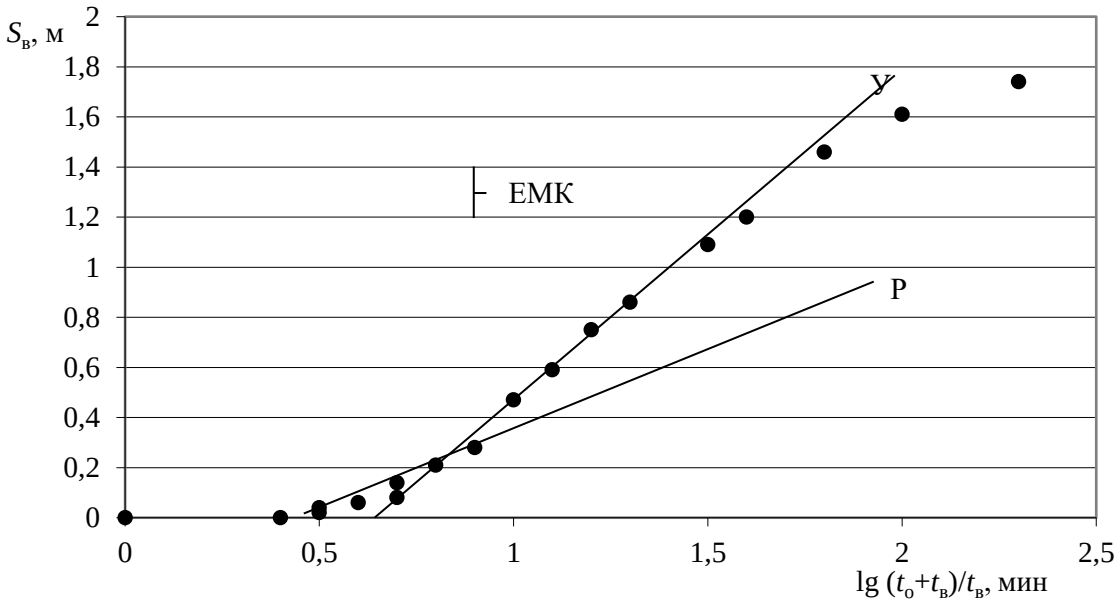


Рис. 5.4. Зависимость $S_в \div \lg (t_о+t_в)/ t_в$. Налив в скв. 2а

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. *Планирование кустовой откачки*: методические указания по курсовой работе по дисциплине «Динамика подземных вод» для студентов специальности 130302 – «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания (ГИГ)» / сост.: С. Н. Тагильцев, Т. Н. Кибанова, В. С. Тагильцев; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: УГГУ, 2008. – 31 с.

2. *Синдаловский Л. Н.* Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований. - СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2006 - 769 с.

3. *Фисун Н. В., Ленченко Н. Н.* Динамика подземных вод. Краткий курс лекций и лабораторный практикум. – М.: Научный мир, 2016. – 267 с.

4. *Шестаков В. М.* Гидрогеодинамика. – М.: КДУ, 2009. – 334 с.

Дополнительная:

5. *Мироненко В. А.* Динамика подземных вод. - М.: МГГУ, 2001. 519 с.

6. *Гавич И. К.* Гидрогеодинамика. - М.: Недра, 1988. 358 с.

7. *Мироненко В. А., Шестаков В. М.* Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. - М.: Недра, 1978 - 326 с.

8. *Шестаков В. М., Кравченко И. П., Штенгелов Р. С.* Практикум по динамике подземных вод. - М.: МГУ, 1987 - 224 с.

Учебное пособие

Сергей Николаевич Тагильцев
Татьяна Николаевна Кибанова
Викентий Сергеевич Тагильцев
Анна Евгеньевна Рубцова

ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ

Практикум по динамике подземных вод для студентов специализации
«Поиски и разведка подземных вод
и инженерно-геологические изыскания»
направления 21.05.02– «Прикладная геология»

Редактор Л. В. Устьянцева
Компьютерная верстка А. Е. Рубцова

Подписано в печать 16.02.18
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ. л. 3, 25. Уч. – изд. л. 1,61. Тираж 200 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал - макета в лаборатории
множительной техники УГГУ

МИНОБНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО УГГУ)

С.Н. Тагильцев

Динамика подземных вод

**Методические указания
по организации самостоятельной работы
для обучающихся специальности
21.05.03 – Технология геологической разведки**

Специализация № 3 «Технология и техника разведки МПИ»

Форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург
2019

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

ОДОБРЕНО:
Зав. кафедрой ГИГГ

_____ С.Н. Тагильцев

«_13_» __апреля__ 2019 г.

С.Н. Тагильцев

Динамика подземных вод

Методические указания
по организации самостоятельной работы
для обучающихся специальности
21.05.03 – Технология геологической разведки

Специализация № 3 «Технология и техника разведки МПИ»

Форма обучения: очная, заочная

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	3
1.	Общие положения	4
2.	Самостоятельная работа студентов, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям	7
	2.1. Повторение материала лекций	7
	2.2. Самостоятельное изучение тем курса	8
	2.3. Подготовка к практическим и лабораторным работам	8
3.	Другие виды самостоятельной работы	8
	3.1. Подготовка к зачёту	8
	3.2. Подготовка и написание контрольной работы	9
	3.3. Подготовка и написание курсового проекта	9
	3.4. Подготовка к экзамену	9

Введение

Самостоятельная работа в современном образовательном процессе рассматривается как форма организации обучения, которая способна обеспечивать самостоятельный поиск необходимой информации, творческое восприятие и осмысление учебного материала в ходе аудиторных занятий, разнообразные формы познавательной деятельности студентов на занятиях и во внеаудиторное время, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, выработку умений и навыков рациональной организации учебного труда.

Таким образом, самостоятельная работа – форма организации образовательного процесса, стимулирующая активность, самостоятельность, познавательный интерес студентов.

В методических указаниях рассматриваются вопросы организации самостоятельной работы для студентов Уральского государственного горного университета.

Методическое указание включает три главы, которые логически связаны друг с другом. Первая глава знакомит читателя с теоретическими основами самостоятельной работы студентов и особенностями подготовки к ней в вузе. Во второй и третьей главах представлен материал, который содержит информацию о видах самостоятельной работы по данной дисциплине, а также об источниках информации для осуществления самостоятельной работы. Эмпирической основой разработки системы критериев и показателей оценки форм самостоятельной работы стал практический опыт работы преподавателей кафедры геодезии и кадастров.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов всех форм и видов обучения является одним из обязательных видов образовательной деятельности, обеспечивающей реализацию требований Федеральных государственных стандартов высшего образования (ФГОС), созданных на основе Федерального закона от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

Конкретные требования к самостоятельной работе студентов определяются в Федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования по направлению.

Нормативные требования к самостоятельной работе студентов дополняются документами локального характера: Уставом Уральского государственного горного университета, рабочей программой дисциплины.

Согласно требованиям нормативных документов, самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом образовательного процесса, так как она обеспечивает закрепление получаемых на лекционных занятиях знаний путем приобретения навыков осмысления и расширения их содержания, навыков решения актуальных проблем формирования общекультурных и профессиональных компетенций, подготовки к практическим занятиям, сдаче зачета и экзамена.

Самостоятельная работа студентов представляет собой совокупность внеаудиторных занятий и работ, обеспечивающих успешное освоение образовательной программы высшего образования в соответствии с требованиями ФГОС.

Навыки самостоятельной работы по освоению каких-либо знаний приобретаются человеком с раннего детства и развиваются в течение всей жизни. К началу обучения в вузе каждый студент имеет личный опыт и навыки организации собственных действий, полученные в процессе обучения в школе, учреждениях дополнительного образования, во время внешкольных занятий и в

быту. Однако при обучении в вузе требования к организации самостоятельной работы существенно возрастают, так как они связаны с освоением сложных общекультурных и профессиональных компетенций.

Практика показывает, что студенты различаются по уровню готовности к реализации требований к самостоятельной работе. Выделяются две основные группы студентов. Первая характеризуется тем, что ее представители ориентированы на выполнение заданий самостоятельной работы и обладают универсальными учебными компетенциями, позволяющими успешно справиться с требованиями к ее выполнению (умением понимать и запоминать приобретаемую информацию, логически мыслить, воспроизводить материал письменно и устно, проводить измерения, вычисления, проектировать и т. д.). Студенты второй группы не имеют устойчивой ориентации на постоянное выполнение самостоятельной работы при освоении учебного материала и отличаются низким уровнем развития универсальных учебных компетенций и навыков самоорганизации.

Самостоятельная работа в рамках образовательного процесса в вузе решает следующие *задачи:*

- закрепление и расширение знаний, умений, полученных студентами во время аудиторных и внеаудиторных занятий, превращение их в стереотипы умственной и физической деятельности;

- приобретение дополнительных знаний и навыков по дисциплинам учебного плана;

- формирование и развитие знаний и навыков, связанных с научно-исследовательской деятельностью;

- развитие ориентации и установки на качественное освоение образовательной программы;

- развитие навыков самоорганизации;

- формирование самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

- выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной теоретической, практической и учебно-исследовательской деятельности.

Для реализации задач самостоятельной работы студентов и ее осуществления необходим *ряд условий*, которые обеспечивает университет:

- наличие материально-технической базы;

- наличие необходимого фонда информации для самостоятельной работы студентов и возможности работы с ним в аудиторное и внеаудиторное время;

- наличие помещений для выполнения конкретных заданий, входящих в самостоятельную работу студентов;

- обоснованность содержания заданий, входящих в самостоятельную работу студентов;

- связь самостоятельной работы с рабочими программами дисциплин, расчетом необходимого времени для самостоятельной работы;

- развитие преподавателями у студентов навыков самоорганизации, универсальных учебных компетенций;

- сопровождение преподавателями всех этапов выполнения самостоятельной работы студентов, текущий и конечный контроль ее результатов.

Специфическими *принципами организации* самостоятельной работы в рамках современного образовательного процесса являются:

- принцип интерактивности обучения (обеспечение интерактивного диалога и обратной связи, которая позволяет осуществлять контроль и коррекцию действий студента);

- принцип развития интеллектуального потенциала студента (формирование алгоритмического, наглядно-образного, теоретического стилей мышления, умений принимать оптимальные или вариативные решения в сложной ситуации, умений обрабатывать информацию);

- принцип обеспечения целостности и непрерывности дидактического цикла обучения (предоставление возможности выполнения всех звеньев дидактического цикла в пределах темы, раздела, модуля).

Самостоятельная работа студентов планируется преподавателем в рабочей программе дисциплины.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение: в учебном плане в целом по теоретическому обучению, по каждому из циклов дисциплин, по каждой дисциплине; в рабочих программах учебных дисциплин с ориентировочным распределением по разделам или конкретным темам.

Самостоятельная работа студентов классифицируется: по месту организации (аудиторная и внеаудиторная); по целям организации (цели дисциплины, сформулированные и обоснованные в рабочей программе); по способу организации (индивидуальная, групповая).

Выбор формы организации самостоятельной работы студентов (индивидуальная или групповая) определяется содержанием учебной дисциплины и формой организации обучения (лекция, семинар, практическое занятие, контрольное занятие и др.).

В зависимости от формы промежуточной аттестации виды самостоятельной работы дополняются подготовкой к экзамену, зачету и процедурами текущей аттестации.

2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПОДГОТОВКУ К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

2.1. Повторение материала лекций

Источники информации по теме лекции:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием;

2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения лекционного занятия;

3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

2.2. Самостоятельное изучение тем курса

Самостоятельное изучение тем осуществляется при обучении на заочной форме обучения.

Источники информации для самостоятельного изучения тем:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед сессией;

2) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

2.3. Подготовка к практическим и лабораторным занятиям

Типовые задания (примеры) работ, выполняемые на практических занятиях представлены в комплекте оценочных материалов.

Принципы работы на практических занятиях озвучиваются преподавателем на соответствующих лекционных занятиях.

Источники информации для подготовки к практическим занятиям:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием либо в начале сессии;

2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения практического или лабораторного занятия (при наличии);

3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины;

4) методические указания по выполнению практических и лабораторных занятий.

3. ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1. Подготовка к зачету

В комплекте оценочных средств представлен перечень тестовых заданий, теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий, которые входят в постав билетов.

Источники информации для подготовки к зачету:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием либо в начале сессии;

2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения лекционного занятия (при наличии);

3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

3.2 Подготовка и написание контрольной работы

Для выполнения контрольных работ студентами кафедрой подготовлены Методические рекомендации и задания к контрольным работам для студентов направления 21.05.02 Прикладная геология.

3.3 Подготовка и написание курсового проекта

Для выполнения курсового проекта кафедрой подготовлены Методические рекомендации по выполнению курсового проекта для студентов направления 21.05.02 Прикладная геология.

3.4 Подготовка к экзамену

В комплекте оценочных средств представлен перечень теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий, которые входят в постав билетов.

Источники информации для подготовки к экзамену:

1) раздаточный материал, который предоставляется студенту в электронном виде перед каждым лекционным занятием либо в начале сессии;

2) конспект лекции, который студент пишет во время проведения лекционного занятия (при наличии);

3) учебная литература, которая указана в рабочей программе дисциплины.

Учебное издание

Тагильцев Сергей Николаевич

Динамика подземных вод

Методические указания по организации самостоятельной работы
для обучающихся направления подготовки 21.05.02 – Прикладная геология
(специализация № 2 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания»)

Редактор Н.В. Рубан

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60 х 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л.. Уч.-изд. л. Тираж экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

М. Е. Садовников

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Методические указания по организации самостоятельной работы

Екатеринбург
2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Тематический план дисциплины 4
2. Тематика лабораторных, практических работ. 5
3. Теоретические вопросы к экзамену по дисциплине 7
4. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины 8
4.1. Основная литература 8
4.2. Дополнительная литература 9
5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. 9
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем ……9

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по самостоятельной работе студентов (СРС) определяют виды, требования к выполнению и отчетности, рекомендации по выполнению СРС.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности процесса обучения по основной образовательной программе путем правильной организации и выполнения самостоятельной работы.

Самостоятельная работа есть планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская деятельность студентов, осуществляемая, в основном, во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. В настоящих методических указаниях предметом является самостоятельная учебная работа.

Основными видами самостоятельной учебной работы являются:

самовоспроизводящая – самостоятельное прочтение, просмотр, конспектирование учебной литературы и информации Интернет-ресурсов, прослушивание лекций, аудио- и видеоматериалов, заучивание, пересказ, запоминание, повторение учебного материала и др.;

поисковая – подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам и литературы по теме рефератов, контрольных и курсовых работ и др.;

творческая – написание рефератов, выполнение курсового проекта, подготовка выпускной работы (проекта), выполнение специальных заданий и др.

Самостоятельная учебная работа включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, семинарским, лабораторным работам и др.) и выполнение соответствующих заданий;
- самостоятельную работу над отдельными темами учебных дисциплин в соответствии с учебно-тематическими планами;
- написание рефератов, докладов, эссе;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение предусмотренных ими заданий;
- выполнение письменных контрольных и курсовых работ;
- подготовку ко всем видам контрольных испытаний, в том числе к коллоквиумам, экзаменам и зачетам, тестированию и интернет-тестированию, государственным экзаменам;
- подготовку к итоговой государственной аттестации, в том числе выполнение выпускной квалификационной работы (проекта) или магистерской диссертации;
- другие виды учебной деятельности, организуемой и осуществляемой вузом, факультетом или кафедрой.

Виды заданий для выполнения самостоятельной работы: сообщение или доклад на семинарском занятии, реферат, расчетно-графическая работа, курсовая работа и курсовой проект, выпускная квалификационная работа, магистерская диссертация. Темы заданий для выполнения учебной самостоятельной работы студентов указывает преподаватель.

Методические рекомендации к планированию и выполнению самостоятельной учебной работы

Приступая к изучению учебной дисциплины, следует ознакомиться с рабочей учебной программой или тематическим планом дисциплины (табл. 1), перечнем обязательной и дополнительной учебной, научной и методической литературы (раздел 4), получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, завести новую тетрадь для конспектирования лекций и работы с первоисточниками.

Вопросы для экзамена, указанные в настоящих методических указаниях (раздел 3), могут быть использованы студентом для углубленного изучения содержания дисциплины. Студент имеет право выбирать дополнительно интересующие его темы для самостоятельной работы.

Студентам должны самостоятельно выполнять индивидуальные письменные задания и упражнения, предлагаемые при подготовке к учебным занятиям.

Серьезная организованная работа по подготовке к семинарским занятиям, написанию письменных работ значительно облегчит подготовку к экзаменам и зачетам. При подготовке к зачету, экзамену студент должен повторить, как правило, ранее изученный материал. В этот период играют большую роль подготовленные заранее записи и конспекты.

Контрольная работа (КР) предназначена для выработки умения дать лаконичный аргументированный полный ответ на вопрос изучаемого курса, снабженный выводами. Как правило, она выполняется студентами, обучающимися по заочной форме обучения. Написание ее требует самостоятельности и ответственного отношения, способности работать с литературой по проблеме, знаний истории и теории вопроса, основных теоретических положений. Успешное выполнение контрольной работы учитывается при выставлении экзаменационной оценки. Объем работы не должен превышать 8-10 страниц печатного или рукописного текста, и содержать титульный лист, основную часть работы, список использованной литературы.

Расчетно-графическая работа (РГР) содержит задание на выполнение законченного инженерного расчета по выбору или проверке узлов или составных частей электротехнических систем в составе электротехнического комплекса.

Термин *реферат* (Р) имеет два смысла, во-первых, это краткое изложение содержания документа или его части, научной работы, включающее основные фактические сведения и выводы, необходимые для первоначального ознакомления с источниками и определения целесообразности обращения к ним и, во-вторых, это вид самостоятельной работы студента, под которым понимается краткое изложение в письменном виде или в форме публичного доклада содержания книги, учения, научного исследования и т.п., другими словами, это доклад на определенную тему, освещающий её вопросы на основе обзора литературы и других источников.

Рефераты в как вид самостоятельной работы студента оцениваются по следующим основным критериями: актуальность содержания, теоретический уровень, глубина и полнота анализа фактов, явлений, проблем, относящихся к теме; информационная насыщенность, новизна, оригинальность изложения вопросов; простота и доходчивость изложения; структурная организованность, логичность, грамматическая правильность и стилистическая выразительность; убедительность, аргументированность, практическая значимость и теоретическая обоснованность предложений и выводов.

Для выполнения самостоятельной работы других видов – курсовой работы и проекта, выпускной квалификационной работы, имеются соответствующие методические указания.

1. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Тематический план дисциплины

№	Наименование, раздела и темы	Самостоятельная работа, часов		Литература (страницы)
		очная	заочная	
1	Условия эксплуатации электрооборудования на горных предприятиях. Исполнение электрооборудования	6	11	[1] с. 21…45, [3] с. 7...10, 14...23, [5] с. 25...28
2	Уровни напряжения, качество электроэнергии, режимы нейтрали	6	11	[1] с. 45…55, 175...182, [3] с. 10...14, [5] с. 16...20, 39....43,

№	Наименование, раздела и темы	Самостоятельная работа, часов		Литература (страницы)
		очная	заочная	
				[6] с. 53...97
3	Электрооборудование технологических установок горных предприятий	6	11	[1] с. 455...484, [2] с. 215…263, 505...588, [5] с. 305...369, [6] с. 97...107
4	Электрооборудование распределительных сетей горных предприятий	6	11	[1] с. 420...434, 444...455, [2] с. 23...33, 133...142, [3] с. 143…151, [5] с. 207...305, [6] с. 179...220
5	Электрооборудование для управления электроприводами на горных предприятиях	6	11	[1] с. 142...178, [2] с. 23...33, 133...142 [3] с. 143…151
6	Правила выполнения чертежей раздела проекта «Силовое электрооборудование»	6	11	Конспект лекций, ГОСТ 21.614-88, ГОСТ 2.856-75
7	Электрическое освещение	6	11	[1] с. 118...167, [3] с. 23…118, [5] с. 129...171, [6] с. 463...475
8	Расчёт электрических нагрузок и компенсация реактивной мощности	4	11	[1] с. 76...94, [2] с. 369...373, [3] с. 118…137, [6] с. 411...430, РТМ 36.18.32.4-92
9	Выбор числа трансформаторов и трансформаторных подстанций горных предприятий	6	10	[1] с. 411...417, 420...441, [2] с. 55…59, 69...76, 80...86, [3] с. 140...163, [6] с. 251...267
10	Низковольтные распределительные устройства горных предприятий	6	10	[1] с. 23...33, 133...142, [3] с. 163…217, [6] с. 267...281
11	Электрические связи	8	10	[1] с. 369...371, [2] с. 178...215, [4] с. 4...78, [6] с. 286...325
12	Расчёт токов короткого замыкания	6	13	[2] с. 78...137
13	Проверка электрооборудования, электроаппаратов и проводок по действию токов короткого замыкания	6	10	[4] с. 137...149
14	Проектирование мер защиты от поражения человека	5	10	[1] с. 167...249,

№	Наименование, раздела и темы	Самостоятельная работа, часов		Литература (страницы)
		очная	заочная	
	электрическим током на горных предприятиях			[4] с. 149...179, [5] с. 33...129
15	Молниезащита электроустановок горных предприятий	6	10	[6] с. 495...500, СО 153-34.21.122-2003, РД 34.21.122-87
16	Управления электрооборудованием	6	10	[2] с. 94...133, ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007

2. ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Таблица 2 – Перечень лабораторных работ

Номер раздела и темы	Наименование тем лабораторных работ	Трудоёмкость, час	
		очная	заочная
5	Рудничная аппаратура дистанционного управления во взрывозащищённом исполнении *Литература:* [2] с. 94...133, 142...161, 167...175	4	-
11	Изучение силовых кабелей напряжением до 35 кВ включительно *Литература:* [1] с. 369...371, [2] с. 178...215, [4] с. 4...78, [6] с. 286...325	4	-
14	Изучение устройств непрерывного контроля изоляции в сетях напряжением до 1140 В *Литература:* [1] с. 167...207, [5] с. 48...91	4	-
16	Изучение релейно-контакторных схем управления электроприводами. *Литература:* [7] с. 4...25	4	-
Итого:		16	-

Таблица 3 – Перечень практических работ

Номер раздела и темы	Наименование тем практических работ	Трудоёмкость, час	
		очная	заочная
4	Изучение электрооборудования в рудничном нормальном исполнении для распределения электроэнергии в сетях до 1140 В на подземных горных работах *Литература:* РЭ на изучаемую аппаратуру	4	4
10	Изучение аппаратуры ручного управления в рудничном нормальном исполнении *Литература:* [2] с. 133...142, 161...167, РЭ на изучаемую аппаратуру	4	4
10	Изучение электрооборудования дистанционного управления в рудничном нормальном исполнении *Литература:* [2] с. 94...133, 142...161, РЭ на изучаемую аппаратуру	4	4
7	Изучение электрооборудования в рудничном нормальном исполнении для питания ручного электроинструмента и освещения на подземных горных работах *Литература:*	4	-

Номер раздела и темы	Наименование тем практических работ	Трудоёмкость, час	
		очная	заочная
	[1] с. 136...138, [2] с. 167...175, РЭ на изучаемую аппаратуру		
Итого:		16	16

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Исполнение электрооборудования (категория размещения, климатическое исполнение).
2. Исполнение электрооборудования (степень защиты от внешних воздействий).
3. Исполнение электрооборудования (рудничное нормальное исполнение).
4. Исполнение электрооборудования (взрывозащищённое исполнение).
5. Режимы нейтрали источников питания электроприёмников, их особенности и области применения на горных предприятиях.
6. Различия режимов нейтрали с точки зрения электро- и пожаробезопасности.
7. Электрооборудование технологических установок горных предприятий на ПГР, ОГР, ОФ и ДСФ (особенности, режимы работы).
8. Электрооборудование распределительных сетей горных предприятий (особенности конструкции электрооборудования для ПГР, ОГР ОФ и ДСФ; защиты, блокировки).
9. Электрооборудование для управления электроприводами на горных предприятиях (особенности конструкции электрооборудования для ПГР, ОГР ОФ и ДСФ; защиты, блокировки).
10. Правила черчения электрических схем.
11. Правила черчения планов расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей.
12. Вспомогательные элементы чертежей (спецификации, экспликации, виды, разрезы и т. п.)
13. Выбор источников света и световых приборов.
14. Метод удельной мощности для расчёта освещения.
15. Метод светового потока для расчёта освещения.
16. Точечный метод для расчёта освещения.
17. Резервирование осветительной нагрузки.
18. Как выбирается структура распределительной сети горных предприятий?
19. Особенности расчёта электрических нагрузок на ПГР, ОГР и ОФ и ДСФ.
20. Как производится выбор числа трансформаторов трансформаторных подстанций?
21. Как производится выбор числа трансформаторных подстанций для различных видов горных работ.
22. Виды низковольтных распределительных устройств (НКУ),
23. Как производится выбор автоматических выключателей, включая выбор уставок защит. Особенности выбора автоматических выключателей для разных горных работ.
24. Как производится выбор контакторов и пускателей, особенности выбора данных аппаратов для разных горных работ.
25. Выбор типа, сечения и способа прокладки электрических связей распределительных сетей горных предприятий.
26. Как составляются схемы замещения для расчёта токов КЗ.
27. Как производится расчёт сопротивлений схем замещения.

28. Как выполняется расчёт максимальных токов КЗ.
29. Как учитывается при расчёте максимальных токов КЗ подпитка от электроприёмников.
30. Как выполнить расчёт минимальных токов КЗ.
31. Как производится проверка электрооборудования, электроаппаратов и проводок по действию токов короткого замыкания.
32. Как производится расчёт главного заземляющего устройства?
33. Что такое местные заземлители; как устроены сети заземления внутри зданий, на ПГР и ОГР?
34. Как выполняются заземляющие устройства в грунтах с высоким удельным сопротивлением?
35. Что такое пассивная и активная молниезащита.
36. Общие требования к построению схем управления (защиты, блокировки, принципы построения схем управления).
37. Режимы управления (местный/дистанционный; сблокированный/деблокированный);
38. Маркировка электрических цепей.
39. Требования к цветам и местам размещения органов управления и световой сигнализации.
40. Типовые схемы управления электроприводами.
41. Технологические блокировки и блокировки безопасности. Как обеспечивается местное и дистанционное управление.
42. Как обеспечивается защита от потери управляемости в цепях дистанционного управления электрооборудования для ПГР и ОГР.
43. Как обеспечивается защита цепей управления.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Основная литература

№ п/п	Наименование
1	Электрификация горного производства [Текст]: учебник для вузов: В 2-х т. Т.1. / А. В. Ляхомский [и др.]; ред. Л. А. Пучков, Г. Г. Пивняк; Московский государственный горный университет. - М.: МГГУ, 2007.- 511 с.: ил.
2	Электрификация горного производства [Текст]: учебник для вузов: В 2-х т. Т.2. / А. В. Ляхомский [и др.]; ред. Л. А. Пучков, Г. Г. Пивняк; Московский государственный горный университет. - М.: МГГУ, 2007.- 595 с.: ил.
3	Электроснабжение и электрооборудование горного производства. Часть 1 [Текст]: учебное пособие / М. Е. Садовников; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: УГГУ, 2016. – 229 с.
4	Электроснабжение и электрооборудование горного производства. Часть 2 [Текст]: учебное пособие / М. Е. Садовников; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: УГГУ, 2016. – 191 с.

4.2 Дополнительная литература

№ п/п	Наименование
1	Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ [Текст]: учебник для вузов / Н. И. Чеботаев. - М.: Горная книга, 2006. - 474 с.: ил.
2	Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: учебник / Б. И. Кудрин. - М.: Интермет Инжиниринг, 2007. - 672 с.: ил.
3	Садовников М. Е. Контакторы, пускатели, электротепловые реле и предохранители [Текст]: учебн. пособие по дисциплине «Электрические и электронные аппараты» для студентов специальности 140604 - "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" (ЭГП) очного и заочного обучения / М.Е. Садовников.- Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010.- 64 с.
4	Юнусов Х.Б. Электроснабжение: методические указания по выполнению раздела ВКРИ / Х. Б. Юнусов; Уральский государственный горный университет. - 2-е изд., перераб. и доп. - Екатеринбург: УГГУ, 2010. - 36 с.

5. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Сайт компании DIAL GmbH - http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download/russkii.html
Сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) - https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts/catalognational
Сайт компании ОАО «ВЭЛАН» - http://velan.ru/
Сайт компании ООО "Производственное предприятие шахтной электроаппаратуры" (ШЭЛА) - http://www.shela71.ru/
Сайт компании «ЕХС» - http://www.oaoex.ru/
Сайт компании Becker Mining Systems http://www.ru.becker-mining.com/ru/products

6. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

Бесплатное свободно распространяемое версия программное обеспечение для расчёта освещения - пакет DIALux.
Microsoft Windows 8 Professional.
Microsoft Office Standard 2013.

Информационные справочные системы

ИПС «КонсультантПлюс».

Базы данных

Scopus: база данных рефератов и цитирования.
https://www.scopus.com/customer/profile/display.uri
E-library: электронная научная библиотека: https://elibrary.ru

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Методические указания

по самостоятельной работе студентов

Автор: Хазин М.Л.

Екатеринбург
2021

Х12

Рецензенты: Тихонов И. Н., к-т. техн. наук, зав. кафедрой «Электронное машиностроение» УрФУ, Жуков Ю. Н., д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электронное машиностроение» УрФУ

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 июня 2018 года
(протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Хазин М. Л. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: Методические указания по самостоятельной работе студентов. Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 24 с.

В методических указаниях по самостоятельной работе приведена последовательность выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Материаловедение», изложена методика решения задач, даны задачи, вопросы для самопроверки по разделам.

© Хазин М. Л., 2019
© Уральский государственный
горный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование производства, выпуск современных разнообразных машиностроительных конструкций, специальных приборов, машин и различной аппаратуры невозможны без дальнейшего развития производства и изыскания новых материалов, как металлических, так и неметаллических.

Материаловедение является одной из первых инженерных дисциплин, основы которой широко используются при курсовом и дипломном проектировании, а также в практической деятельности инженера-машиностроителя.

Прогресс в области машиностроения тесно связан с созданием и освоением новых, наиболее экономичных материалов, обладающих самыми разнообразными механическими и физико-химическими свойствами. Свойства материала определяются его внутренним строением, которое, в свою очередь, зависит от состава и характера предварительной обработки. В курсе "Материаловедение" изучаются физические основы этих связей.

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ЧАСТЬ I. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Строение металлов

Металловедение как наука о свойствах металлов и сплавов. Типы связи в твердых телах. Атомно-кристаллическое строение металлов. Процесс кристаллизации.

Рассмотрите типы химической связи в твердых телах, основное внимание обратите на особый тип металлической связи, который обусловливает отличительные свойства металлов: высокую электропроводность и теплопроводность, высокую пластичность и металлический блеск. Металлические тела характеризуются кристаллическим строением. Однако свойства реальных кристаллов определяются известными несовершенствами кристаллического строения. В связи с этим необходимо разобраться в видах несовершенств и особенно в строении дислокаций (линейных несовершенств), причинах их легкого перемещения в кристаллической решетке и влияния на механические свойства.

Термодинамические причины фазовых превращений являются одним из частных случаев общего закона природы: стремления любой системы

к состоянию с наименьшим запасом энергии (в данном случае свободной энергии). Уясните теоретические основы процесса кристаллизации, состоящего из двух элементарных процессов: зарождения и роста кристаллов, и влияния на эти параметры степени переохлаждения.

В процессе кристаллизации при формировании структуры литого металла решающее значение имеет реальная среда, а также возможность искусственного воздействия на строение путем модифицирования.

Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность металлического, ионного и ковалентного типов связи?
2. Каковы характерные свойства металлов и чем они определяются?
3. Что такое элементарная ячейка?
4. Что такое полиморфизм?
5. Что такое параметр кристаллической решетки, плотность упаковки и координационное число?
6. Что такое мозаичная структура?
7. Виды дислокаций и их строение.
8. Каковы термодинамические условия фазового превращения?
9. Каковы параметры процесса кристаллизации?
10. Что такое переохлаждение?

Теория сплавов

Сплавы, виды взаимодействия компонентов в твердом состоянии. Диаграммы состояния для случаев полной нерастворимости, неограниченной и ограниченной растворимости компонентов в твердом виде, а также для случая образования устойчивого химического соединения.

Необходимо отчетливо представлять строение металлов и сплавов в твердом состоянии. Уясните, что такое твердый раствор, химическое (металлическое) соединение, механическая смесь. Наглядное представление о состоянии любого сплава в зависимости от его состава и температуры дают диаграммы состояния. Нужно усвоить общую методику построения диаграмм состояния для различных случаев взаимодействия компонентов в твердом состоянии.

При изучении диаграмм состояния нужно уметь применять правило отрезков (для определения доли каждой фазы или структурной составляющей в сплаве), правило фаз (для построения кривых нагревания и охлаждения), определять химический состав фаз. С помощью правил Курнакова нужно уметь установить связь между составом, строением и свойствами сплава.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое компонент, фаза, физико-химическая система, число степеней свободы?
2. Приведите объяснение твердого раствора, механической смеси, химического (металлического) соединения.
3. Что представляют собой твердые растворы замещения и внедрения?
4. Как строятся диаграммы состояния?
5. Объясните принцип построения кривых нагревания и охлаждения с помощью правила фаз.

6. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая образования непрерывного ряда твердых растворов.

7. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая полной нерастворимости компонентов в твердом состоянии.

8. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая образования эвтектики, состоящей из ограниченных твердых растворов.

10. Каким образом определяются состав фаз и их количественное соотношение?

Пластическая деформация и механические свойства металлов

Напряжения и деформация. Явление наклепа. Стандартные механические свойства: твердость; характеристики, определяемые при растяжении; ударная вязкость; сопротивление усталости.

Рассмотрите физическую природу деформации и разрушения. Внимание уделите механизму пластической деформации, ее влиянию на плотность дислокаций. Уясните связь между основными характеристиками, строением и механическими свойствами. Разберитесь в сущности явления наклепа и его практическом использовании.

Изучите основные методы исследования механических свойств металлов и физический смысл определяемых при разных методах испытания характеристик.

Вопросы для самопроверки

1. В чем различие между упругой и пластической деформациями?

2. Как изменяется строение металла в процессе пластического деформирования?

3. Как изменяется плотность дислокаций при пластической деформации?

4. Как влияют дислокации на прочность металла?

5. Почему наблюдается огромное различие теоретической и практической прочности?

6. Как влияет изменение строения на свойства деформированного металла?

7. В чем сущность явления наклепа и какое он имеет практическое использование?

8. Какие характеристики механических свойств определяются при испытании на растяжение?

9. Что такое твердость?

10. Какие методы определения твердости вы знаете?

Влияние нагрева на структуру и свойства деформируемого металла

Необходимо знать сущность рекристаллизационных процессов: возврата, первичной рекристаллизации, собирательной (вторичной) рекристаллизации, протекающих при нагреве деформированного металла. Уясните, как при этом изменяются механические, физико-химические свойства и размер зерна. Установите влияние состава сплава и степени пластической деформации на протекание рекристаллизационных процессов. Научитесь выбирать режим рекристаллизационного отжига. Уясните его практическое значение, различие между холодной и горячей пластическими деформациями.

Вопросы для самопроверки

1. Как изменяются свойства деформированного металла при нагреве?
2. В чем сущность процесса возврата?
3. Что такое полигонизация?
4. Сущность процессов первичной и вторичной рекристаллизации.
5. Как влияют состав сплава и степень пластической деформации на температуру рекристаллизации?
6. Что такое критическая степень деформации?
7. В чем различие между холодной и горячей пластическими деформациями?
8. Как изменяются строение и свойства металла при горячей пластической деформации?
9. Каково назначение рекристаллизационного отжига и как он осуществляется?

Железо и его сплавы

Диаграмма состояния железо - цементит. Классификация железоуглеродистых сплавов. ГОСТы на металлы и сплавы. Фазы, образуемые легирующими элементами в сплавах железа. Структурные классы легированных сталей. Чугуны.

Научитесь вычерчивать диаграмму состояния железо - цементит и определять все фазы и структурные составляющие этой системы. С помощью правила фаз постройте кривые охлаждения (или нагревания) для любого сплава; разберитесь в классификации железоуглеродистых сплавов и усвойте, что различие между тремя классами (техническое железо, сталь, чугун) не является формальным (по содержанию углерода). Разные классы сплавов принципиально различны по структуре и свойствам. Технические железоуглеродистые сплавы состоят не только из железа и углерода, но и обязательно содержат постоянные примеси, попадающие в сплав в результате предыдущих операций при выплавке.

Изучите влияние легирующих элементов на критические точки железа и стали и объясните, при каком сочетании углерода и соответствующего легирующего элемента могут быть получены легированные стали ферритного, перлитного, аустенитного и ледебуритного классов.

Уясните влияние постоянных примесей на строение чугуна и разберитесь в различии металлической основы серых чугунов разных классов. Запомните основные механические свойства и назначение чугунов различных классов и их маркировку. Обратите внимание на способы получения ковких и высокопрочных чугунов. Изучите физическую сущность процесса графитизации.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое феррит, аустенит, перлит, цементит и ледебурит?
2. Какие превращения происходят в сплавах при температурах A1, A2, A3, A4, Acm?
3. Каковы структуры серых чугунов? 1
4. Каковы структура и свойства технического железа, стали и белого чугуна?
5. Как влияют легирующие элементы на положение критических точек железа и стали?
6. Какие легирующие элементы являются карбидообразующими?
7. Какие легирующие элементы способствуют графитизации?
8. Как влияют легирующие элементы на свойства феррита и аустенита?
9. В чем отличие серого чугуна от белого?
10. Классификация и маркировка серых чугунов.

Теория термической обработки стали

Превращения в стали при нагреве. Превращения переохлажденного аустенита. Мартенситное превращение и его особенности. Превращения аустенита при непрерывном охлаждении. Превращения при отпуске закаленной стали.

Теория и практика термической обработки стали - главные вопросы металловедения. Термическая обработки - один из основных способов влияния на строение, а следовательно, и на свойства сплавов.

При изучении превращений переохлажденного аустенита особое внимание обратите на диаграмму изотермического распада, устанавливающую связь между температурными условиями превращения, интенсивностью распада и строением продуктов превращения.

Изучите влияние легирующих элементов на кинетику и характер превращения аустенита в перлитной, промежуточной и мартенситной областях. В связи с влиянием легирующих элементов на диаграммы изотермического распада аустенита рассмотрите причины получения различных классов по структуре (перлитного, мартенситного, аустенитного). Уясните влияние ле-

гирующих элементов на превращения при отпуске. Запомните, что легирующие элементы, как правило, затормаживают процессы превращений.

Вопросы для самопроверки

1. Механизм образования аустенита при нагреве стали.
2. Каковы механизмы и температурные районы образования структур перлитного типа (перлита, сорбита, тростита) и бейнита?
3. В чем различие между перлитом, сорбитом и троститом?
4. Что такое мартенсит и в чем сущность и особенности мартенситного превращения?
5. Что такое критическая скорость закалки?
6. От чего зависит количество остаточного аустенита?
7. В чем сущность превращений, происходящих при отпуске?
8. Как влияют легирующие элементы на перлитное превращение?
9. В чем сущность явления отпускной хрупкости?
10. Как влияют легирующие элементы на превращения при отпуске?

Технология термической обработки

Основные виды термической обработки стали. Отжиг, нормализация, закалка, обработка холодом. Прокаливаемость стали. Отпуск стали. Поверхностная закалка.

Уясните влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали и физическую сущность процессов отжига, нормализации, закалки и обработки холодом. При изучении технологических процессов термической обработки особое внимание обратите на разновидности режимов и их назначение. Для выяснения причин брака при термической обработке стали следует прежде всего разобраться в природе термических и фазовых напряжений.

Уясните различие между закаливаемостью и прокаливаемостью стали, а также факторы, влияющие на эти характеристики. Разберитесь в способе получения высокопрочных деталей - термомеханической обработке.

Различные виды поверхностной закалки позволяют получить особое сочетание свойств поверхностного слоя и сердцевины, что приводит к повышению эксплуатационных характеристик изделия.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите определения основных процессов термической обработки: отжига, нормализации и закалки.
2. Какие вам известны разновидности процесса отжига и для чего они применяются?
3. Какова природа фазовых и термических напряжений?
4. Какие вам известны разновидности закалки и в каких случаях они применяются?

5. Каковы виды и причины брака при закалке?

6. Какие Вам известны группы охлаждающих сред и каковы их особенности?

7. От чего зависит прокаливаемость стали и в чем ее технологическое значение?

8. Какие вам известны технологические приемы уменьшения деформации при термической обработке?

9. Для чего и как производится обработка холодом?

10. . В чем сущность и особенности термомеханической обработки.

Химико-термическая обработка стали и поверхностное упрочнение наклепом

Физические основы химико-термической обработки. Цементация. Азотирование. Цианирование. Диффузионная металлизация. Дробеструйный наклеп.

При изучении основ химико-термической обработки следует исходить из того, что принципы химико-термической обработки едины. Процесс химико-термической обработки состоит из выделения атомов насыщающего вещества внешней средой, захвата (сорбции) этих атомов поверхностью металла и диффузии их внутрь металла. Поэтому рассмотрите реакции в газовой среде при цементации или азотировании и усвойте современные представления о процессе диффузии в металлах. В большинстве случаев насыщение может происходить из твердой, жидкой и газовой сред, а поэтому нужно знать наиболее удачные варианты насыщения для каждого метода химико-термической обработки и конечные результаты (поверхностное упрочнение и изменение физико-химических свойств).

Разберитесь в технологии проведения отдельных видов химико-термической обработки. Уясните преимущества и области использования цементации, азотирования, цианирования и различных видов диффузионной металлизации. Объясните влияние легирования на механизм формирования структуры поверхностного слоя. Рассмотрите сущность и назначение дробеструйного поверхностного наклепа и его влияние на эксплуатационные свойства деталей машин.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключаются физические основы химико-термической обработки?

2. Химизм процесса азотирования.

3. Химизм процесса цементации.

4. Назначение цементации и режим термической обработки после нее.

5. Для каких целей и как производится нитроцементация?

6. Каковы свойства цементированных и азотированных изделий?

7. Химизм и назначение процесса цианирования.

8. Сущность и назначение процесса борирования.

9. Как изменяются свойства изделий при дробеструйной обработке и какова природа этих изменений?

10. Как влияет поверхностное упрочнение на эксплуатационные характеристики изделий?

Конструкционные стали

Конструкционные стали общего назначения. Цементуемые, улучшаемые, пружинно-рессорные стали. Высокопрочные мартенситостареющие стали. Коррозионно-стойкие и жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали и сплавы.

Нужно усвоить принципы маркировки сталей и уметь по маркировке определить состав и особенности данной стали, а также иметь общее представление о разных группах стали.

Разберитесь во влиянии легирующих элементов на изменение структуры и свойств стали, особое внимание уделите технологическим особенностям термической обработки легированной стали различных групп.

Рассмотрите способы классификации, основные принципы выбора для различного назначения цементуемых, улучшаемых, пружинно-рессорных, износостойких, высокопрочных, нержавеющих, жаропрочных и других сталей.

При изучении жаропрочных сталей обратите внимание на особенности поведения металла в условиях нагружения при повышенных температурах. Уясните сущность явления ползучести и основные характеристики жаропрочности; каковы предельные рабочие температуры и области применения сталей различного структурного класса.

В качестве примеров указать две-три марки стали каждой группы, расшифровать состав, назначить режим термической обработки и охарактеризовать структуру, свойства и область применения.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите химический состав сталей марок: 40, 20Х, 30ХГСА, 50Г, Г13, ШХ15, 18Х2Н4ВА, 5ХНМ, Х18Н9Т, Н18К8М5Т.

2. Как классифицируются конструкционные стали по технологии термической обработки?

3. Какие требования предъявляются к цементуемым изделиям?

4. Чем определяется выбор марки цементуемой стали для изделий различного назначения?

5. Какова термическая обработка цементуемых деталей?

6. Чем объясняется назначение процесса улучшения для конструкционной стали?

7. Как влияет степень легирования на механические свойства улучшаемой стали?

8. Какие требования предъявляются к рессорно-пружинным сталям?
9. Какие вы знаете износостойкие стали?
10. Каковы требования, предъявляемые к нержавеющим сталям?

Инструментальные стали

Классификация и маркировка инструментальных сталей. Стали, не обладающие и обладающие теплостойкостью. Стали для режущего, измерительного и штампового инструмента. Твердые сплавы.

Изучите классификацию инструментальных сталей в зависимости от назначения инструмента и в связи с этим рассмотрите основные эксплуатационные свойства инструмента каждой группы. Особое внимание уделите быстрорежущим сталям. Уясните причины их высокой красностойкости и особенности термической обработки.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите химический состав сталей марок: У10, 9ХС, ХВГ, Р18, Р18Ф2, Р9К10, Р9М4К8, Х12, 6ХВ2С, Х12М.
2. Как классифицируются инструментальные стали?
3. Требования, предъявляемые к сталям для режущего инструмента.
4. Приведите примеры углеродистых и легированных сталей, используемых для режущего инструмента.
5. Укажите и расшифруйте основные марки быстрорежущей стали.
6. Что представляют собой твердые сплавы?
7. Каковы свойства и преимущества твердых сплавов?
8. Укажите марки твердых сплавов, их состав и назначение.

Алюминий, магний и их сплавы

Деформируемые и литейные сплавы.

Обратите внимание на основные преимущества алюминиевых и магниевых сплавов, связанные с их высокой удельной прочностью. Рассмотрите классификацию алюминиевых сплавов и обоснуйте технологический способ изготовления изделий из сплавов каждой группы. Разберитесь в основах теории термической обработки (старения) легких сплавов. Обоснуйте выбор способа упрочнения деформируемых и литейных сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Свойства и применение алюминия.
2. Как классифицируются алюминиевые сплавы?
3. Какие сплавы упрочняются путем термической обработки?
4. В чем сущность процесса старения?
5. Какие сплавы не упрочняются путем термической обработки?
6. Какие вы знаете литейные алюминиевые сплавы?

7. Какие вы знаете жаропрочные алюминиевые сплавы?
8. Какие вы знаете порошковые алюминиевые сплавы?
9. Каковы свойства магния?
10. Укажите свойства и назначение сплавов на основе магния.

Медь и ее сплавы

Латуни и бронзы.

Изучите классификацию медных сплавов и уясните маркировку, состав, структуру, свойства и области применения разных групп медных сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Как влияют примеси на свойства чистой меди?
2. Как классифицируются медные сплавы?
3. Какие сплавы относятся к латуням?
4. Приведите несколько примеров латуней с указанием их состава, структуры, свойств и назначения.
5. Какие сплавы относятся к бронзам? Их маркировка и состав.
6. Укажите строение, свойства и назначение различных бронз.
7. Какой термической обработке подвергается бериллиевая бронза?

Композиционные материалы

Обратите внимание на принципиальное отличие композиционного материала, заключающееся в сочетании разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. В связи с тем, что композит обладает свойствами, которыми не может обладать ни один из его компонентов в отдельности, такие материалы становятся весьма перспективными в различных областях новой техники. Укажите свойства композитов в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и взаимного расположения наполнителя. Уясните возможность использования композитов в качестве жаропрочных материалов и способы повышения их жаропрочности.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое композиты?
2. Как подразделяют композиты в зависимости от формы и размеров наполнителя?
3. Как подразделяют композиты по виду матрицы?
4. От чего зависят механические свойства композитов?
5. Какие композиционные материалы используют для работы при высоких температурах (жаропрочные)?

ЧАСТЬ II. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Пластические массы

В основе неметаллических материалов лежат полимеры. Обратите внимание на особенности строения полимеров, которые определяют их механические и физико-химические свойства. Классификация полимерных материалов. Свойства и области применения пластмасс.

Пластические массы - искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связывающих веществ, которые являются обязательными компонентами пластмасс. Изучите различные группы пластических масс, их свойства и области применения.

Вопросы для самопроверки

1. Что лежит в основе классификации полимеров?
2. Какие материалы относятся к обратимым и необратимым полимерам?
3. Какие вы знаете наполнители пластмасс?
4. Для чего вводят в пластмассы отвердители?
5. Приведите примеры пластиков с твердыми наполнителями.
6. Укажите область применения термопластов и реактопластов.
7. В чем преимущества пластмасс по сравнению с металлическими материалами? Каковы их недостатки?

Резиновые материалы

Как технический материал резина отличается от других материалов высокими эластичными свойствами, что связано со свойствами самой основы резины - каучука. Уясните состав резины, способы получения и влияние различных добавок на ее свойства. Подробно рассмотрите влияние порошковых и органических наполнителей на свойства резины, изучите физико-механические свойства и области применения резин различных марок.

Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой резина?
2. Какие компоненты относятся к совмещающимся и как они влияют на свойства резины?
3. Объясните роль порошковых наполнителей.
4. В каких случаях применяются волокнистые наполнители?

Неорганические материалы

Поскольку большинство неорганических материалов содержит различные соединения кремния с другими элементами, эти материалы получили общее название силикатных материалов. Обратите внимание на внутреннее

строение неорганического стекла. Уясните сущность стеклообразного состояния как разновидности аморфного состояния вещества. Разберитесь в изменении свойств стекла в зависимости от состава. Рассмотрите стеклокристаллические материалы (ситаллы) и их отличие от стекла минерального. Уясните причины образования кристаллической структуры ситаллов.

При изучении керамических материалов обратите внимание на отличие технической керамики от обычной. Разберитесь в химическом и фазовом составах технической керамики, ее свойствах и области применения.

Вопросы для самопроверки

Какие силикатные материалы относятся к минеральному стеклу?

Их отличительные свойства.

Как достигаются электроизоляционные или электропроводящие свойства стекла?

Объясните причины, вызывающие кристаллизацию ситаллов (стеклокристаллитов).

Укажите область применения ситаллов.

5. В чем отличие технической керамики от обычной? Укажите область ее применения.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Задания на контрольные работы выдают индивидуально каждому студенту. Задание включает вопросы и задачи по основным разделам курса.

При выполнении контрольных работ студенты изучают методику выбора и назначения сталей и сплавов для изготовления конкретных деталей машин и различного вида инструментов, а также знакомятся с особенностями строения, технологией получения и областью применения наиболее распространенных неметаллических материалов. Одновременно студент должен научиться пользоваться рекомендуемыми справочными материалами, с тем чтобы уметь в дальнейшем правильно выбрать материал при курсовом и дипломном проектировании.

Перечень ГОСТов, необходимых для выполнения контрольных работ, приведен в приложении. Диаграмма состояния железо-цементит и диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали У8 также приведены в приложении (см. рис. 1 и 2).

ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Вариант 1

1. Что такое ликвация? Виды ликвации, причины их возникновения и способы устранения.

2. Дайте определение ударной вязкости (KCV). Опишите методику измерения этой характеристики механических свойств металла.

3. Вычертите диаграмму состояния железо - карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 3,6% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 45...50 HRC. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

5. Как изменяются структура и свойства стали 40 и У12 в результате закалки от температуры 750 и 850° С. Объясните с применением диаграммы состояния железо-цементит. Выберите оптимальный режим нагрева под закалку каждой стали.

Вариант 2

1. Как и почему скорость охлаждения при кристаллизации влияет на строение слитка?

2. Из листа свинца путем прокатки при комнатной температуре была получена тонкая фольга. Твердость и прочность этой фольги оказались такими же, как у исходного листа. Объясните, какие процессы происходили при пластической деформации свинца и какими изменениями структуры и свойств они сопровождались.

3. Вычертите диаграмму состояния железо-карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 0,8% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Используя диаграмму состояния железо -цементит и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте для углеродистой стали 40 температуру закалки и температуру отпуска, необходимые для обеспечения твердости 400 НВ. Опишите превращения на всех этапах термической обработки и получаемую структуру.

5. Для каких целей применяется диффузионный отжиг? Как выбирается режим такого отжига? Приведите примеры.

Вариант 3

1. Опишите виды твердых растворов. Приведите примеры.

2. Дайте определение твердости. Какими методами измеряют твердость металлов и сплавов? Опишите их.

3. Вычертите диаграмму состояния железо-цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 2,2% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обес-

печивающей получение твердости 150 НВ. Укажите, как этот режим называется и какая структура получается в данном случае.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит обоснуйте выбор режима термической обработки, применяемой для устранения цементитной сетки в заэвтектоидной стали. Дайте определение выбранного режима обработки и опишите превращения, которые происходят при нагреве и охлаждении.

Вариант 4

1. Опишите физическую сущность и механизм процесса кристаллизации.

2. Для чего проводится рекристаллизационный отжиг? Как назначается режим этого вида обработки? Приведите несколько конкретных примеров.

3. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 0,4 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Используя диаграмму изотермического превращения аустенита, объясните, почему нельзя получить в стали чисто мартенситную структуру при охлаждении ее со скоростью меньше критической?

5. После термической обработки углеродистой стали получена структура цементит + мартенсит отпуска. Нанесите на диаграмму состояния железо-цементит ординату заданной стали (примерно) и обоснуйте температуру нагрева этой стали под закалку. Так же укажите температуру отпуска.. Опишите превращения, которые произошли при термической обработке.

Вариант 5

1. Что такое ограниченные и неограниченные твердые растворы? Каковы необходимые условия образования неограниченных твердых растворов?

2. Опишите сущность явления наклепа и примеры его практического использования.

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава содержащего 1,1% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит + мартенсит. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита кривую охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. Укажите интервалы температур превращений и опишите характер превращения в каждом из них.

5. С помощью диаграммы состояния железо - цементит установите температуру полной и неполной закалки для стали 45 и опишите структуру и свойства стали после каждого вида термической обработки.

Вариант 6

1. Начертите диаграмму состояния для случая ограниченной растворимости компонентов в твердом виде. Укажите структурные составляющие во всех областях этой диаграммы и опишите строение типичных сплавов различного состава, встречающихся в этой системе.

2. Волочение медной проволоки проводят в несколько переходов. В не-

которых случаях проволока на последних переходах разрывается. Объясните причину разрыва и укажите способ его предупреждения.

3. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 0,5 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 200 НВ. Укажите, как этот режим называется и какая структура получается в этом случае.

5. Используя диаграмму состояния железо-цементит, установите температуры нормализации, отжига и закалки для стали У12. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали после каждого вида обработки.

Вариант 7

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к железу. Какое практическое значение оно имеет?

2. Как изменяются свойства деформированного металла при нагреве, какие процессы происходят при этом?

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 0,7 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей твердость 20...25 HRC. Укажите, как этот режим называется и какая структура образуется в данном случае.

5. Плашки из стали УНА закалены: первая - от температуры 760° С, вторая - от температуры 850° С. Используя диаграмму состояния железо - цементит, укажите температуры закалки, объясните, какая из этих плашек закалена правильно, имеет более высокие режущие свойства и почему.

Варианта 8

1. В чем сущность процесса модифицирования? Приведите пример использования модификаторов для повышения свойств литейных алюминиевых сплавов.

2. В чем различие между холодной и горячей пластической деформацией? Опишите особенности обоих видов деформации.

3. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 5,0 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Углеродистые стали 35 и У8 после закалки и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска и твердость: первая 45 HRC, вторая - 60 HRC. Используя диаграмму состояния железо - цементит и учитывая превращения, происходящие при отпуске, укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска, и объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 35.

5. Сталь 40 подвергалась закалке от температур 760 и 840º С. С помощью диаграммы состояния железо-цементит укажите, какие структуры образуются в каждом случае. Объясните причины образования разных структур и рекомендуйте оптимальный режим нагрева под закалку данной стали.

Вариант 9

1. Охарактеризуйте особенности металлического типа связи и основные свойства металлов.

2. Какими стандартными характеристиками механических свойств оценивается прочность металлов и сплавов? Как эти характеристики определяются?

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 4,8 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. С помощью диаграммы состояния железо-цементит установите температуру полного и неполного отжига и нормализации для стали 20, Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали.

5. Почему для изготовления инструмента применяется сталь с исходной структурой зернистого перлита? В результате какой термической обработки можно получить эту структуру? Приведите конкретный режим для любой инструментальной стали.

Вариант 10

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к титану. Какое практическое значение оно имеет?

2. Каким способом можно восстановить пластичность холоднокатаной медной ленты? Назначьте режим термической обработки и опишите сущность происходящих процессов.

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 1,4% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима термической обработки, обеспечивающей получение твердости 60...63 HRC. Укажите, как этот режим называется и какая структура при этом получается. Опишите сущность происходящих превращений.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит опишите структурные превращения, происходящие при нагреве доэвтектоидной стали. Покажите критические точки АС1 и АС3 для выбранной вами стали. Установите режим нагрева этой стали под закалку. Охарактеризуйте процесс закалки, опишите получаемую структуру и свойства стали.

ЛИТЕРАТУРА

Арзамасов Б. Н., Сидорин И. И. и др. Материаловедение: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2008. 648 с.

Батышев А. И., Безпалько В. И., Смолькин А. А. Материаловедение и технология материалов М.: Изд-во Инфра-М, 2012. 288 с.

Богодухов С. И., Козик Е. С.. Материаловедение: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 2015. 504 с.

Бондаренко, Г. Г. Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учебник для бакалавров / под ред. Г. Г. Бондаренко. 2-е изд. М.: Юрайт, 2014. 359 с.

Комаров О. С., Керженцева А. Ф., Макаева Г. Г. Материаловедение в машиностроении. М.: Высшая школа. 2009. 304 с.

Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. М.: Машиностроение, 2009. 528 с.

Хазин М. Л. Материаловедение: методические материалы. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2008. 208 с.

Хазин М. Л. Материаловедение: учебно-практическое пособие. Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 184 с.

.

ПРИЛОЖЕНИЯ

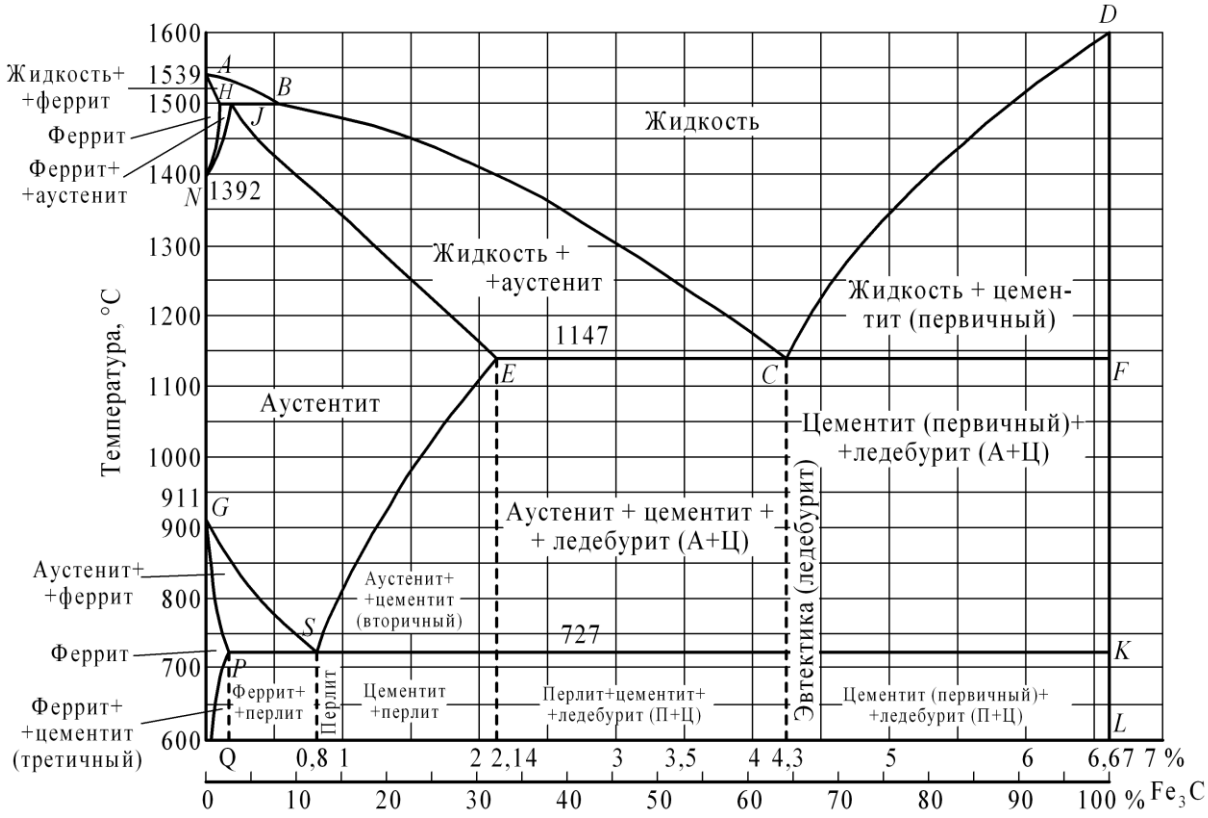


Рисунок 1 – Диаграмма состояния железо-цементит

Перечень ГОСТов на стали и сплавы

1. Сталь

Углеродистая обыкновенного качества – ГОСТ 380-71

Углеродистая качественная – ГОСТ 1050-74

Легированная, конструкционная, качественная, рессорно-пружинная– ГОСТ 1050-74

Углеродистая инструментальная – ГОСТ 1435-74

Легированная инструментальная – ГОСТ 5950-73

Подшипниковая – ГОСТ 801-78

Быстрорежущие стали – ГОСТ 19265-73

Конструкционный повышенной и высокой обрабатываемости резанием – ГОСТ 1414-75

Жаростойкие и жаропрочные – ГОСТ 5632-72

Коррозионностойкие – ГОСТ 5632-72

Сплавы твердые спеченные – ГОСТ 3882-74

Магнитотвердые (для постоянных магнитов) – ГОСТ 6862-71

Электротехнические – ГОСТ 21427.0-75...

ГОСТ 21427.3-75

2. Чугун

Серый – ГОСТ 1412-79

Ковкий – ГОСТ 1215-79

Высокопрочный – ГОСТ 7293-85

Жаростойкий – ГОСТ 7769-75
3. Алюминий и его сплавы
Алюминий – ГОСТ 11069-74
Деформируемые – ГОСТ 4784-74
Литейные – ГОСТ 2685-75
4. Медь и ее сплавы
Медь ГОСТ 859 – 78
Латунь двойная и многокомпонентная
деформируемая – ГОСТ 15527-70
Латунь литейная – ГОСТ 17711-80
Бронза оловяннистая деформируемая – ГОСТ5017-74
Бронза безоловяннистая деформируемая – ГОСТ 18175-78
Бронза оловяннистая литейная – ГОСТ 613-79
Бронза безоловяннистая литейная – ГОСТ 493-79
Медно-никелевые сплавы – ГОСТ 492-73
5. Титановые сплавы – ГОСТ 19807-74
6. Антифрикционные сплавы
Алюминиевые – ГОСТ 14113-78
Цинковые – ГОСТ 21437-75
Баббиты – ГОСТ 1320-74
7. Магний и его сплавы
Магний – ГОСТ 804-72
Деформируемые – ГОСТ 14957-76
Литейные – ГОСТ 2856-79

Учебное издание

Хазин Марк Леонтьевич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-практическое пособие
по выполнению практических и
самостоятельных работ
для студентов очного и заочного обучения
направлений бакалавриата
15.03.01 – «Машиностроение»,
15.03.02 – «Технологические машины и оборудование»
23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Редактор Л. В. Устьянцева

Компьютерная верстка автора

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,71. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Рассмотрены электротехнические системы промышленных объектов и технических средств нефтегазовой и горной отраслей минерально-сырьевого комплекса. Приведены топологии полупроводниковых преобразователей частоты, используемых в асинхронных электроприводах. Показаны имитационные модели электроприводов с полупроводниковыми преобразователями. Приведены результаты исследования электромагнитной совместимости преобразователя частоты с сетью электроснабжения и приводным электродвигателем.

Васильев Б. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

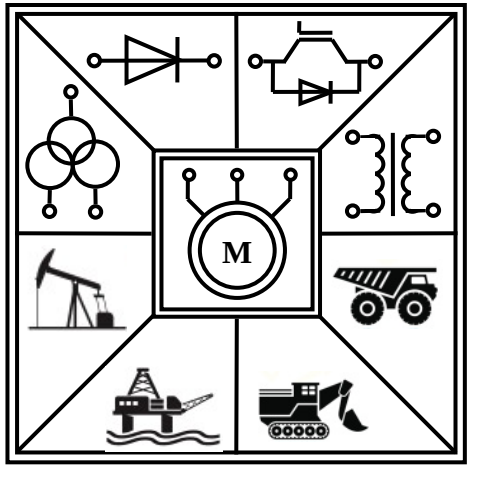
ВУЗ

Учебное пособие

Б. Ю. ВАСИЛЬЕВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА
(применение, моделирование, исследование)

Учебное пособие



2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Б.Ю. ВАСИЛЬЕВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

(применение, моделирование, исследование)

Учебное пособие

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2014

УДК 621.313. 333.07
ББК 31.291
В191

Рассмотрены электротехнические системы промышленных объектов и технических средств нефтегазовой и горной отраслей минерально-сырьевого комплекса. Приведены топологии полупроводниковых преобразователей частоты, используемых в асинхронных электроприводах. Показаны имитационные модели электроприводов с полупроводниковыми преобразователями. Приведены результаты исследования электромагнитной совместимости преобразователя частоты с сетью электроснабжения и приводным электродвигателем.

Учебное пособие предназначено для студентов очных и заочных форм обучения специальности 130400 «Горное дело» специализации «Электрификация и автоматизация горного производства», студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника», профилю подготовки «Электропривод и автоматика», магистров, обучающихся по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника», программ подготовки «Электроприводы и системы управления электроприводов» и «Автоматизированные электромеханические комплексы и системы», аспирантов профильных специальностей. Учебное пособие может быть полезно инженерно-техническим работникам предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Научный редактор проф. *А.Е. Козярук*.

Васильев Б.Ю.

В191 Автоматизированный электропривод объектов минерально-сырьевого комплекса (применение, моделирование, исследование): Учебное пособие / Б.Ю. Васильев; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2014. 139 с.

ISBN 978-5-94211-931-4

УДК 621.313. 333.07
ББК 31.291

ISBN 978-5-94211-931-4

© Б.Ю. Васильев 2014

ВВЕДЕНИЕ

Электропривод на основе асинхронных электродвигателей и полупроводниковых преобразователей, как основа современных энергоэффективных и энергосберегающих электротехнических систем промышленных объектов и технических средств нефтегазовой и горной отраслей минерально-сырьевого комплекса, представляет особый интерес для исследования и совершенствования их структур, алгоритмов управления и характеристик.

В настоящее время, использование имитационного моделирования электромеханических и электромагнитных процессов, протекающих в электроприводах переменного тока с полупроводниковыми преобразователями, является неотъемлемой, и даже обязательной частью процесса исследования электроприводов и выработке рекомендаций по повышению их эффективности, в части электромагнитной [1], электромеханической [2] и энергетической [3,4] совместимости, обеспечения высоких динамических, энергетических, эксплуатационных и других характеристик.

Современные регулируемые электроприводы различных машин и механизмов имеют сложные топологические структуры и архитектуры алгоритмического обеспечения. Для их исследования наиболее широкое распространение получил пакет прикладных программ MatLab, содержащий различные библиотеки, используемые во многих областях науки, в том числе, и библиотеку Sim Power System, для создания имитационных моделей электроприводов с полупроводниковыми преобразователями. Библиотека Sim Power System MatLab содержит стандартные блоки, моделирующие электродвигатели, простые структуры полупроводниковых преобразователей, элементы управления и электротехнические элементы.

В первой главе учебного пособия приведены некоторые примеры использования электротехнических систем с электроприводами и преобразователями частоты на промышленных объектах и в технических средствах нефтегазовой и горной отрасли. Рассмотрены структуры электроприводов на основе асинхронных электродвигателей и приведены их характеристики.

Во второй главе учебного пособия приведены имитационные модели элементов современных электроприводов. Рассмотрены неуправляемые выпрямители повышенной пульсности и активные выпрямители, автономные инверторы и элементы систем управления полупроводниковыми ключами преобразователей.

В третьей главе приведены реализованные в MatLab имитационные модели электротехнических систем промышленных объектов и технических средств нефтегазовой и горной отрасли, которые рассмотрены в первой главе. Изложены их состав и основные параметры. Приведены результаты моделирования полупроводниковых преобразователей частоты, и выполнен анализ электромагнитной совместимости.

1. ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

1.1. Общая классификация преобразователей частоты асинхронных электроприводов

Электроприводы переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты можно условно разделить на преобразователи с непосредственной связью и двухзвенные преобразователи. Условная классификация приведена на рис. 1.1. Классификация преобразователей на инверторы напряжения и инверторы тока на рис. 1.1 не показана.

В преобразователях с непосредственной связью используется прямое подключение нагрузки к источнику напряжения посредством силовых полупроводниковых ключей. В процессе функционирования потребитель подключается к сети по определенному алгоритму, так, чтобы обеспечить синусоидальность напряжения с заданной амплитудой и частотой. Недостатками непосредственных преобразователей являются: ограниченный диапазон частот выходного напряжения, потребление реактивной мощности и генерирование высших гармоник.

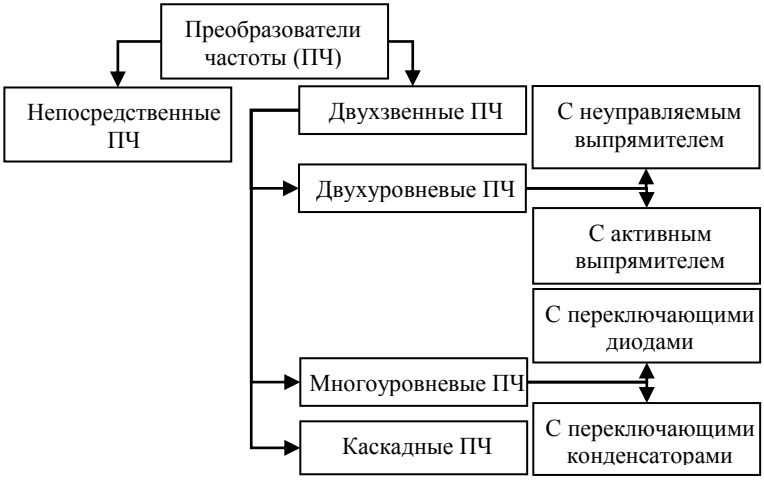


Рис.1.1. Классификация преобразователей частоты

Электромагнитная совместимость двухзвенного преобразователя частоты с сетью электроснабжения и приводным электродвигателем определяется топологией преобразователя, способом формирования требуемого напряжения на выходе автономного инвертора, алгоритмом управления режимами работы электродвигателя и выпрямителя. Звено постоянного тока может питать несколько инверторов, например, в случае многодвигательного электропривода или в случае двигателя с несколькими системами трёхфазных обмоток.

На рис.1.2 представлены приблизительные области предельных значений токов и напряжений различных типов полупроводниковых приборов: MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor), GTO (gate turn-off thyristor), IGCT **(**integrated gate-commutated thyristor), IGBT (insulated gate bipolar transistor).

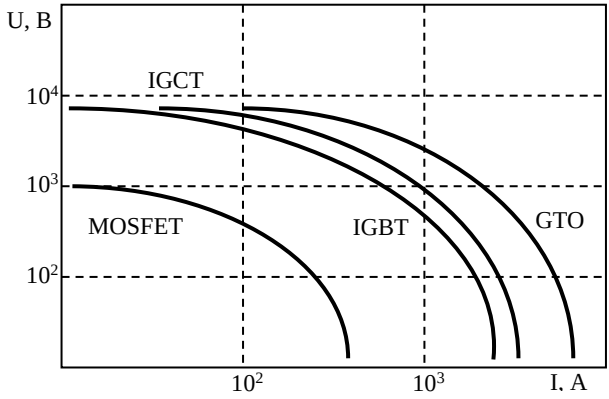


Рис.1.2. Предельные характеристики
современных силовых полупроводниковых приборов

Тиристоры типа GTO - это полностью управляемые полупроводниковые ключи. Максимальное напряжение таких тиристоров достигает 6 кВ, а в отрытом состоянии GTO тиристор способен пропускать ток величиной до 5 кА. Использование GTO тиристоров требует применения специальных защитных цепей (снабберных цепей) для ограничения скорости нарастания тока (напряжения) при коммутации. Частота переключения (модуляции) GTO тиристоров находится в пределах от 200 до 500 Гц. Среднее время перехода от включенного к выключенному состоянию и обратно составляет от 10 до 30 мкс.

Низкая частота переключения приводит к тому, что токи и напряжения на входе и выходе преобразователя частоты имеют значительные искажения, устранение которых требует применения мощных фильтров. Это увеличивает массогабаритные показатели и стоимость преобразователя. Иногда требуется использование дополнительных охлаждающих устройств, которые являются необходимыми для нормального функционирования приборов.

Тиристоры IGCT, также полностью управляемые ключи, могут использоваться в диапазоне 0,5 - 6 МВА. Частота переключения достигает 600 Гц, однако, применение защитных цепей не обязательно, что является их преимуществом.

Полупроводниковые приборы MOSFET - это полностью управляемые полевые транзисторные ключи. Величина активного сопротивления в открытом состоянии значительно ниже, чем у тиристоров, рассмотренных выше. Это позволяет использовать их в высокочастотных сильноточных схемах. Одной из особенностей транзисторов MOSFET является их высокая чувствительность к статическому электричеству, что необходимо учитывать при хранении и монтаже.

Высокомощные полностью управляемые IGBT транзисторы с обратными диодами, в настоящее время, являются самыми распространенными полупроводниковыми приборами. Устройства IGBT выпускаются в модульном исполнении, поскольку конструкция прижимного типа, характерная для IGCT и GTO, является сложной и дорогостоящей.

При построении преобразователей на IGBT модулях возможно значительное увеличение частоты переключения до нескольких килогерц, что позволяет упростить фильтрацию токов и напряжений на выходе преобразователя. Следует отметить, что с увеличением пропускной способности IGBT устройств, предельное значение частоты модуляции падает вследствие возрастания потерь в приборах. КПД устройств на IGBT составляет до 98%. Топология преобразователя зависит от способа деления напряжения между отдельными ячейками преобразователя частоты и способа формирования выходного напряжения.

Сравнение основных характеристик полупроводниковых приборов, используемых в электроприводах, произведён в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Характеристики современных мощных силовых полупроводниковых ключей

Тип прибора	Преимущества	Недостатки	Области применения
SCR	низкие потери во включённом состоянии; высокая перегрузочная способность; высокая надёжность	естественная коммутация при закрытии; низкая частота переключения	электроприводы постоянного тока; источники питания; сварка; плавление и нагрев
GTO	полностью управляемые; высокая перегрузочная способность; частота переключения до 500 Гц при напряжении до 6 кВ	низкая частота переключения; высокие массогабаритные показатели преобразователей; высокие коммутационные потери; высокие потери во включённом состоянии	электроприводы; компенсаторы реактивной мощности; системы бесперебойного питания
IGCT	полностью управляемые; высокая перегрузочная способность; частота переключения выше, чем у GTO; нет защитных цепей	частота переключения не более 2000 Гц	выпрямительно-инверторные терминалы линий электропередач постоянного тока; электроприводы
MOSFET	высокое входное сопротивление; высокая помехоустойчивость; высокая надежность; высокая частоты переключения	низкая предельная температура; высокие потери выше 1500 Гц; чувствительны к статическому электричеству	электроприводы; устройства электропитания и зарядные устройства; усилители низкой частоты
IGBT	высокая частота переключения; простота управления; встроенный драйвер	высокий ток управления; зависимость параметров от температуры	электроприводы; источники питания; активные фильтры

1.2. Электротехническая система перемещения и динамического позиционирования буровой платформы

Северные и арктические моря, в которых в настоящее время производится разведка и эксплуатация наиболее перспективных шельфовых месторождений углеводородов (нефти, газа, конденсата), представляют собой экстремальную среду для работы электрооборудования, которое используется в составе технических средств освоения шельфа. Воздействие ветра, волн, соленой воды и удаленность от берега делают вопросы надежности и технического обслуживания оборудования чрезвычайно важными.

В состав электротехнического оборудования современных буровых и добывающих платформ входит система перемещения и динамического позиционирования. Одной из наиболее современных буровых установок по добыче нефти является платформа Stena Don, которая обеспечивает бурение скважин в Северном море. Внешний вид платформы Stena Don представлен на рис.1.3а [5,6]. Другими задачами платформы также являются открытие новых и эксплуатация существующих месторождений нефти, расположенных на глубине до 500 м.

Вся конструкция платформы, включая буровую вышку, буровое оборудование и вертолетную площадку, располагается на двух скрепленных между собой понтонах, каждый из которых имеет примерно 43 м в высоту и 95 м в длину. Под каждым понтоном установлены три азимутальных поворотных движителя (АПД), которые даже при экстремальных погодных условиях удерживают платформу на заданной позиции с помощью системы динамического позиционирования. По норвежской классификации «Dynamic Positioning» данная система позиционирования отвечает самым высоким требованиям.

Работа всех шести азимутальных поворотных движителей, которые без якорей удерживают буровую платформу в заданном месте и перемещают ее с одной рабочей площадки на другую, осуществляется с помощью системы динамического позиционирования. Структурная схема системы перемещения и динамического позиционирования буровой платформы представлена на рис.1.4.

а)

б)

Рис. 1.3а. Внешний вид буровой платформы Stena Don
и электроприводов системы динамического позиционирования

В состав электротехнической системы привода системы перемещения и динамического позиционирования платформы входят следующие элементы: дизель генераторы (девять блоков с номинальной мощностью 4375 кВА); распределительные устройства (три блока с номинальной мощностью 5000 кВА); трансформаторы

(шесть блоков с номинальной мощностью 800 кВА); высоковольтные щиты управления (три блока с номинальной мощностью 800 кВА).

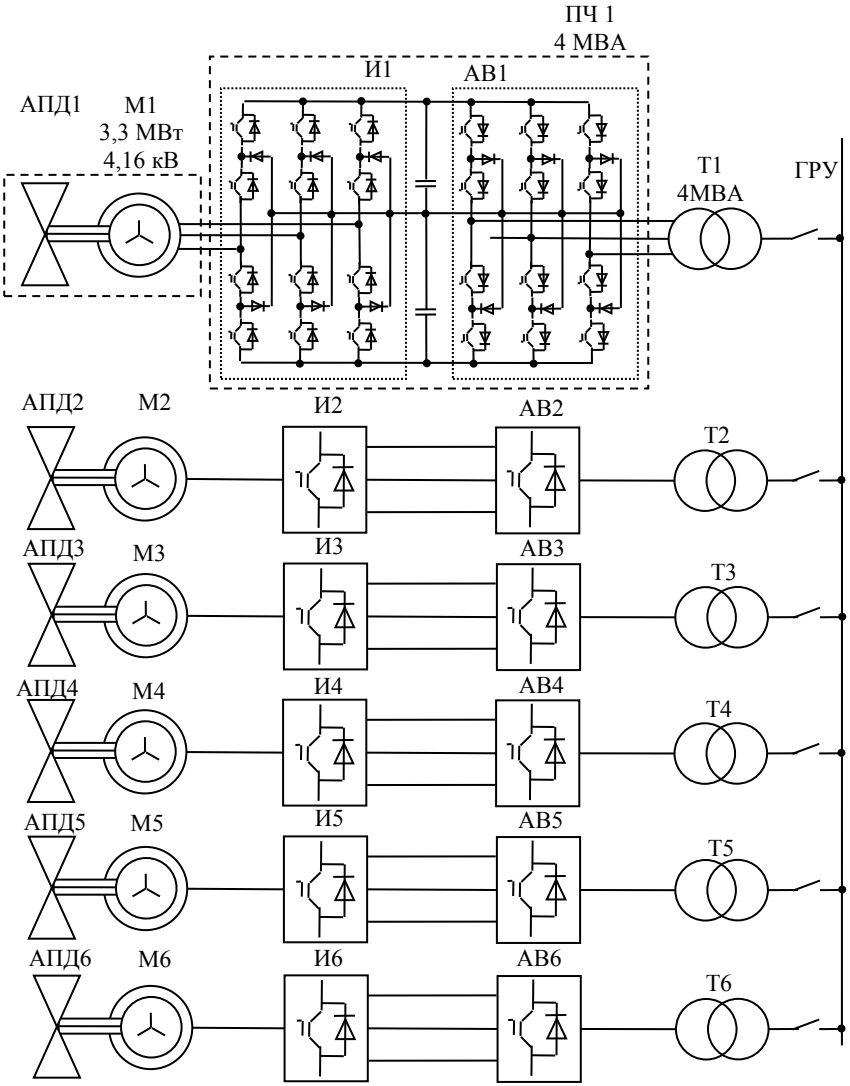


Рис.1.4. Структурная схема системы перемещения
и динамического позиционирования буровой платформы

Каждая система электропривода АПД состоит из трех основных элементов: высоковольтного электродвигателя Siemens H-modul мощностью 3,3 МВт; преобразователя частоты Siemens Simovert MV (VFD) мощностью 4,0 МВА; трансформатора Geafol мощностью 4,2 МВА. Внешний вид элементов электроприводов системы динамического позиционирования представлен на рис.1.3б.

Асинхронные электродвигатели, входящие в состав АПД, имеют вертикальную конструкцию и водяное охлаждение. Они представляют собой трехфазные асинхронные 6-полюсные машины переменного тока, работающие при напряжении 4,16 кВ. Двигатели имеют степень защиты IP54.

Преобразователи частоты Siemens Simovert MV мощностью 4000 кВА рассчитаны на напряжение 4,16 кВ. В состав преобразователя частоты входят трехуровневые коммутаторы типа активный выпрямитель и автономный инвертор, выполненные на полностью управляемых транзисторах (IGBT). Их применение позволяет обеспечить высокий уровень электромагнитной совместимости преобразователя без дополнительных силовых схем (фильтров, компенсаторов и других устройств). Звено постоянного тока выполнено в виде конденсаторных накопителей. Преобразователи частоты также имеют водяное охлаждение и степень защиты IP54.

На входе каждого преобразователя частоты установлены трансформаторы Geafol, которые имеют мощность 4200 кВА, рассчитанные на напряжение 11 кВ. Их степень защиты IP23. Для выработки электрической энергии на буровой платформе используются девять дизель-генераторов, а электроснабжение электроприводов АПД осуществляется напряжением 11 кВ.

В электроприводе АПД применяется векторное управление с ориентацией по потокосцеплению ротора. Использование векторного управления в сочетании с трехуровневой структурой коммутаторов преобразователя частоты обеспечивает генерацию синусоидальных токов статора асинхронного двигателя без использования выходного фильтра.

Регулирование частоты вращения АПД позволяет подобрать скорость гребного винта в соответствии с определенными условиями. Так, например, можно запустить все шесть движителей для достижения максимальной скорости перемещения при движении от одной буровой площадки до другой, или удерживать платформу в

определенном положении в сложных погодных условиях. Можно также работать в режиме «холостого хода» при одном или двух запущенных движителях в условиях спокойного моря.

Система автоматизации плавучей платформы включает системы управления технологическими процессами, электропитанием, а также систему динамического позиционирования и систему телекоммуникации. Система управления электропитанием компании Siemens обеспечивает автоматическое управление и мониторинг процессов генерации и распределения электроэнергии платформы. Она включает меры по обеспечению высокого качества электроэнергии. Всесторонний контроль и мониторинг способствуют увеличению потенциала экономии энергии благодаря использованию регулируемых электроприводов.

1.3. Электропривод движителей плавучего добывающего комплекса корабельного типа

На борту плавучего добывающего комплекса корабельного типа (Floating Production Unit (FPU) производится переработка газа, а также разделение газа и конденсата. Внешний вид плавучего добывающего комплекса представлен на рис.1.5. Добывающие комплексы аналогичной конструкции используются при освоения Штокмановского месторождения углеводородов.

Рис. 1.5. Внешний вид плавучего добывающего комплекса корабельного типа

Основной технологический процесс включает сепарацию газа, воды и конденсата, с последующей осушкой первого. Обеспечивается откачка конденсата и раздельное нагнетание газа и конденсата в трубопроводы. Передвижение добывающего комплекса возможно благодаря электроприводной гребной установке, структурная схема которой показана на рис.1.6 [7,8].

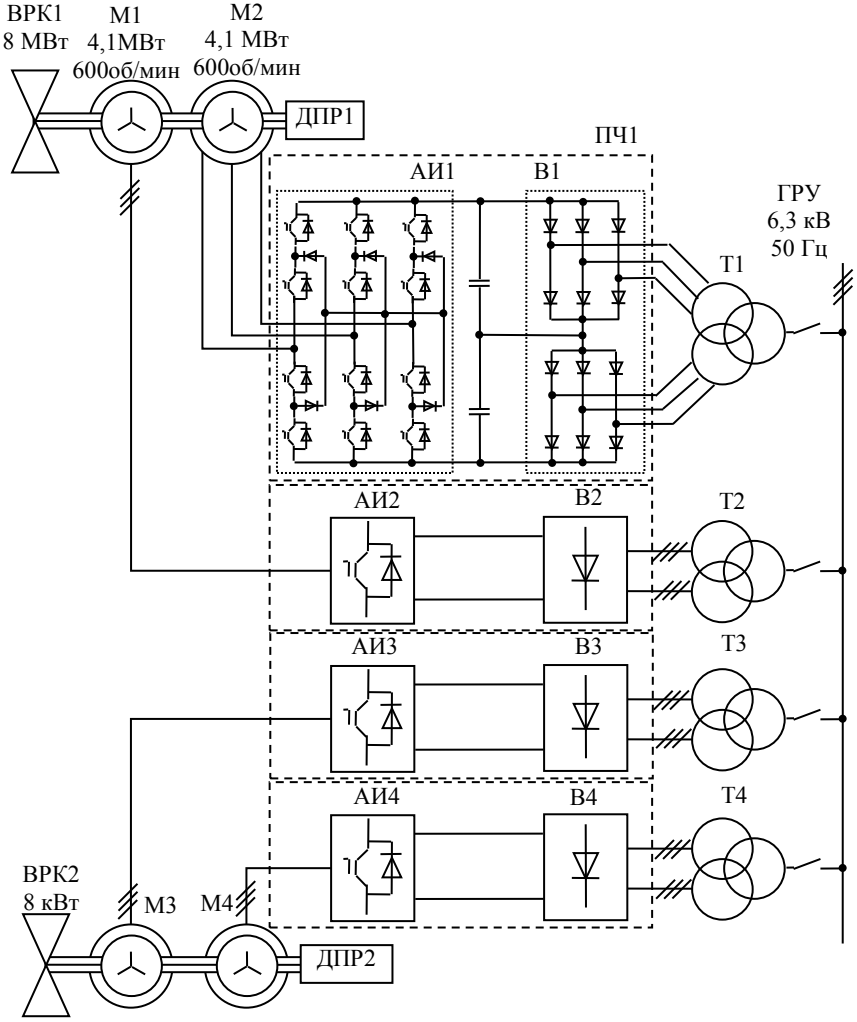


Рис.1.6. Структурная схема гребной установки плавучего добывающего комплекса

В качестве главных источников электроэнергии используются четыре главных дизель-генератора (ГДГ) переменного тока, производства компании «Wartsila» (Финляндия): два синхронных трехфазных генератора мощностью по 6000 кВт и два мощностью по 4500 кВт. Генераторы обеспечивают поддержание напряжения на уровне 6,3 кВ частотой 50 Гц. Частота вращения 750 об/мин.

Главные дизель-генераторы в различных режимах работы судна, например, на ходу и при маневрировании, используются для питания электроприводов гребной установки, подруливающего устройства, общесудовых потребителей, а при стоянке и при спасательных работах - для питания насосов специального пожаротушения, подруливающего устройства и общесудовых потребителей.

Для обеспечения электроэнергией электроприводов гребной установки используется главное распределительное устройство (ГРУ) 6,3 кВ. Компанией производителем такого ГРУ является «Aker Kvaerner Power and Automation Systems» (Норвегия).

В качестве движителей в гребных установках используются две азимутальные винто-рулевые колонки (ВРК), производства компании «Steerprop» (Финляндия). Мощность каждой колонки составляет 8000 кВт. Для привода ВРК используются четыре гребных электродвигателя переменного тока фирмы «Aker Kvaerner Power and Automation Systems». Приводные трехфазные асинхронные электродвигатели имеют номинальную мощность 4100 кВт каждый. Частота вращения 600 об/мин. На каждый вал ВРК установлено по два двигателя, получающих питание от разных секций ГРУ через преобразователи частоты.

Для обеспечения плавного регулирования частоты вращения каждого гребного электродвигателя используются полупроводниковые преобразователи частоты, выполненные по двухзвенной схеме, с емкостным звеном постоянного тока. В состав каждого преобразователя частоты входит трансформатор с двумя вторичными обмотками (Т1). К вторичным обмоткам трансформатора подключен 12-пульсный выпрямитель (В1) с параллельным соединением выпрямительных трехфазных диодных мостов. На выходе преобразователя частоты установлен автономный инвертор (АИ1), выполненный по трехуровневой схеме, на полностью управляемых транзисторах (IGBT). Преобразователь частоты произведен компанией «Aker KvaernerPower and Automation Systems».

Система автоматического регулирования частоты вращения и мощности приводных электродвигателей выполнена на основе векторного алгоритма. Система управления обеспечивает постоянство мощности во всем диапазоне регулирования частоты вращения ВРК от режима швартовки до режима полного хода, а при увеличении нагрузки на винтах сверх располагаемой мощности, частота вращения ВРК снижается вплоть до нулевого значения, при этом, момент на валу не превышает 1,7 $M_{ном}$. Кроме того, система обеспечивает ограничение мощности ГДГ при недостаточном запасе мощности в сети 6,3 кВ (при этом учитывается количество работающих ГДГ и мощность, потребляемая судовым оборудованием).

Основным достоинством регулируемого электропривода ВРК на основе асинхронных двигателей, преобразователей частоты и векторных алгоритмов системы автоматического управления заключается в обеспечении высоких динамических характеристик. Кроме того, для автоматического регулирования мощности ГДГ предусмотрена система управления электроэнергетической установкой, являющаяся частью интегрированной системы управления, контроля и сигнализации.

Несмотря на ряд недостатков асинхронных электродвигателей (потери на скольжении, пониженный коэффициент мощности), их использование дает серьезные преимущества по сравнению с синхронными машинами, которые заключаются в следующем: отсутствие оборудования для системы возбуждения (трансформаторы, система управления возбуждением и т.д.); уменьшение массогабаритных характеристик; повышение надежности; упрощение обслуживания при эксплуатации.

1.4. Электроприводные агрегаты для транспортировки углеводородов по континентальным трубопроводам

В приводе насосных агрегатов на нефтеперекачивающих станциях, в настоящее время, используются синхронные и короткозамкнутые асинхронные электродвигатели. В качестве синхронного привода в основном используются высоковольтные электродвигатели типа СТД (мощностью 1250-8000 кВт) и СТДП (мощностью 630-12500 кВт). В асинхронном электроприводе насосных агрегатов используются высоковольтные электродвигатели типа 4АТД (мощностью 500-5000кВт).

В составе электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорных станциях используются как синхронные (СТМ-4000, СТД; СТД-12,5; СДГ-12,5; ЭГПА-25; ЭГПА-Ц-6,3), так и асинхронные электрические (АЗ-4500-1500) двигатели различных производителей. Основные преимущества современных электроприводных ГПА, по сравнению с агрегатами других типов (газотурбинными и газомоторными), заключаются в следующем: высокая надежность; минимальные затраты на капитальный ремонт; большой моторесурс узлов и деталей; простота автоматизации и управления (регулирования); экологическая чистота; пожаробезопасность.

В настоящее время, основу электроприводных установок транспортировки углеводородов составляют синхронные двигатели. Основные преимущества электрических машин этого типа заключаются в следующем: обеспечивают возможность работы электропривода с единичным коэффициентом мощности; обладают меньшей чувствительностью к перепаду питающего напряжения; обеспечивают постоянство частоты вращения при изменении нагрузки на валу. С другой стороны, синхронные двигатели обладают рядом недостатков по сравнению с асинхронными, а именно, их конструкция значительно сложнее. Пуск синхронной машины осуществляется в несколько этапов, а силовые управляющие устройства и их алгоритмическое обеспечение сложнее и менее надежное, чем в асинхронных электроприводах.

Электропривод на основе асинхронных электродвигателей превосходит синхронный практически по всем параметрам. Асинхронные двигатели обладают простой конструкцией. В частотно-регулируемом асинхронном электроприводе обеспечивается простота регулирования частоты вращения во время пуска и поддержание ее в установившихся режимах. Единственным минусом асинхронных электроприводов, который не позволял широко использовать его при больших мощностях, более 6000 кВт, низкий коэффициент мощности и отсутствие возможности его регулирования. В настоящее время, этот недостаток полностью компенсирован за счет использования в преобразователях частоты активных выпрямителей.

В процессе транспортировки углеводородов по магистральным трубопроводам требуется осуществлять плавное регулирование давления и напора на выходе центробежного нагнетателя. Наибольшее распространение получили два способа регулирования: дроссе-

лированием (перепуск части транспортируемого сырья с выхода центробежного нагнетателя обратно на вход) и изменением частоты вращения центробежного нагнетателя.

Преимущества второго способа широко известны, главное из которых заключается в снижении потребления электроэнергии пропорционально частоте вращения центробежного нагнетателя. Для регулирования частоты вращения приводного электродвигателя в современных агрегатах используются полупроводниковые преобразователи частоты, которые могут иметь различную топологию и характеристики. К электротехническим комплексам предъявляются самые высокие требования по уровню электромагнитной совместимости и энергетическим характеристикам, которые в значительной степени определяются структурой и эффективностью управления ЭП агрегата.

В настоящее время, производство высокоэффективных электроприводных перекачивающих агрегатов осуществляется по двум компоновочным схемам [9, 10]: с использованием выносного компрессора и электропривода в виде автономного агрегата; с использованием капсулированной компоновки, при которой агрегат создается в виде герметичного блока, в корпусе которого размещен электропривод с магнитным подвесом, а на консольных участках вала ротора двигателя смонтированы рабочие колеса.

В современных электроприводных транспортирующих агрегатах могут использоваться различные топологии. Одними из наиболее распространенных топологий являются: двухтрансформаторная структура и преобразователь частоты с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором.

Структурная схема двухтрансформатороного преобразователя частоты электропривода центробежного нагнетателя представлена на рис.1.7. В схеме преобразователя осуществляется двойная трансформация напряжения с помощью понижающего (Т1) и повышающего (Т2) высоковольтных трансформаторов. Двойная трансформация позволяет использовать для регулирования частоты относительно низковольтный преобразователь частоты, который выполнен по двухзвенной схеме.

Преобразователи частоты с такой структурой отличают относительная простота практической реализации высоковольтного электропривода. Вследствие этого, они наиболее часто применяются

для управления высоковольтными электродвигателями в диапазоне мощностей до 3 МВт. При большей мощности электропривода трансформатор (Т2) вносит существенные искажения в процесс управления электродвигателем. Основными недостатками двухтрансформаторных преобразователей являются высокие массогабаритные характеристики, меньшие по отношению к другим схемам коэффициент полезного действия и надежность.

В составе преобразователя частоты, выполненного по двухтрансформаторной схеме, могут использоваться как диодные неуправляемые, так и активные выпрямители. Автономный инвертор выполнен по трехфазной мостовой схеме на полностью управляемых транзисторах IGBT. На рис. 1.7 приняты следующие обозначения: В – силовой полууправляемый выпрямитель; LC – силовой фильтр звена постоянного напряжения; АИ – автономный инвертор напряжения; ФКУ – фильтрокомпенсирующее устройство; ДР – дроссель.

Преобразователи, выполненные по этой схеме, имеют ограниченный диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя. При снижении частоты на выходе преобразователя увеличивается насыщение сердечника и нарушается расчетный режим работы выходного трансформатора (Т2). Поэтому, как показывает практика, диапазон регулирования ограничен в пределах $0{,}5n_{ном}<n<n_{ном}$. Для расширения диапазона регулирования используют трансформаторы с увеличенным сечением магнитопровода. При увеличении выходной частоты растут потери в сердечнике трансформатора Т2 на перемагничивание и вихревые токи.

Структурная схема другого преобразователя частоты электропривода центробежного нагнетателя представлена на рис.1.8а. Внешний вид агрегата с таким преобразователям частоты представлен на рис.1.8б [11].

Регулирование производительности агрегата осуществляется за счет изменения скорости вращения ротора нагнетателя, соединенного с валом двигателя. Диапазон регулирования скорости вращения: от 50% до 105% (4100 до 8610 об/ мин (143.7 Гц)) от номинальной скорости. Параметры двигателя в основных режимах работы приведены в таблице 1.2.

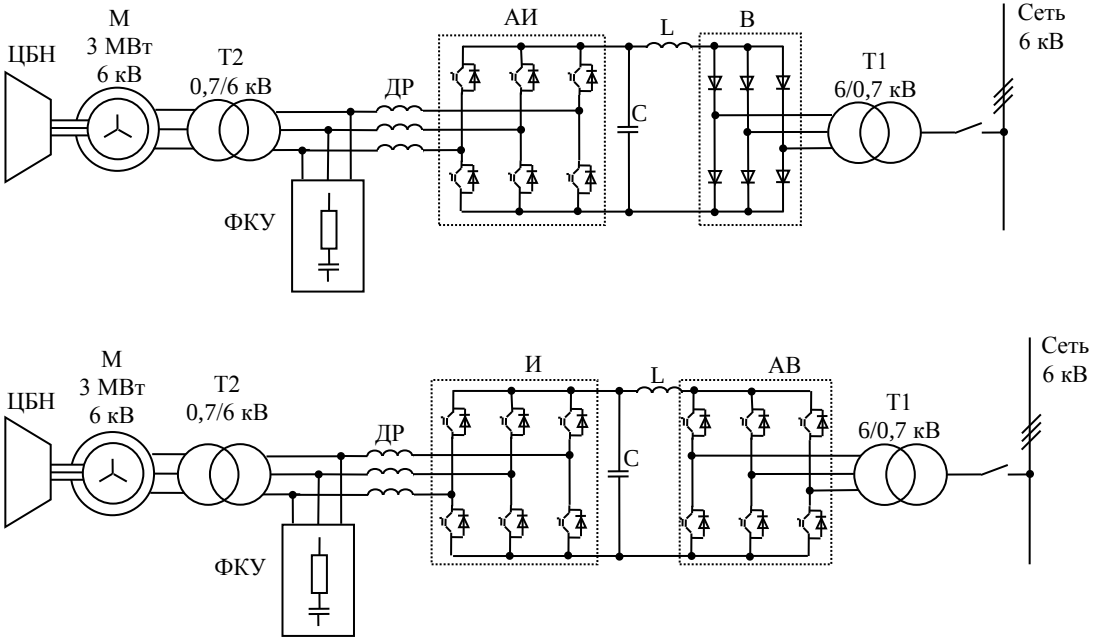


Рис.1.7. Структурные схемы двухтрансформатороных преобразователей частоты электроприводов центробежных нагнетателей

Центробежные нагнетатели природного газа, рассчитанные на конечное давление 5,49 МПа, снабжены сухими газовыми уплотнениями и магнитным подвесом. Преобразователь частоты рассчитан на колебание питающего напряжения от минус 10 до плюс 10 процентов номинального значения по амплитуде и от минус 0,4 до плюс 0,4 Гц по частоте. Температура окружающей среды, при которой допустима эксплуатация преобразователя, находится в пределах от плюс 5 до плюс 40 °С.

Таблица 1.2.

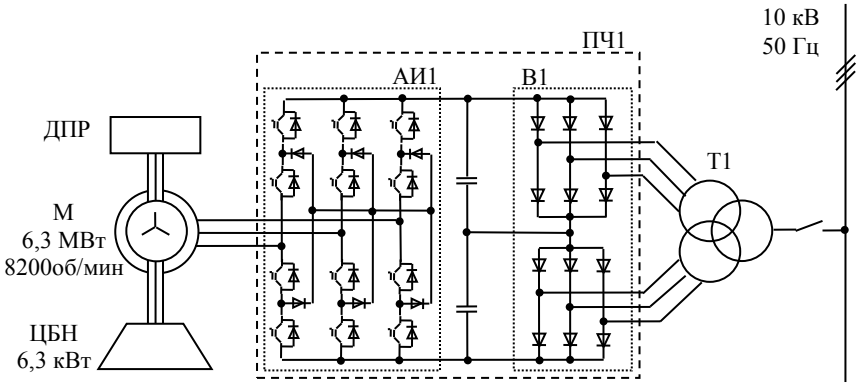
Параметры двигателя
электроприводного газоперекачивающего агрегата

Наименование параметра	Режим максимальной длительной мощности	Режим максимальной длительной скорости	Номинальный режим
Мощность двигателя, кВт	6600	6600	6300
Частота вращения ротора двигателя синхронная, об/мин	8200	8610	8200
Напряжение, В	3300	3300	3300
Ток в фазе, А	1520	1520	1450
Коэффициент мощности двигателя	0,785	0,795	0,785
Частота тока при синхронной частоте вращения, Гц	136,9	143,7	136,9
КПД двигателя	0,97	0,97	0,97
Момент	-	-	7.34

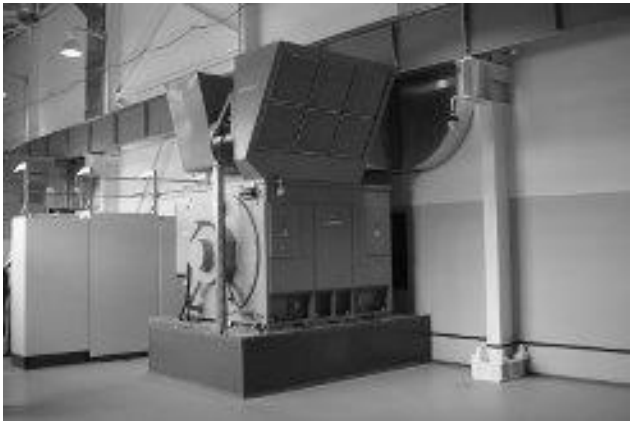
На входе преобразователя частоты с 12-пульсным выпрямителем установлен трехобмоточный трансформатор с двумя вторичными обмотками. На выходе выпрямителя установлено звено постоянного тока, состоящее из высоковольтных конденсаторов. Автономный инвертор выполнен на полностью управляемых транзисторах IGBT.

Преобразователь частоты такого электропривода имеет следующие параметры. Мощность преобразователя номинальная (при частоте 143 Гц) 8700 кВА. Мощность преобразователя максимальная (при частоте 143 Гц) 9150 кВА. Напряжение питания номинальное (12-пульсный выпрямитель, через трансформатор) 2·3АС 1850 В.

Частота напряжения питания номинальная 50 Гц. Выходной ток в фазе номинальный 1524 А. Выходной ток в фазе максимальный 1600 А. Выходное напряжение (трёхуровневая широтно-импульсная модуляция), номинальное 3300 В. Выходная частота 137 Гц. Диапазон регулирования скорости (без датчика) 1:20. Точность поддержания скорости (без датчика) 0,5 %.



а)



б)

Рис.1.8. Структурная схема и внешний вид электропривода газоперекачивающего агрегата

1.5. Подводные электроприводные комплексы для транспортировки углеводородов по шельфовым трубопроводам

Для проектирования, обустройства месторождений и эксплуатации технологических систем добычи, сбора и транспортировки природного газа с шельфовых месторождений требуются огромные капитальные и эксплуатационные вложения.

В настоящее время, для сбора углеводородов на шельфе используют подводные добывающие комплексы, «телом» которых являются манифольды. Манифольд представляет собой закрепленную на морском дне «статическую» конструкцию (не содержащую вращающихся частей), которая объединяет несколько добывающих скважин с помощью подводных промысловых газопроводов. При прохождении через манифольд природный газ очищается от песка и воды и поступает на морскую платформу или транспортное судно, где производятся дополнительные технологические процессы и, дальнейшая транспортировка на берег к перерабатывающему заводу. В Российской Федерации манифольды используют на месторождении «Сахалин-2» в Охотском море на шельфе острова Сахалин в субарктических условиях.

Для снижения затрат на освоение морских месторождений целесообразно использование подводных перекачивающих комплексов на основе регулируемого электропривода для подводного компремирования и транспортировки природного газа.

Использование подводных комплексов позволит обеспечить транспортировку природного газа без использования транспортных судов и минимизирует влияние на хрупкую экосистему Северного Ледовитого океана. Также, обеспечит высокий уровень ресурсосбережения и энергоэффективности процесса освоения месторождений природного газа, за счет экономии топливно-энергетических ресурсов транспортных судов, добывающих платформ и других традиционных технологических комплексов морских месторождений.

Подводный перекачивающий комплекс построен по принципу интеграции различных компонентов в едином корпусе. Так, в подводном перекачивающем комплексе объединена совокупность технических средств (автономного инвертора, электродвигателя, центробежного нагнетателя, микропроцессорных систем связи и диагностики) в едином герметичном корпусе.

Структура подводного перекачивающего комплекса представлена на рис. 1.9 [12]. Его основными элементами являются: приводной регулируемый электродвигатель (3) и один или несколько центробежных нагнетателей (10), интегрированных в единый герметичный корпус (2) и изолированных друг от друга с помощью газодинамических уплотнений (4,5). Электродвигатель и центробежные нагнетатели имеют единый вал (8) с опорами на магнитные подшипники (6,7 и 11). Также, в корпус комплекса интегрированы технические средства регулирования, управления и связи (1). Транспортируемый природный газ подводится и отводится от комплекса по патрубкам (9).

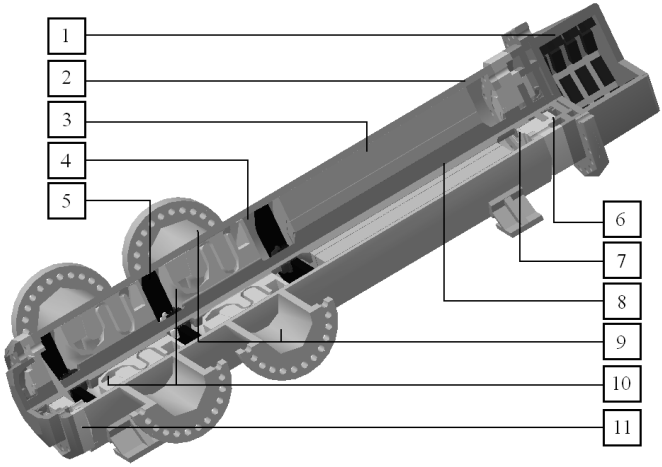
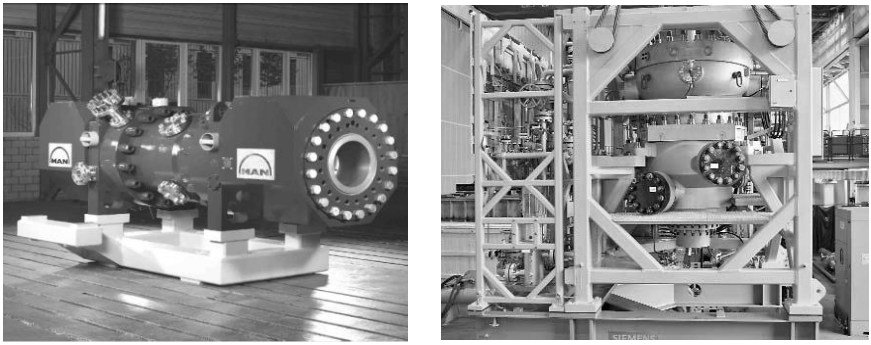


Рис 1.9. Структура подводного перекачивающего комплекса

Мировые нефтегазовые компании, такие как *Shell*, *Exxon*, *Total*, *BP*, *Woodside*, *Statoil* и *Petrobras*, на сегодняшний день, являются лидерами по разработке технических средств подводного компремирования. Первый подводный комплекс был создан компанией *General Electric* мощностью 850 кВт, который был испытан в 1992 году в заводских условиях [13]. В 2001 году *General Electric* и *Aker Kvaerner* в рамках норвежской правительственной программы *Demo 2000* были запущены подводные комплексы на 2,5 и 12,5 МВт. Четыре модуля мощностью 12,5 МВт планируется использовать при освоении месторождения *Ormen Lange* в 2016 году.

Разработки в области подводных технических средств ведутся компаниями *MAN* и *Siemens* в рамках проекта компании *Statoil* для месторождения *Asgard*. В Норвегии была испытана установка *MAN Hofim-type* (рис. 1.10а), а в 2009 году проведены испытания компрессора *Siemens ECO-II* (рис. 1.10б) [14].



а) *MAN Turbo's Hofim-type* б) *Siemens ECO-II*

Рис. 1.10. Внешний вид подводных перекачивающих комплексов

Одним из основных требований к подводным агрегатам является обеспечение высокой надежности функционирования транспортирующего комплекса в подводном положении. Для этого, с целью оптимизации и сокращения элементов подводного комплекса, электропривод может иметь структуру, представленную на рис. 1.11.

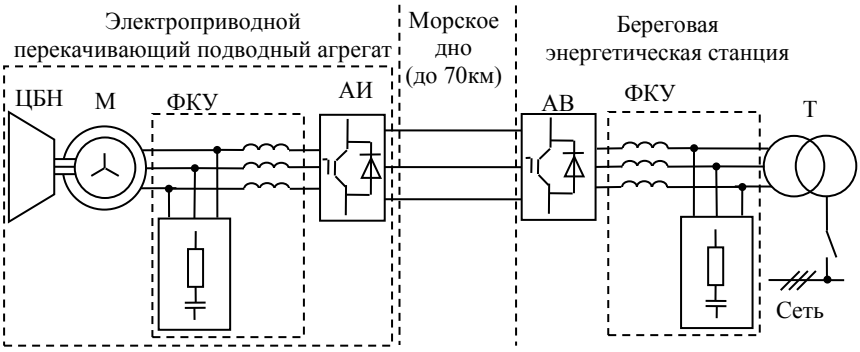


Рис. 1.11. Структура электропривода подводного перекачивающего агрегата

Основной особенностью электроприводов таких агрегатов является то, что высоковольтный активный выпрямитель, входящий в состав преобразователя частоты, расположен на береговой энергетической станции и, таким образом, вынесен из подводной части агрегата, что повышает его надежность. Высоковольтный автономный инвертор, электродвигатель и центробежный нагнетатель размещены непосредственно на морском дне. Электроснабжение автономного инвертора осуществляется по высоковольтной линии постоянного тока (High-voltage direct current - HVDC), проложенной по морскому дну.

1.6. Электропривод механизмов экскаваторно-транспортного комплекса (карьерных экскаваторов и самосвалов)

Внешний вид экскаватора ЭКГ-32 представлен на рис. 1.12. Структурная схема электрического привода экскаватора ЭКГ-32 представлена на рис. 1.13 [13-18]. Комплект электрооборудования электропривода переменного тока экскаватора ЭКГ-32 обеспечивает питание, управление и защиту двигателей и другого оборудования, главных и вспомогательных механизмов карьерного экскаватора с объемом ковша 32 м^3.

Рис. 1.12. Внешний вид экскаватора ЭКГ-32.

Электропривод выполнен на основе асинхронных двигателей и содержит в своем составе два привода хода, два привода подъема и один привод поворота. Электроснабжение и управление электрическими двигателями осуществляется с помощью автономных инверторов, выполненных по трехфазной мостовой схеме. На входе преобразователя частоты установлены активные выпрямители.

Такая схема электропривода, по сравнению с системой электропривода, выполненного на основе двигателей постоянного тока, например, на экскаваторах ЭКГ 5 и ЭКГ 10, значительно повышает надежность привода, увеличивает его КПД, улучшает динамические характеристики и снижает энергопотребление.

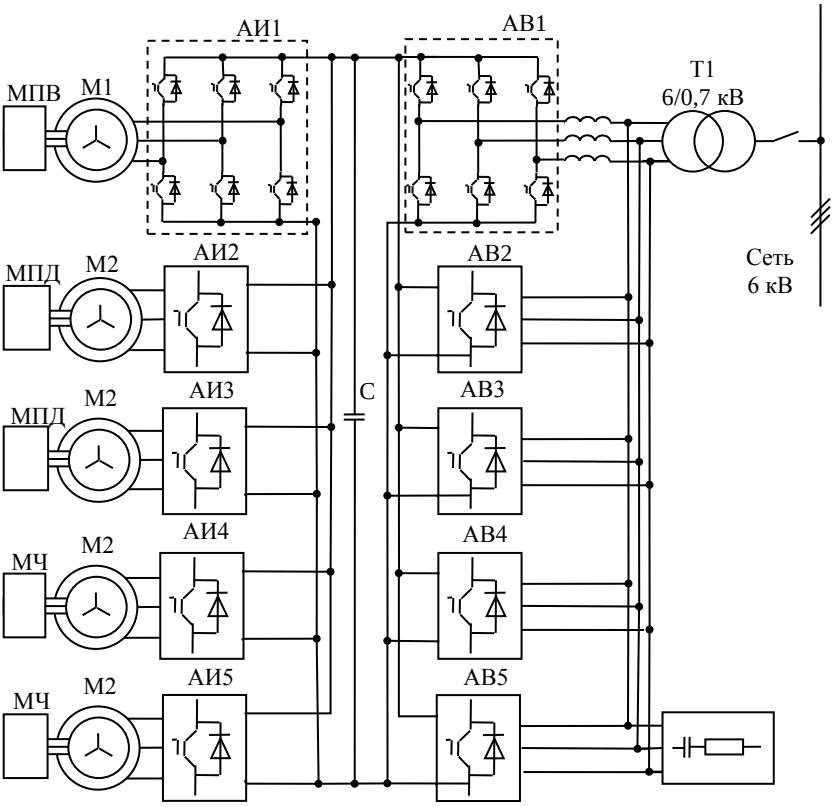


Рис. 1.13. Структурная схема электропривода
главных механизмов экскаватора ЭКГ – 32

Электропривод главных механизмов выполнен на основе асинхронных электродвигателей марок: АДРЭ-С 850-6 УХЛ2; АДРВЭ-С 450-6 УХЛ2; АДРЭ-400-6 УХЛ1, АДРЭ-С 400-6 УХЛ1. Электропривод обеспечивает нормальную работу главных механизмов экскаватора при следующих нормах качества электрической питающей сети: отклонение питающего напряжения в пределах ± 10 % от номинального; отклонение частоты напряжения ± 3 % от номинальной; провалы напряжения до 30 % амплитудного значения и шириной до 10 электрических градусов; коэффициент несинусоидальности напряжения не более 5 %. Основные параметры электропривода приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3.

Основные параметры электропривода главных механизмов

Наименование параметра	**Значение**
Номинальная потребляемая мощность, кВА	2000
Число фаз питающей сети	3
Номинальное напряжение питания, кВ	6
Частота напряжения питания, Гц	50

Карьерные самосвалы компании «БелАЗ» имеют грузоподъемность до 450 т и являются одними из самых больших самосвалов в мире. Отличительной особенностью машин этого типа является применение в движителях мотор-колес, на основе электропривода переменного тока. Внешний вид самосвала «БелАз» представлен на рис. 1.14 [13, 14].

Электропривод мотор-колес предназначен для обеспечения тягового, тормозного и стояночного режимов автосамосвала «БелАЗ» грузоподъемностью 360 тонн. В комплект электропривода входит: шкаф управления с системой диагностики; тяговые двигатели ТАД-8 (2 шт.); тяговый генератор ГСТ-2450; преобразователь частоты. Структурная схема электропривода мотор-колес представлена на рис. 1.15. При этом, в структуре электропривода мотор-колес самосвала, возможно применение активного выпрямителя вместо 12-пульсного выпрямителя. Это обеспечит более эффективную работу всей электроэнергетической установки.

Рис. 1.14. Внешний вид самосвала «БелАз»

Выработка электроэнергии для всего самосвала осуществляются с помощью синхронных генераторов мощностью 2450 кВт. В состав преобразователя частоты входит 12-пульсный выпрямитель, выполненный на высоковольтных диодах. Выпрямленное напряжение на выходе разделяется двумя конденсаторами равной емкости, между которыми выпрямленное напряжение разделятся равномерно и формируются контакты подключения автономных инверторов.

Автономные инверторы выполнены по трехфазной мостовой схеме на полностью управляемых транзисторах большой мощности. Управление транзисторными ключами автономного инвертора осуществляется по ШИМ алгоритму. Схема управления режимами работы электродвигателей построена по векторному принципу. Особенности режимов работы привода заключается в экстремальных условиях эксплуатации с ударными нагрузками. В следствии чего возникает необходимость обеспечения максимального быстродействия системы управления электроприводом для обеспечения эффективной работы шасси самосвала. Технические характеристики электропривода мотор-колес представлены в таблице 1.4.

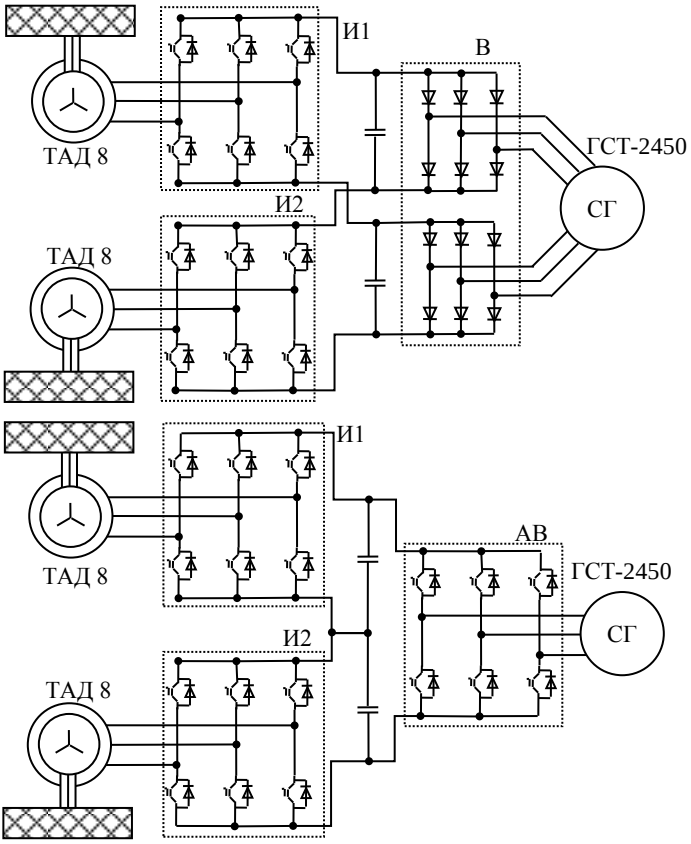


Рис. 1.15 Схема электропривода мотор-колеса самосвала «БелАз»

Таблица 1.4.

Технические характеристики электропривода мотор-колес

Наименование параметра	**Значение**
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	970
Номинальная мощность генератора, кВт	2450
Частота вращения электродвигателя, об/мин	610/3420
Режим работы	S1 (продолжительный)

1.7. Электропривод механизмов забойных горных машин (проходческих и очистных комбайнов)

На рис.1.16 приведен внешний вид проходческих (справа) и очистных (слева) комбайнов компании Famur (Польша): в рабочих условиях (сверху); на заводе изготовителя (снизу).

Очистной комплекс содержит следующие элементы: горный очистной комбайн FS 200; механизированную крепь ФАЗОС 10/20-2х2340; крепь для сопряжения, предназначенную для использования в подлавном штреке; укомплектованный лавный конвейер FFC-750 с угледробилкой; укомплектованную поворотную станцию ленточного конвейера; установку высокого давления для питания механизированной лавной крепи; комплект электрооборудования с системой визуализации. Очистной комбайн обеспечивает работу в пластах угля высотой от 1,3 до 1,9 м.

Проходческий комбайн R-2000 предназначен для проведения подземных горных выработок путём механизированного разрушения полезного ископаемого (каменного угля) и/или пустых пород, характеризующихся удельной сопротивляемостью сжатию до 110 МПа и погрузки отбитого материала на шахтные транспортные средства. Максимальное поперечное сечение выработки 34,1 м^2. Максимальная высота проводимой выработки 4815 мм. Максимальная ширина проводимой выработки 7200 мм.

Условия эксплуатации электроприводов горно-шахтного оборудования имеют специфические особенности, главным образом связанные с ограниченной мощностью, сложностью системы электроснабжения, с динамичной нагрузкой, изменяющейся в широких пределах, и с ограниченными габаритами, предоставляемыми для электрооборудования на подвижных механизмах.

Основные требования к электроприводу забойных горных машин можно сформулировать следующим образом: безопасность; надежность; высокая управляемость моментом электродвигателя при нулевой и на малых скоростях вращения вала; высокий пусковой момент электродвигателя для быстрого разгона; торможение электродвигателя с рекуперацией энергии; реверс электродвигателя; минимальные потери электроэнергии; минимальное потребление реактивной мощности электроприводом; минимальная стоимость и быстрая окупаемость затрат на электропривод.

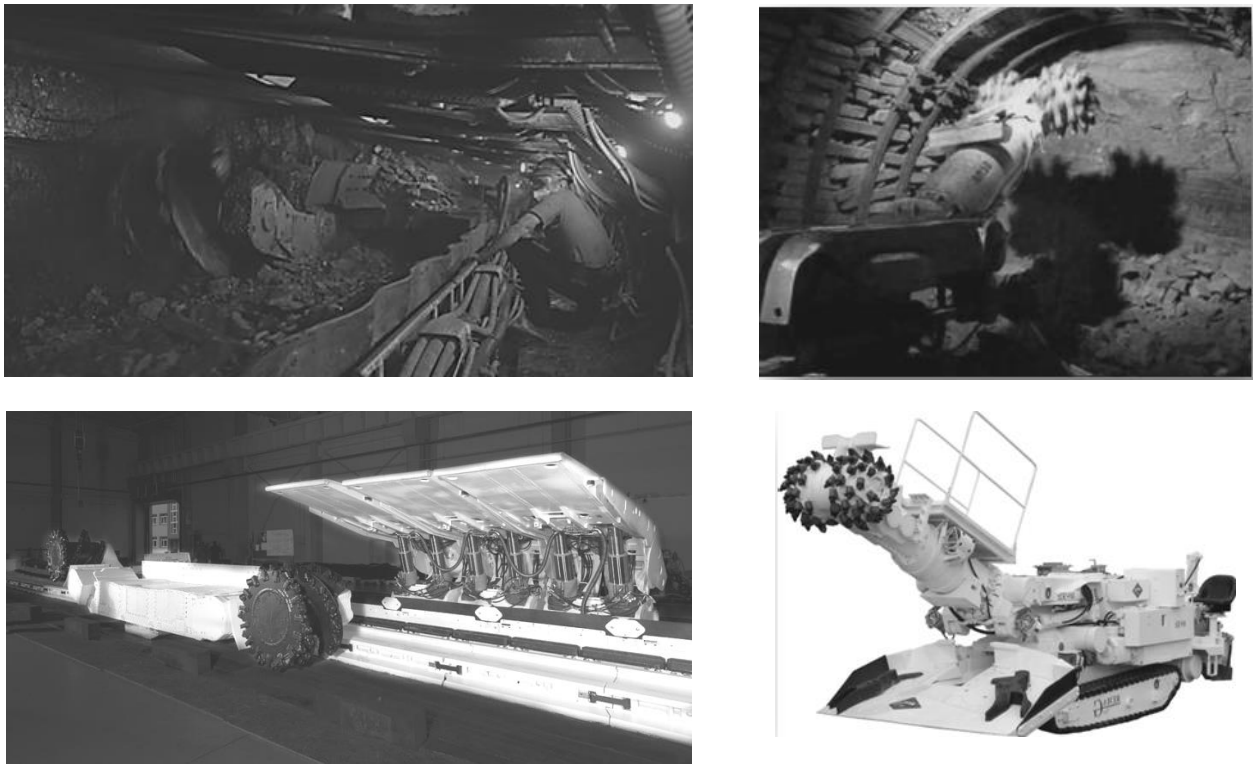


Рис. 1.16. Очистные и проходческие комбайны

Технические характеристики асинхронных двигателей электроприводов, рассмотренных выше проходческих и очистных комбайнов, приведены в таблицах 1.5 и 1.6.

Таблица 1.5.

Технические характеристики электродвигателей очистного комбайна

Наименование параметра	**Значение**
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	250
Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	1480
Номинальное напряжение, В	1140
Частота питающего напряжения, Гц	50
Номинальный ток статора, А	159
Коэффициент мощности	0,84
Режим работы	S1 (продолжительный)
Класс изоляции	H
IP	55

Таблица 1.6.

Технические характеристики электродвигателей проходческого комбайна

Наименование параметра	**Значение**
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	51
Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	1483
Номинальное напряжение, В	500/1000
Частота питающего напряжения, Гц	50
Номинальный ток статора, А	75/35
Коэффициент мощности	0,91
Режим работы	S1 (продолжительный)
Класс изоляции	F
IP	55

Для управления электродвигателями (рис.1.17а) приводов рассмотренного очистного комбайна используется преобразователь частоты NXP компании Vacon. Смонтированный вид преобразователя частоты в раме очистного комбайна представлена на рис.1.17б.

Мощность преобразователя частоты 400 кВт, напряжение 380 В. Перегрузочная способность до 150%.

Для управления приводным асинхронным электродвигателем используется векторный алгоритм управления с замкнутым конту-

ром скорости. Степень защиты корпуса преобразователя IP 54. Преобразователь обеспечивает защиту двигателя от короткого замыкания, перегрузки и заклинивания. Обеспечивает возможность пуска с определением направления и скорости вращения двигателя. Торможение постоянным током.

а) б)

Рис. 1.17. Внешний вид приводных асинхронных двигателей и преобразователя частоты очистного комбайна

Структура силовой части преобразователя частоты электропривода очистного комбайна приведена на рис.1.18. Преобразователь частоты состоит из следующих основных элементов: входных дросселей (ВД); диодного выпрямителя (В); тормозных прерывателя (ТП) и сопротивления; инвертора (И); асинхронного двигателя (АД).

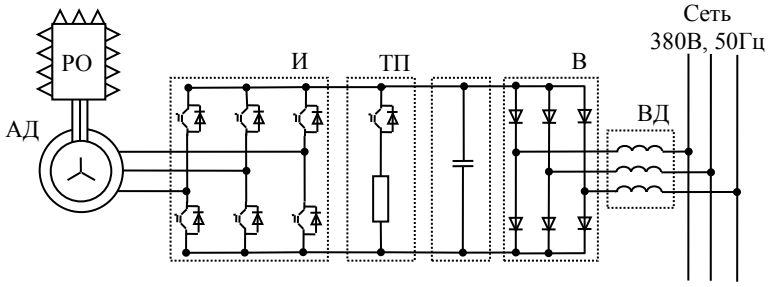


Рис. 1.18. Структурная схема электропривода очистного комбайна

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

2.1. Структура библиотек MatLab Simulink и SimPowerSystems

Программа MatLab представляет собой высокоуровневый технический вычислительный язык и интерактивную среду для разработки алгоритмов, визуализации и анализа данных, числовых расчетов.

Программа MatLab состоит из большого количества библиотек для моделирования различных технических объектов. Для моделирования электротехнических систем использовались блоки библиотек Simulink и SimPowerSystems.

Библиотека Simulink содержит следующие основные разделы:

- Continuous – линейные блоки;
- Discrete – дискретные блоки;
- Functions & Tables – функции и таблицы;
- Math – блоки математических операций;
- Nonlinear – нелинейные блоки;
- Signals & Systems – сигналы и системы;
- Sinks – регистрирующие устройства;
- Sources – источники сигналов и воздействий;
- Subsystems – блоки подсистем.

В состав библиотеки SimPowerSystems входят следующие разделы:

- Electrical Sources – источники электрической энергии;
- Connectors – соединители;
- Measurements – измерительные и контрольные устройства;
- Elements – электротехнические элементы;
- Power Electronics – устройства силовой электроники;
- Machines – электрические машины;
- Powerlib Extras – дополнительные устройства.

Эти библиотеки подробно описаны в следующей литературе [15], [16],[17],[18],[19].

Используя блоки пакетов SimPowerSystems и Simulink, можно создавать имитационные модели электротехнических систем и исследовать их режимы работы.

Ниже будут рассмотрены некоторое блоки библиотеки SimPowerSystems, которые составляют силовую часть электротехнических систем объектов и технических средств минерально-сырьевых ресурсов.

2.2. Имитационные модели библиотеки MatLab SimPowerSystems (стандартные блоки силовых элементов)

Блок «Powergui» - Графический интерфейс пользователя. Блок является инструментом графического интерфейса пользователя и обеспечивает решение следующих задач:

– расчет схемы комплексным методом;

– расчет установившегося режима;

– дискретизация модели;

– задание начальных условий;

– инициализация трехфазных схем, содержащих электрические машины, таким образом, чтобы расчет начался с установившегося режима;

– анализ схемы с помощью инструмента Simulink LTI-Viewer;

– определение полного сопротивления (импеданса) цепи;

– выполнение гармонического анализа;

– создание отчета;

– создание файла характеристик намагничивания для модели нелинейного трансформатора.

Блок «AC Voltage Source» - Идеальный источник переменного напряжения. Блок моделирует работу идеального источника синусоидального напряжения с постоянной амплитудой. Параметры блока приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Параметры блока «AC Voltage Source»

Parameter	Параметр
Peak Amplitude (V)	Амплитуда (В)
Phase (deg)	Фаза (град). Начальная фаза
Frequency (Hz)	Частота (Гц). Частота источника
Sample time	Шаг дискретизации
Measurments	Измеряемые переменные

Блок «3-Phase Programmable Voltage Source» - Трехфазный программируемый источник напряжения. Вырабатывает трехфазную систему напряжений с программируемыми во времени изменениями амплитуды, фазы, частоты, а также гармонического состава. Параметры блока приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Параметры блока «3-Phase Programmable Voltage Source»

Parameter	Параметр
Positive-sequence: Amplitude (Vrms Ph-Ph) Phase (degrees) Freq. (Hz)	Прямая последовательность: амплитуда фаз (градусы); частота (Гц)
Time variation of:	Изменение во времени: none (нет); amplitude (амплитуда); phase (фаза); frequency (частота)
Type of variation:	Способ изменения: step (ступенчатое изменение); ramp (линейное изменение); modulation (модуляция); table (таблица)
Step magnitude	Уровень ступенчатого сигнала
Rate of change (value/s)	Скорость изменения (величина/с)
Amplitude of the modulation:	Амплитуда модуляции
Frequency of the modulation (Hz):	Частота модуляции (Гц)
Variation timing (s): Start End	Время действия изменения (с): начало; конец
Fundamental and/or Harmonic generation	Наложение прямой, обратной или нулевой последовательности и/или высших гармоник
A: order(n); fmplitude; phase (degrees)	A: гармоника (n); амплитуда; фаза (град)
B: order(n); amplitude phase(degrees)	B: гармоника (n); амплитуда; фаза (град)
Harmonic timing (s): Start; End	Время действия гармоники (с):начало; конец

Блок «Series RLC Branch» - Последовательная RLC-цепь. Блок моделирует последовательное включение резистора, индуктивности и конденсатора. Параметры блока приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Параметры блока «Series RLC Branch»

Parameter	Параметр
Resistance R (Ohms)	Сопротивление (Ом)
Inductance L (H)	Индуктивность (Гн)
Capacitance C (F)	Емкость (Ф)
Measurements	Измеряемые переменные

Блок «Three-phase Transformer (Two Windings)» - Трехфазный двухобмоточный трансформатор. Блок моделирует двухоб-

моточный трехфазный трансформатор. Модель построена на основе трех однофазных трансформаторов. В модели может учитываться нелинейность характеристики намагничивания материала сердечника. Активные сопротивления и индуктивности обмоток, а также параметры цепи намагничивания задаются в относительных единицах аналогично модели линейного трансформатора. Характеристика намагничивания задается аналогично модели нелинейного трансформатора. Параметры блока приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4.

Параметры блока «Three-phase Transformer (Two Windings)»

Parameter	**Параметр**
Nominal power and fr. Pn(VA) fn(Hz)	Номинальная мощность (ВА) и частота (Гц)
Winding 1 (ABC) connection: Y; Yn; Yg; D1; D11	Схема соединения первичной обмотки: Y – звезда; Yn - звезда с нейтралью; Yg -звезда с заземленной нейтралью; D1–треугольник с опережением в 300 эл. град.; D11– треугольник с отставанием на 300 эл. град.
Winding 1 parameters: V1 Ph-Ph(V); R1(pu); L1(pu)	Параметры первичной обмотки: линейное напряжение (В); активное сопротивление обмотки (о.е.); индуктивность обмотки (о.е.)
Winding 2 (abc) connection Y; Yn; Yg; D1; D11	Схема соединения вторичной обмотки (то же, что и для первичной обмотки)
Winding 2 parameters U2 Ph-Ph(V); R2(pu), L2(pu)	Параметры вторичной обмотки: (то же, что и для первичной обмотки)
Saturable core	Насыщающийся сердечник
Magnetization resistance Rm(pu)	Сопротивление цепи намагничивания (о.е.)
Magnetization inductance Lm(pu)	Индуктивность цепи намагничивания (о.е.)
Saturation characteristic (pu)	Характеристика насыщения сердечника
Simulate hysteresis	Учет гистерезиса
Hysteresis Data Mat file	Имя файла данных, содержащего гистерезисную характеристику
Specify initial fluxes	Начальные потоки для фаз ABC (параметр доступен при моделировании нелинейного трансформатора)
Measurements	Измеряемые переменные

Блок «Three-phase Transformer (Three Windings» - Трехфазный трехобмоточный трансформатор. Блок моделирует трехобмоточный трехфазный трансформатор. Модель построена на

основе трех однофазных трансформаторов. В модели может учитываться нелинейность характеристики намагничивания материала сердечника. Параметры блока приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5.

Параметры блока «Three-phase Transformer (Three Windings»

Parameter	Параметр
Port configuration:	Конфигурация портов: ABC as input terminals – ABC являются входными; ABC as output terminals–ABC являются выходными
Nominal power and frequency Pn(VA); fn(Hz)	Номинальная мощность (ВА) и частота (Гц)
Winding 1 (ABC) connection: Y; Yn; Yg; D1; D11	Схема соединения первой обмотки (то же, что для первичной обмотки трехфазного двухобмоточного трансформатора)
Winding parameters V1 Ph-Ph(V), R1(pu), L1(pu)	Параметры первой обмотки: линейное напряжение (В); активное сопротивление обмотки (о.е.); индуктивность обмотки (о.е.)
Winding 2 (abc) connection	Схема соединения второй обмотки (то же, что и для первичной обмотки)
Winding parameters U2 Ph-Ph(V), R2(pu), L2(pu)	Параметры второй обмотки: (то же, что и для первичной обмотки)
Winding 3 (abc) connection	Схема соединения первой обмотки (то же, что и для первичной обмотки)
Winding parameters U3 Ph-Ph(V); R2(pu); L2(pu)	Параметры третьей обмотки (то же, что и для первичной обмотки)
Saturable core	Насыщающийся сердечник
Magnetization resistance Rm(pu)	Сопротивление цепи намагничивания (о.е.)
Magnetization inductance Lm(pu)	Индуктивность цепи намагничивания (о.е.)
Saturation characteristic (pu)	Характеристика насыщения сердечника
Simulate hysteresis	Учет гистерезиса
Hysteresis Data Mat file	Имя файла данных, содержащего гистерезисную характеристику
Specify initial fluxes	Начальные потоки для фаз ABC
Measurements	Измеряемые переменные

Блок «Asynchronous Machine» - Асинхронная машина. Блок моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента машины. Порты модели A, B и C являются выводами статорной обмотки машины, а порты a, b и c - обмотки ротора машины. Порт Tm предназначен для подачи момента

сопротивления движению. На выходном порту m формируется векторный сигнал, состоящий из 21 элемента: токов, потоков и напряжений ротора и статора в неподвижной и вращающейся системах координат, электромагнитного момента, скорости вращения вала, а также его углового положения. Для удобства извлечения переменных машины из вектора в библиотеке Sim Power Systems предусмотрен блок Machines Measurement Demux. Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Параметры блока приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

Параметры блока «Asynchronous Machine»

Parameter	**Параметр**
Rotor type: squirrel-cage; wound	Тип ротора: короткозамкнутый ротор; фазный ротор
Reference frame:	Система координат: rotor (неподвижная относительно ротора); stationary (неподвижная относительно статора); synchronous (вращающаяся вместе с полем)
Nom. power, L-L volt. and freq. : Pn (VA); Un (V); fn (Hz)	Номинальная мощность Pn (ВА), действующее линейное напряжение Un (В), номинальная частота fn (Гц)
Stator Rs (Ohm) Lls (H)	Сопротивление Rs (Ом) и индуктивность Ls (Гн) статора
Rotor Rr (Ohm) Llr' (H)	Сопротивление Rs (Ом) и индуктивность Ls (Гн) ротора
Mutual inductance Lm (H)	Взаимная индуктивность (Гн)
Inertia, friction factor and pairs of poles:J(kg*m^2),F(N*m*s),p	Момент инерции J (кг·м^2), коэффициент трения F (Н·м·с), число пар полюсов (p)

Initial conditions:
s; th(deg);
isa,isb,isc(A);
phA,phB,phC(deg)]:
	Начальные условия:
	s – скольжение; th - фаза (град.);
	isa, isb, isc - начальные значения токов статора (А);
	phA, phB, phC - начальные фазы токов статора (град.)

Блок «Universal Bridge» - Универсальный мост. Блок моделирует работу полупроводникового моста. Модель позволяет выбирать количество плеч моста (от 1 до 3), вид полупроводниковых приборов (диоды, тиристоры, идеальные ключи, а также полностью

управляемые тиристоры, IGBT и MOSFET транзисторы, шунтированные обратными диодами). В модели можно также выбрать вид зажимов A, B и C). Параметры блока приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7.

Параметры блока «Universal Bridge»

Parameter	Параметр
Number of bridge arms	Число плеч моста (выбирается из списка: 1, 2 или 3)
Port configuration: ABC as input terminals; ABC as output terminals	Конфигурация портов зажимы A, B и C являются входными; зажимы A, B и C являются выходными
Snubber resistance Rs (Ohm)	Сопротивление демпфирующей цепи (Ом)
Snubber capacitance Cs (F)	Емкость демпфирующей цепи (Ф)
Power Electronic device: Diodes; Thyristors; GTO / Diodes; MOSFET / Diodes - MOSFET IGBT / Diodes – IGBT Ideal Switches	Вид полупроводниковых устройств моста: диоды; тиристоры; полностью управляемые тиристоры, шунтированные обратными диодами; транзисторы, шунтированные обратными диодами; идеальные ключи
Measurements: none; device voltages; device currents; UAB UBC UCA UDC volt; all voltages and currents	Измеряемые переменные: нет переменных для отображения; напряжения на полупроводниковых устройствах; токи полупроводниковых устройств; напряжения на зажимах моста; все напряжения и токи моста

Блок «Three-Level Bridge» - Трехуровневый мост. Блок моделирует работу трехуровневого моста. Модель также позволяет выбирать количество плеч моста (от 1 до 3) и вид полупроводниковых приборов. В модели можно также выбрать режим работы (выпрямительный или инверторный). Параметры блока приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8.

Параметры блока «Three-Level Bridge»

Parameter	Параметр
Number of bridge arms	Число плеч моста (выбирается из списка: 1, 2 или 3)
Port configuration	Конфигурация портов (то же, что для универсального моста)
Snubber resistance Rs (Ohm)	Сопротивление демпфирующей цепи (Ом)
Snubber capacitance Cs (F)	Емкость демпфирующей цепи (Ф)
Power Electronic device	Вид полупроводниковых устройств моста (то же, что для универсального моста)

2.3. Имитационные модели полупроводниковых выпрямителей (неуправляемых и управляемых)

Полупроводниковый выпрямитель можно представить в виде структурной схемы, как на рис. 2.1, в которую входят: силовой трансформатор (СТ), полупроводниковый выпрямитель (ПВ), фильтр (Ф), электрическая нагрузка (Н).

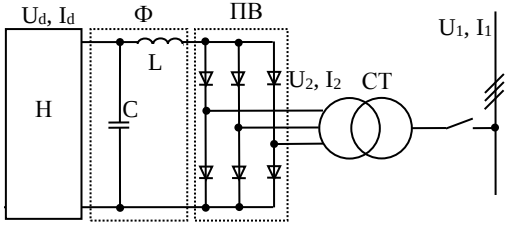


Рис. 2.1. Структурная схема выпрямителя.

Силовой трансформатор обеспечивает согласование уровней напряжений сети электроснабжения и входного напряжения полупроводникового выпрямителя. Другой функцией трансформатора является обеспечение гальванической развязки полупроводникового блока и сети электроснабжения. Активные выпрямители могут строиться по бестрансформаторной схеме, в которых выпрямительный блок присоединяется непосредственно к питающей сети через дроссели.

Полупроводниковый выпрямитель обеспечивает непосредственное выпрямление напряжения и тока. В качестве полупроводниковых ключей могут использоваться неуправляемые диоды, транзисторы с естественной коммутацией или полностью управляемые транзисторы.

Фильтр, установленный на выходе полупроводникового выпрямителя, обеспечивает требуемый уровень пульсаций выпрямленного тока в цепи нагрузки. Фильтр может строиться на основе резисторов, дросселей и конденсаторов.

Шестипульсный диодный выпрямитель (6-пульсный выпрямитель). Схема имитационной модели 6-пульсного выпрямителя представлена на рис.2.2. Она состоит из трех источников пере-

менного напряжения (U_a, U_b, U_c), трехфазного трансформатора (Three-phase Transformer), первичная и вторичная обмотки которого соединены треугольником, трехфазного выпрямителя (Diode bride), выполненного на полупроводниковых диодах, и нагрузки (RL).

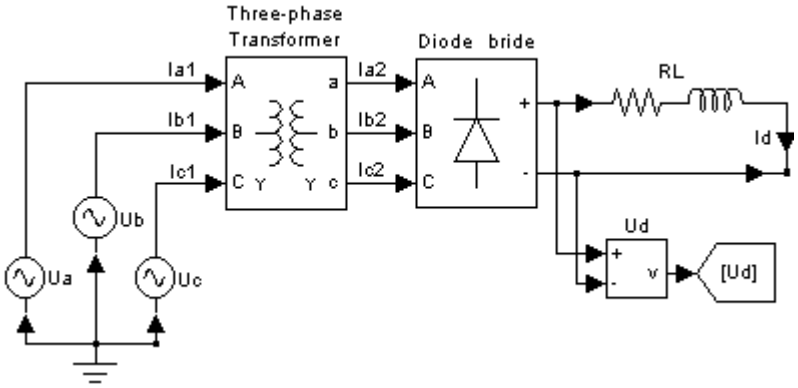


Рис.2.2. Схема имитационной модели
6-пульсного выпрямителя

При выполнении моделирования приняты следующие параметры системы: амплитудные значения фазных напряжений источников питания $U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=0.577$ В; частота напряжения f=50 Гц; коэффициент трансформации трехфазного трансформатора $k_T=1$; активное сопротивление нагрузки и индуктивность R=1000 Om, L=1 mГн. Остальные параметры трехфазного трансформатора и диодного выпрямителя установлены по умолчанию.

Результаты имитационного моделирования 6-пульсного выпрямителя с помощью представленной модели приведены на рис.2.3а в виде диаграмм токов и напряжений выпрямителя при работе в установившемся режиме. Анализ полученных результатов приведен в таблице 2.9.

При имитационном моделировании 6-пульсного выпрямителя учитываются следующие переменные: выпрямленные напряжение и ток (U_d, I_d); токи первичных и вторичных обмоток трансформатора (I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}, I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}); линейные напряжения вторичной цепи трансформатора (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}). Также, на рис.2.3а приведен спектральный состав тока, потребляемого 6-пульсным выпрямителем от источника.

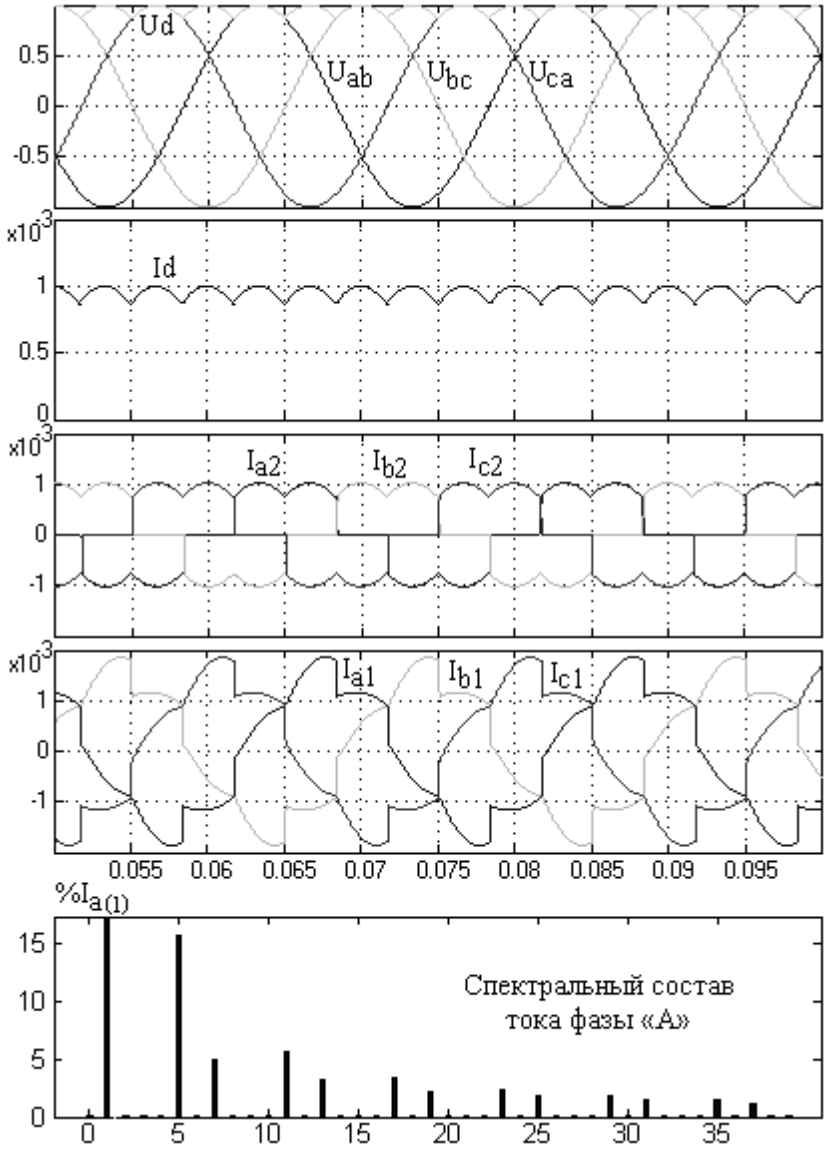


Рис.2.3а. Токи и напряжения 6-пульсного выпрямителя

Таблица 2.9

Анализ полученных результатов моделирования
6-пульсного выпрямителя

<table>
<tr><td colspan="3">Сеть электроснабжения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>0.408</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>0,7071</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» (действующий), А</td><td>$1.15 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="9">Коэффициент искажения тока (THDI): 18,77 %</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>250</td><td>15,85</td></tr>
<tr><td>350</td><td>4,98</td></tr>
<tr><td>550</td><td>5,61</td></tr>
<tr><td>650</td><td>3,19</td></tr>
<tr><td>850</td><td>3,38</td></tr>
<tr><td>950</td><td>2,27</td></tr>
<tr><td>1150</td><td>2,41</td></tr>
<tr><td colspan="3">Трансформатор</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В</td><td>0.408</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение вторичной цепи (действующее), В</td><td>0,7071</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» вторичной цепи (действующий), А</td><td>$0{,}707 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А» вторичной цепи</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="9">Коэффициент искажения тока (THDI): 29,76%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>250</td><td>25,13</td></tr>
<tr><td>350</td><td>7,89</td></tr>
<tr><td>550</td><td>8,9</td></tr>
<tr><td>650</td><td>4,98</td></tr>
<tr><td>850</td><td>5,36</td></tr>
<tr><td>950</td><td>3,59</td></tr>
<tr><td>1150</td><td>3,82</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленное напряжение (среднее), В</td><td>0,95</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленный ток (средний), А</td><td>$0{,}95 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
</table>

На рис.2.3б приведены графики, полученные в результате имитационного моделирования 6-пульсного выпрямителя, и в результате натурного эксперимента. Из графиков видно, что пакет прикладных программ Mat Lab обеспечивает высокую степень сходимости результатов моделирования с результатами экспериментов, проводимых на реальных объектах. Это подтверждает адекватность математических моделей, используемых в MatLab для моделирования электромагнитных процессов, протекающих в полупроводниковых преобразователях. Алгоритм проверки адекватности математической модели приведен в Приложении А.

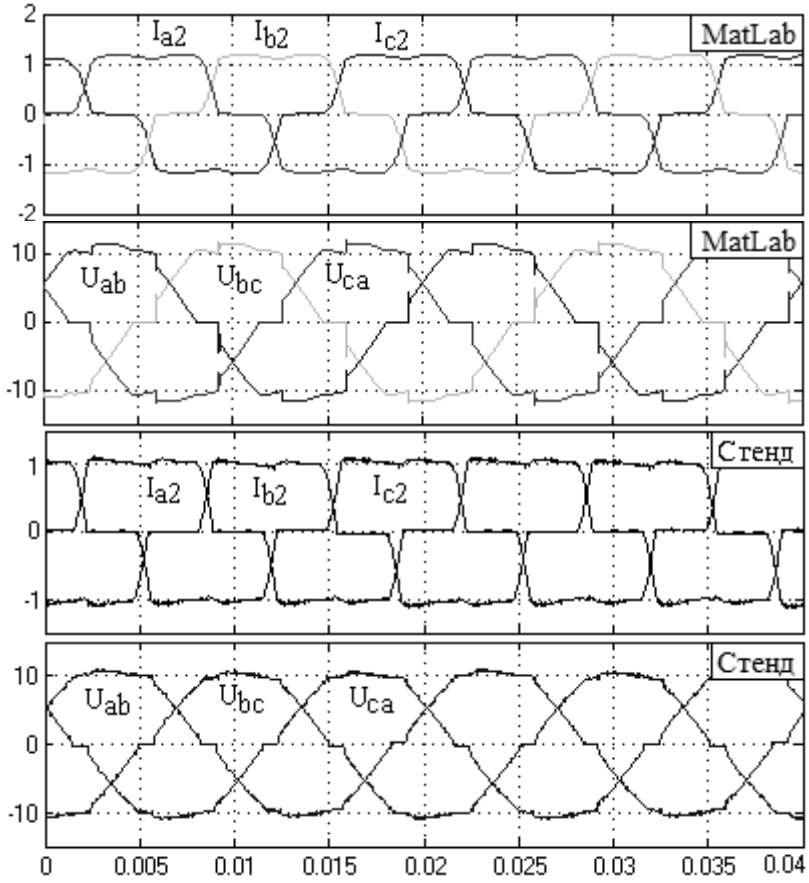


Рис.2.3б. Токи и напряжения 6-пульсного выпрямителя, полученные в Mat Lab и в экспериментах

Двенадцатипульсный (12-пульсный) диодный выпрямитель с последовательным соединением мостов. Полупроводниковые преобразователи с 12-пульсными выпрямителями используются для снижения искажения напряжения питающей сети и снижения уровня пульсаций выпрямленного напряжения. В большинстве случаев для обеспечения 12-пульсного режима работы выпрямителей используются трансформаторы с двумя трехфазными вторичными обмотками, одна из которых соединена в звезду, другая – в треугольник. При этом системы трехфазных напряжений на выходе вторичных обмоток сдвинуты относительно друг друга на 30 эл. град.

Схема имитационной модели 12-пульсного выпрямителя с последовательным соединением мостов, реализованная в Matlab, представлена на рис.2.4.

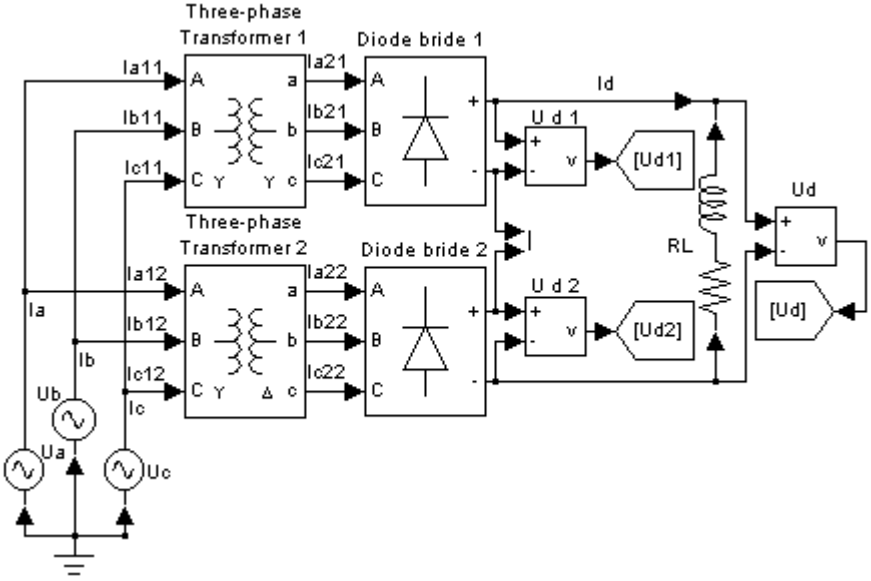


Рис. 2.4. Схема имитационной модели 12-пульсного выпрямителя с последовательным соединением мостов

Она состоит из трех однофазных источников переменного напряжения (U_a, U_b, U_c), которые образуют трехфазную систему питания. Трехфазный трансформатор с двумя вторичными обмотками

заменен на эквивалентные ему два трехфазных трансформатора. Вторичная обмотка первого трансформатора (Three-phase Transformer 1) соединена звездой, второго трансформатора (Three-phase Transformer 2) - треугольником. Такая структура модели позволяет рассчитать как общий ток, потребляемый 12-пульсным выпрямителем, так и ток, потребляемый каждым диодным мостом. К вторичным цепям трансформаторов подключены трехфазные мостовые выпрямители (Diode bride 1, Diode bride 2). Нагрузка выпрямителя выполнена в виде RL цепочки.

Для выполнения имитационного моделирования установлены следующие параметры модели 12-пульсного выпрямителя. Амплитудные значения фазных напряжений источников питания $U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=0.577$ В. Частота напряжения f=50 Гц. Коэффициенты трансформации трехфазных трансформаторов $k_T=1$. Активное сопротивление нагрузки и индуктивность R=1000 Om, L=1 mГн. Остальные параметры элементов имитационной модели установлены по умолчанию.

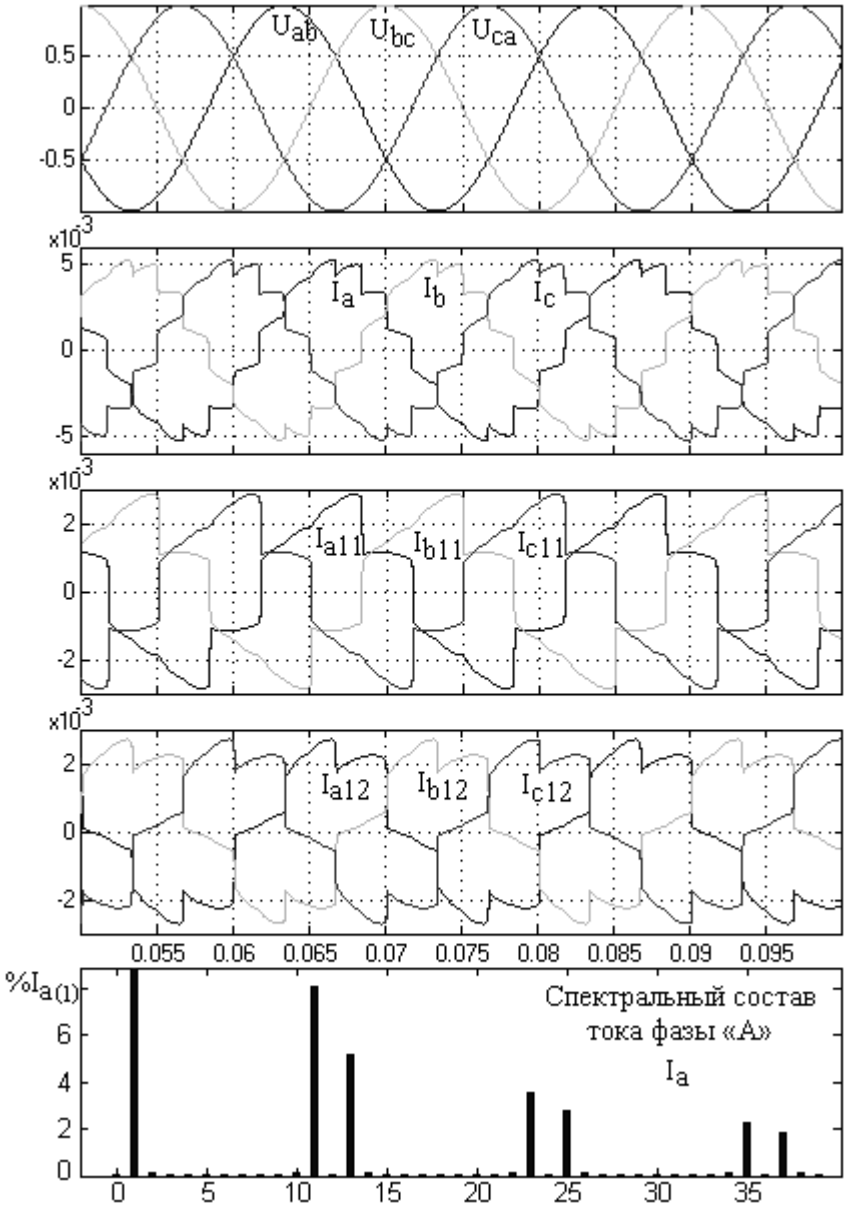
Результаты моделирования 12-пульсного выпрямителя с последовательным соединением мостов приведены на рис.2.5 в виде диаграмм мгновенных значений токов и напряжений выпрямителя при работе в установившемся режиме.

При имитационном моделировании учитываются следующие переменные: выпрямленные напряжения (общее (U_d) и на выходе каждого диодного моста (U_{d1}, U_{d2})) и выпрямленный ток (I_d); токи, потребляемые от источника (I_a, I_b, I_c); токи, протекающие в первичных цепях трансформаторов (I_{a11}, I_{b11}, I_{c11}, I_{a12}, I_{b12}, I_{c12}); токи, протекающие во вторичных цепях трансформаторов (I_{a21}, I_{b21}, I_{c21}, I_{a22}, I_{b22}, I_{c22}); линейные напряжения источника электрической энергии (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}); линейные напряжения вторичных цепей трансформаторов (U_{ab21}, U_{bc21}, U_{ca21}, U_{ab22}, U_{bc22}, U_{ca22}).

Также, на рис.2.5 приведен спектральный состав тока, потребляемого 12-пульсным выпрямителем от источника.

На рис.2.5 выпрямленный ток ($I_d \cdot 10^3$) и выпрямленное напряжение (U_d) на нагрузке, имеющие одинаковые формы, совпадают.

Анализ полученных результатов приведен в таблице 2.10.


Uab
Ubc
Uca
0.5
0
-0.5
x10^3
5
0
-5
Ia
Ib
Ic
x10^3
2
0
-2
Ia11
Ib11
Ic11
x10^3
2
0
-2
Ia12
Ib12
Ic12
0.055
0.06
0.065
0.07
0.075
0.08
0.085
0.09
0.095
%Ia(1)
6
4
2
0
Спектральный состав
тока фазы «А»
Ia
0
5
10
15
20
25
30
35

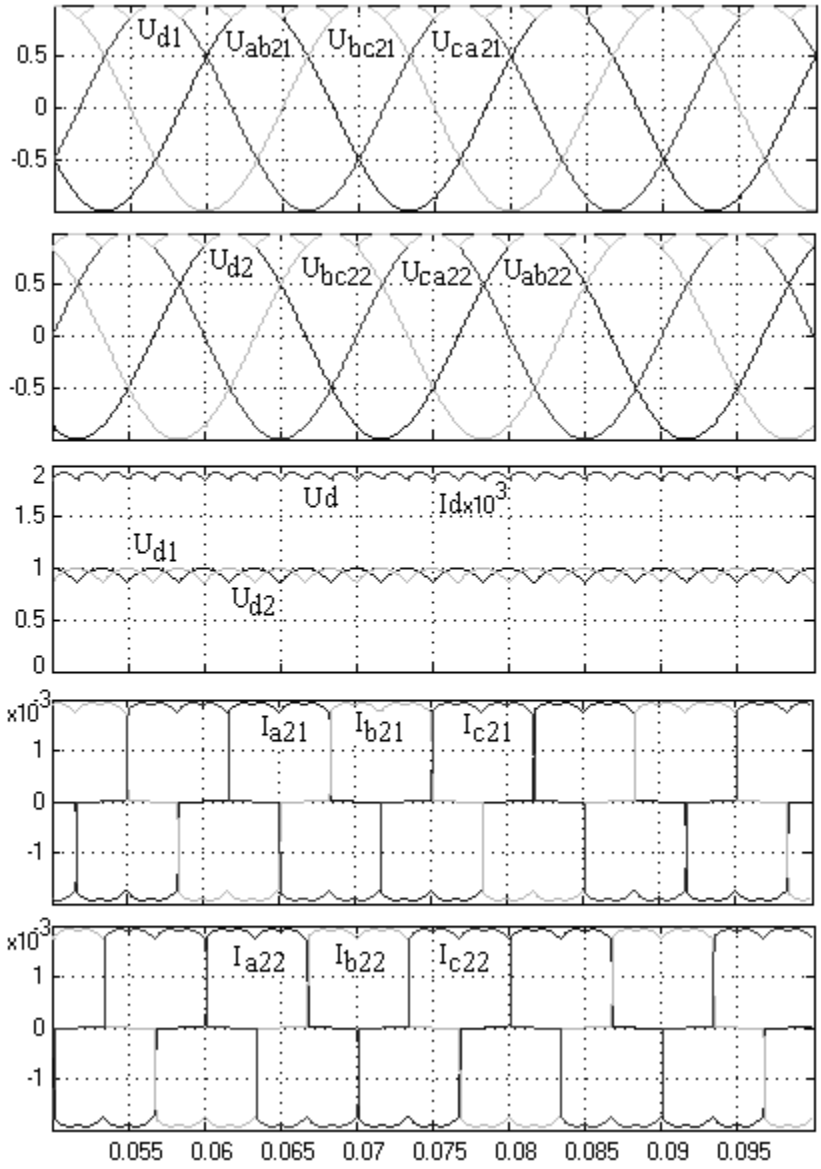


Рис.2.5. Входные и выходные токи и напряжения
12-пульсного выпрямителя с последовательным соединением мостов

Таблица 2.10

Анализ полученных результатов моделирования
12-пульсного выпрямителя с последовательным соединением мостов

Сеть электроснабжения		
Фазное напряжение (действующее), В		0.408
Линейное напряжение (действующее), В		0,7071
Ток фазы «А» (действующий), А		$3{,}535 \cdot 10^{-3}$
Искажение синусоидальности тока фазы «А»		
Частоты гармоник тока, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDI): 10,98 %
50	100	
550	8,07	
1150	3,55	
1250	2,77	
Первый трансформатор		
Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В		0.408
Ток фазы «А» вторичной цепи (действующий), А		$1{,}47 \cdot 10^{-3}$
Ток фазы «А» первичной цепи (действующий), А		$1{,}77 \cdot 10^{-3}$
Искажение синусоидальности тока фазы «А» первичной цепи		
Частоты гармоник тока, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDI): 24,41 %
50	100	
250	17,73	
350	10,55	
550	8,09	
650	5,14	
850	4, 65	
Второй трансформатор		
Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В		0.408
Ток фазы «А» вторичной цепи (действующий), А		$1{,}47 \cdot 10^{-3}$
Ток фазы «А» первичной цепи (действующий), А		$1{,}77 \cdot 10^{-3}$
Искажение синусоидальности тока фазы «А» первичной цепи		
Частоты гармоник тока, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDI): 29,32 %
50	100	
250	21,32	
350	12,68	
550	9,72	
650	6,18	
850	5,59	
Нагрузка		
Выпрямленное напряжение (среднее), В		1,9
Выпрямленный ток (среднее), А		$1{,}9 \cdot 10^{-3}$

Двенадцатипульсный (12-пульсный) диодный выпрямитель с параллельным соединением мостов. Полупроводниковые преобразователи с 12-пульсными выпрямителями с параллельным соединением мостов обладают теми же преимуществами, что и преобразователи с 12-пульсными выпрямителями с последовательным соединением мостов, но позволяют работать с нагрузками, имеющими более низкое напряжение. Отличительная особенность схем с параллельным соединением мостов заключается в использовании уравнительных дросселей, предназначенных для ограничения уравнительных токов, которые замыкаются между мостами и вторичными обмотками трансформатора, не попадая в нагрузку и в питающую сеть.

На рис.2.6 изображена схема имитационной модели 12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением мостов.

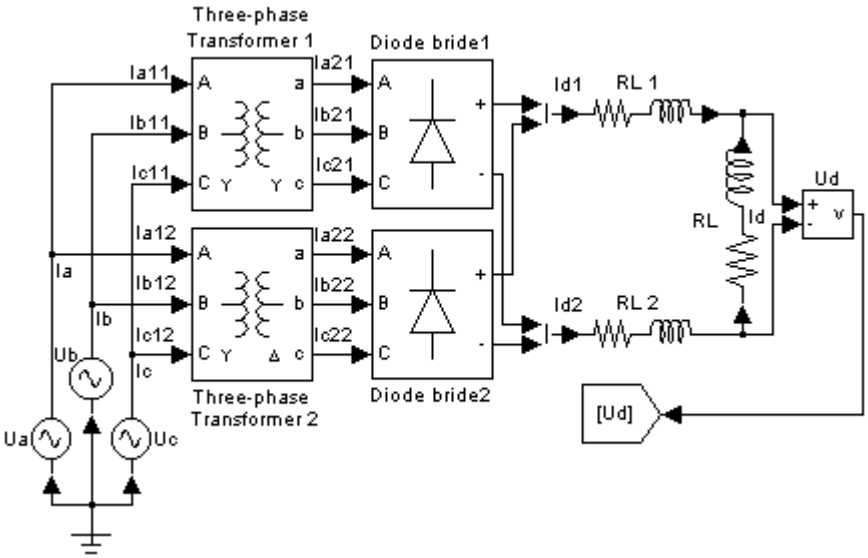


Рис. 2.6. Схема имитационной модели
12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением мостов

Схема имитационной модели 12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением мостов состоит из следующих элементов:

трех источников трехфазного напряжения (U_a, U_b, U_c); двух трехфазных трансформаторов (Three-phase Transformer 1 и Three-phase Transformer 2); двух трехфазных мостовых диодных выпрямителей (Diode bride 1, Diode bride 2); двух уравнительных дросселей (RL1 и RL 2). Нагрузка выпрямителя выполнена в виде RL цепочки.

Как видно из схемы имитационной модели, трехфазный трансформатор с двумя вторичными обмотками также представлен двумя трансформаторами, вторичная обмотка одного из которых соединена треугольником, а другого – звездой. При этом, первичные обмотки этих трансформаторов питаются от одного источника трехфазного напряжения. Такая структура модели позволяет рассчитать как общий ток, потребляемый 12-пульсным выпрямителем, так и ток, потребляемый каждым диодным мостом.

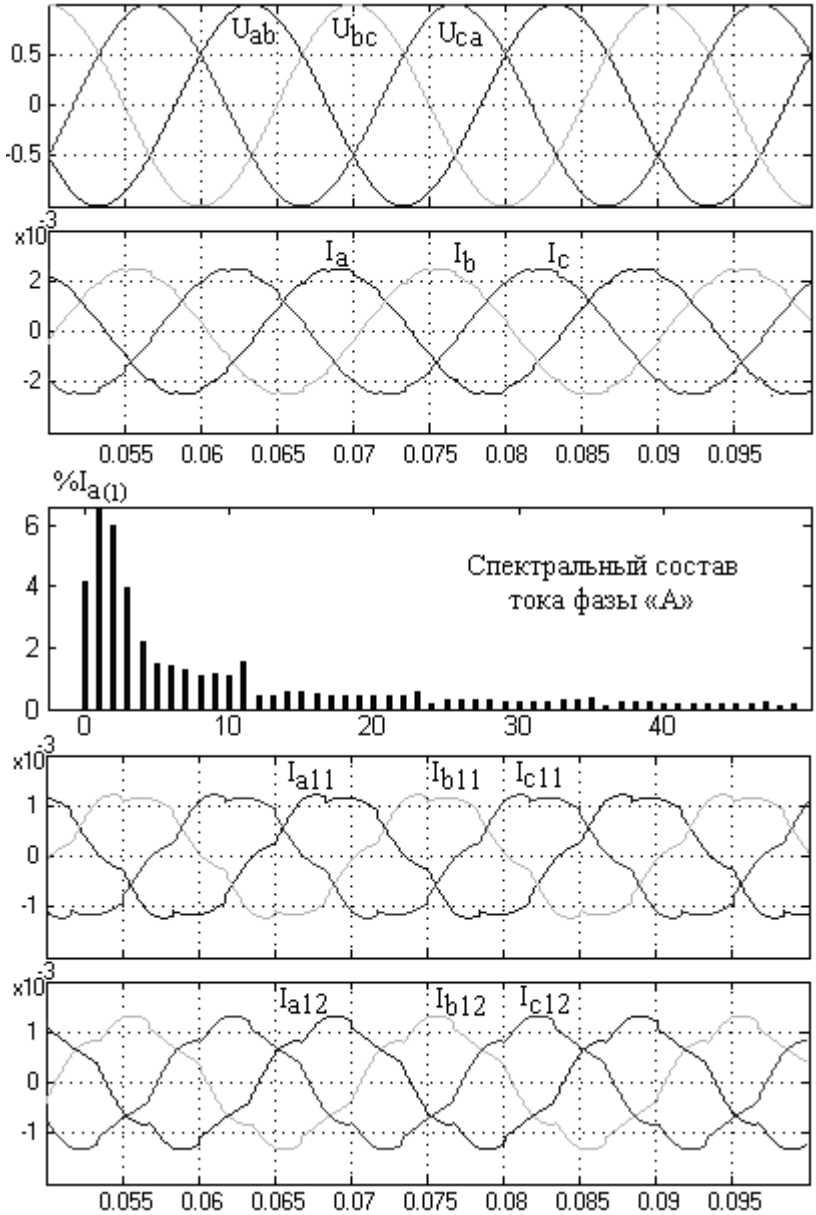
При выполнении моделирования приняты следующие параметры системы: амплитудные значения фазных напряжений источников питания $U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=0.577$ В; частота напряжения f=50 Гц; коэффициенты трансформации трехфазных трансформаторов $k_T=1$; активные сопротивления и индуктивности уравнительных дросселей $R_{dr}=1000$ Om, $L_{dr}=1$ мГн; активное сопротивление и индуктивность нагрузки R=1000 Om, L=1 мГн. Остальные параметры элементов имитационной модели установлены по умолчанию.

Результаты моделирования 12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением мостов приведены на рис.2.7 в виде диаграмм мгновенных значений токов и напряжений выпрямителя при работе в установившемся режиме.

При имитационном моделировании 12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением мостов производился расчет следующих переменных: выпрямленные ток нагрузки (I_d) и выходные токи каждого диодного моста (I_{d1}, I_{d2}); выпрямленные напряжения (U_{d1}, U_{d2}); токи, потребляемые выпрямителем от источника (I_a, I_b, I_c), и токи, потребляемые каждым трансформатором (I_{a11}, I_{b11}, I_{c11}, I_{a12}, I_{b12}, I_{c12}); токи вторичных цепей трансформатора (I_{a21}, I_{b21}, I_{c21}, I_{a22}, I_{b22}, I_{c22}); линейные напряжения вторичных цепей трансформаторов (U_{ab21}, U_{bc21}, U_{ca21}, U_{ab22}, U_{bc22}, U_{ca22}).

На рис.2.7 приведен спектральный состав тока, потребляемого 12-пульсным выпрямителем от источника.

Анализ полученных результатов приведен в таблице 2.11.


Uab
Ubc
Uca
0.5
0
-0.5
x10^3
Ia
Ib
Ic
2
0
-2
0.055
0.06
0.065
0.07
0.075
0.08
0.085
0.09
0.095
%Ia(1)
6
4
2
0
Спектральный состав
тока фазы «А»
0
10
20
30
40
x10^3
Ia11
Ib11
Ic11
1
0
-1
Ia12
Ib12
Ic12

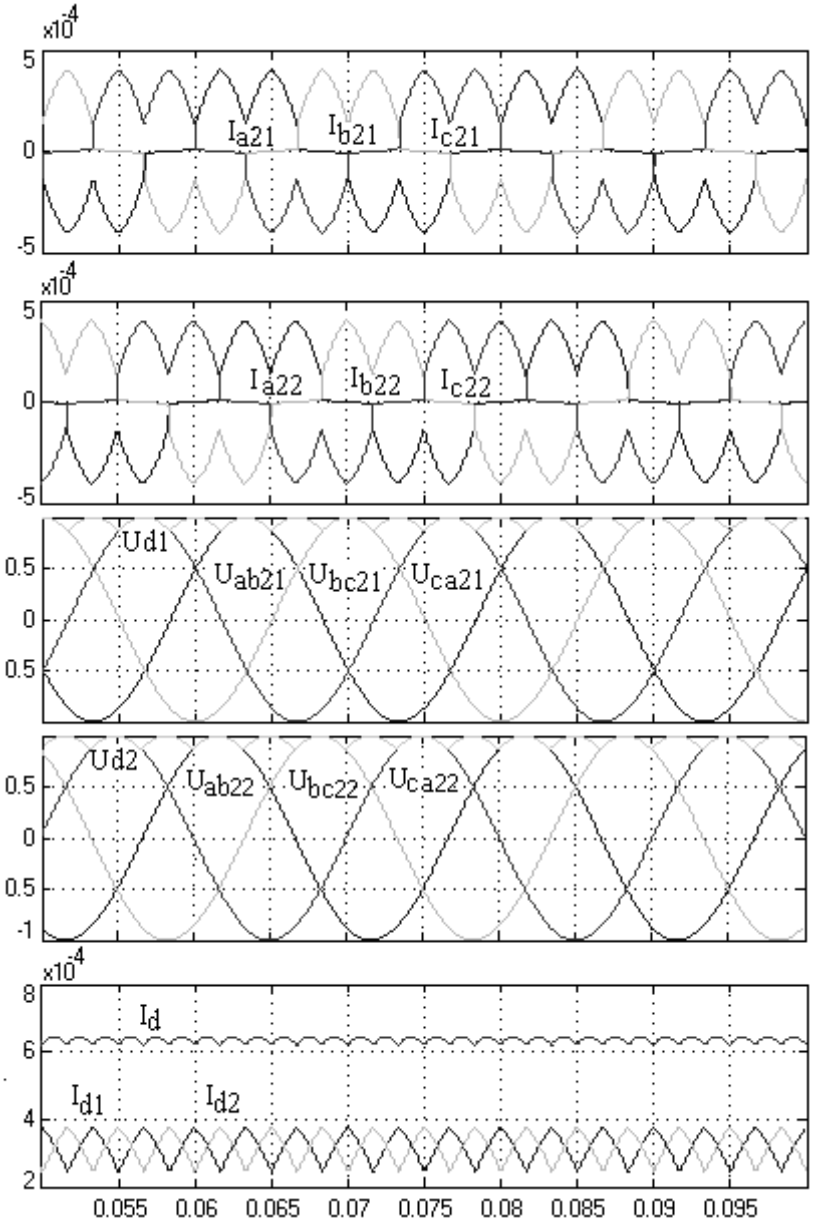


Рис.2.7. Входные и выходные токи и напряжения
12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением

Таблица 2.11

Анализ полученных результатов моделирования
12-пульсного выпрямителя с параллельным соединением мостов

<table>
<tr><td colspan="3">Сеть электроснабжения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>0.408</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>0,7071</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» (действующий), А</td><td>$1{,}785 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="12">Коэффициент искажения тока (THDI): 8,51%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>6,02</td></tr>
<tr><td>150</td><td>3,96</td></tr>
<tr><td>200</td><td>2,19</td></tr>
<tr><td>250</td><td>1,46</td></tr>
<tr><td>300</td><td>1,43</td></tr>
<tr><td>350</td><td>1,27</td></tr>
<tr><td>400</td><td>1,09</td></tr>
<tr><td>450</td><td>1,13</td></tr>
<tr><td>500</td><td>1,10</td></tr>
<tr><td>550</td><td>1,15</td></tr>
<tr><td colspan="3">Первый трансформатор</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В</td><td>$0{,}2346 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» вторичной цепи (действующий), А</td><td>$1{,}24 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А» первичной цепи</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 9,99%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>250</td><td>9,55</td></tr>
<tr><td>350</td><td>1,54</td></tr>
<tr><td colspan="3">Второй трансформатор</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В</td><td>0.408</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» вторичной цепи (действующий), А</td><td>$0{,}2346 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» первичной цепи (действующий), А</td><td>$1{,}24 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А» первичной цепи</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 9,97%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>250</td><td>9,52</td></tr>
<tr><td>350</td><td>1,55</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленное напряжение (среднее), В</td><td>0,95</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленный ток (среднее), А</td><td>$0{,}6 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
</table>

Двухуровневый активный выпрямитель (бестрансформаторный). В составе силовой части регулируемых электроприводов, для обеспечения электромагнитной совместимости преобразователей частоты с сетью электроснабжения, могут использоваться активные выпрямители. Использование в преобразователях частоты активных выпрямителей позволяет обеспечить: форму кривой тока в сети электроснабжения близкую к синусоидальной; работу электропривода с единичным коэффициентом мощности; регулирование выпрямленного напряжения в звене постоянного тока.

Активный выпрямитель может подключаться к сети электроснабжения, как через трансформатор, так и без него, с заменой последнего на дроссели. На рис.2.8 приведена структура имитационной модели активного выпрямителя, подключенного к источнику энергии по бестрансформаторной схеме.

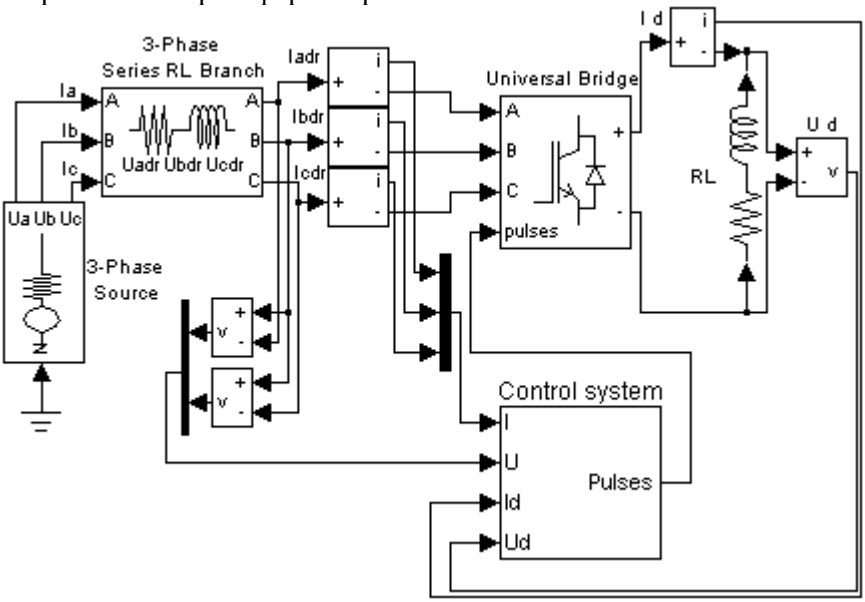


Рис. 2.8. Схема имитационной модели
бестранформаторного двухуровневого активного выпрямителя

Имитационная модель активного выпрямителя содержит следующие элементы: трехфазный источник напряжения (3-Phase Source); входные дроссели (3-Phase Series RL Branch); активный вы-

прямитель (Universal Bridge); блок системы управления (Control system). Нагрузка выпрямителя выполнена в виде RL цепочки.

При выполнении моделирования установлены следующие параметры элементов модели: амплитудные значения фазных напряжений источников питания $U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=0.577$ В; частота напряжения f=50 Гц; активные сопротивления и индуктивности входных дросселей $R_{dr}=1$ Om, $L_{dr}=1$ mГн; несущая частота активного выпрямителя 1000 Гц. Активное сопротивление и индуктивность нагрузки равны R=1000 Om, L=1 mГн. Остальные параметры всех элементов имитационной модели установлены по умолчанию. Уставка на уровень выпрямленного напряжения равна 1 В.

Система управления (блок Control system) активным выпрямителем выполнена на основе векторного алгоритма с ориентацией по вектору напряжения сети электроснабжения. Система управления содержит два канала управления компонентами тока, потребляемого активным выпрямителем из сети электроснабжения. Для обеспечения коэффициента мощности сети на уровне единицы при активно-индуктивной нагрузке, уставку на реактивный компонент, потребляемого тока, устанавливают равной нулю. Уставка на активный компонент, потребляемого тока, формируется внешним контуром регулирования выпрямленного напряжения. В контурах регулирования системы управления могут использоваться ПИ и ПИД регуляторы.

Управление полупроводниковыми ключами активного выпрямителя осуществляется по алгоритму широтно-импульсной модуляции. Более подробно алгоритм широтно-импульсной модуляции будет рассмотрено ниже.

Результаты моделирования активного выпрямителя приведены на рис.2.9 в виде диаграмм мгновенных значений токов и напряжений выпрямителя при работе в установившемся режиме.

При имитационном моделировании активного выпрямителя учитываются следующие координаты: фазные напряжения источника электрической энергии (U_a, U_b, U_a); токи источника электрической энергии (I_a, I_b, I_c); фазные напряжения между дросселем и активным выпрямителем (U_{adr}, U_{bdr}, U_{adr}); токи между дросселем и активным выпрямителем (I_{adr}, I_{bdr}, I_{cdr}); выпрямленное напряжение (U_d) и выпрямленный ток (I_d).

Также, на рис.2.9 приведены спектральные составы токов фазы «А», потребляемого активным выпрямителем от источника и то-

ка между дросселем и активным выпрямителем. Анализ полученных результатов приведен в таблице 2.12.

Как видно из приведенных графиков, напряжение и ток, потребляемые из сети, имеют нулевую фазу сдвига относительно друг друга. Причем, напряжение на входе дросселя и потребляемый ток имеют синусоидальную форму. За счет минимального искажения тока и напряжения и их синфазности обеспечивается поддержание коэффициента мощности на уровне единицы.

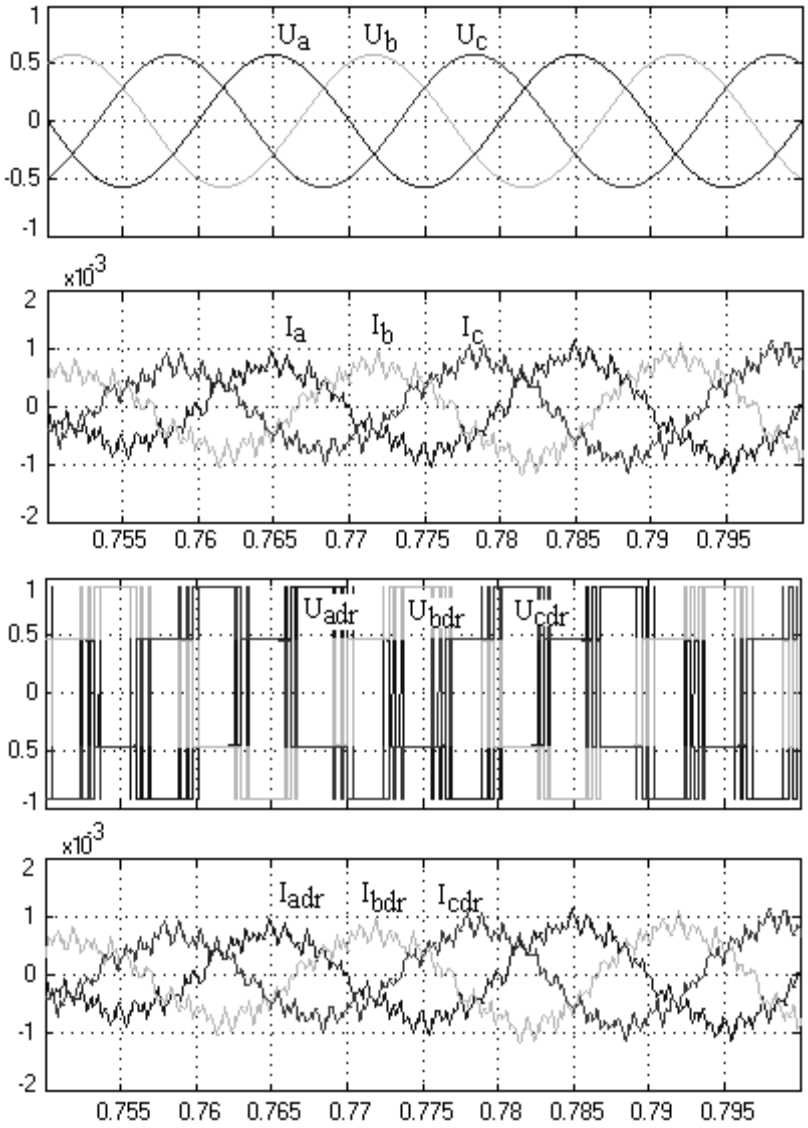
Также их графиков видно, что напряжение на выходе дросселей имеет форму импульсов. Работа активного выпрямителя в режиме синусоидальной широтно-импульсной модуляции позволяет регулировать мгновенное значение токов, потребляемых из сети, что позволяет регулировать их синусоидальность.

Использование активного выпрямителя позволяет регулировать уровень выпрямленного напряжения. Как видно из приведенных графиков, выпрямленное напряжение не имеет импульсов, а регулирование его уровня осуществляется с высокой точностью. При этом, минимальный уровень выпрямленного напряжения активного выпрямителя равен уровню напряжения, которое формируется на выходе неуправляемого диодного выпрямителя и не может быть меньше.

Таблица 2.12

Анализ полученных результатов моделирования двухуровневого активного выпрямителя

<table>
<tr><td colspan="3">Сеть электроснабжения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>0, 408</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>0,7071</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» (действующий), А</td><td>$0{,}85 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 7,13%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>1,15</td></tr>
<tr><td>150</td><td>2,15</td></tr>
<tr><td>150</td><td>6,67</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленное напряжение (среднее), В</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленный ток (среднее), А</td><td>$0{,}1 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
</table>


Ua
Ub
Uc
x10^3
Ia
Ib
Ic
0.755 0.76 0.765 0.77 0.775 0.78 0.785 0.79 0.795
Uadr
Ubdr
Ucdr
x10^3
Iadr
Ibdr
Icdr
0.755 0.76 0.765 0.77 0.775 0.78 0.785 0.79 0.795

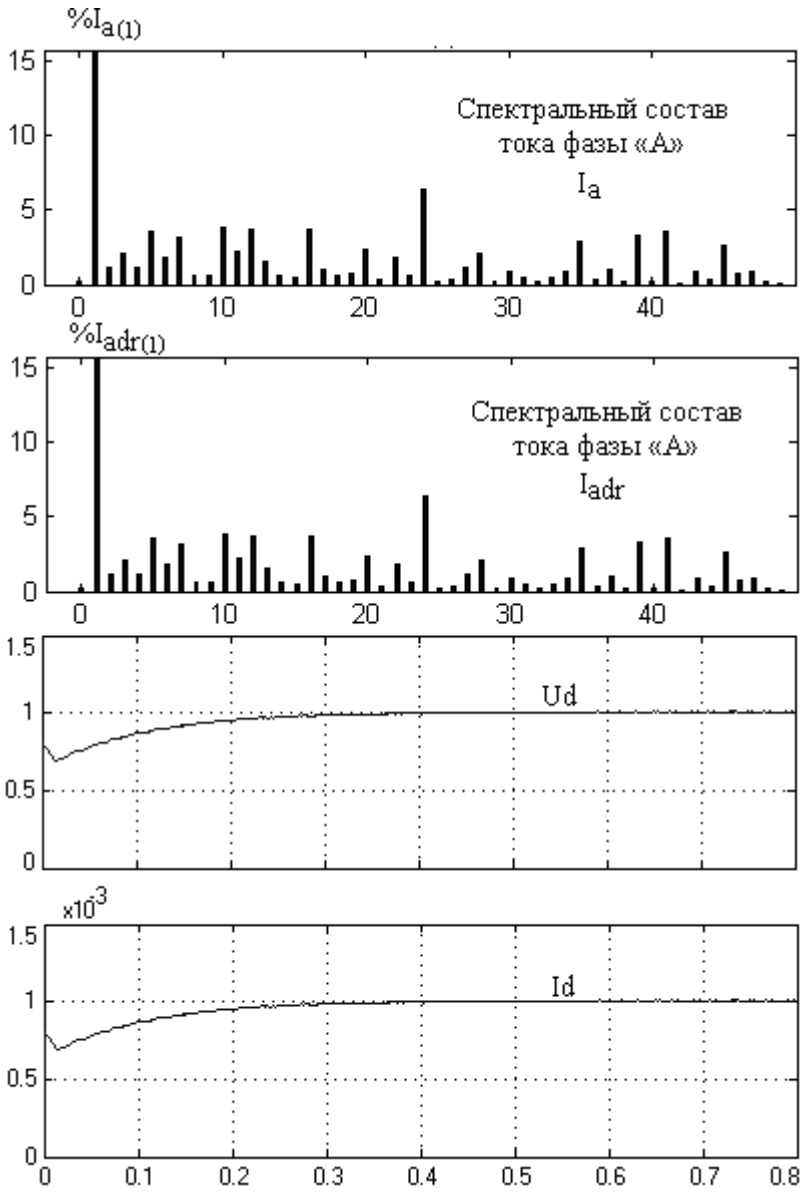


Рис.2.9. Входные и выходные токи и напряжения
двухуровневого активного выпрямителя

Трехуровневый активный выпрямитель. В высоковольтных электроприводах большой мощности для управления приводными электродвигателями используют высоковольтные преобразователи частоты. В таких электроприводах наиболее целесообразно использование трехуровневых полупроводниковых преобразователей.

Основные преимущества трехуровневой схемы, по сравнению с трехфазной мостовой схемой заключаются в следующем: преобразование высокого напряжения при использовании низковольтных транзисторов, диодов и конденсаторов; повышение электромагнитной совместимости электропривода с сетью электроснабжения, за счет уменьшения искажения кривой тока; уменьшение динамических потерь в транзисторах активного выпрямителя; повышение единичной мощности преобразователя частоты.

В трехуровневом активном выпрямителе в каждом плече моста устанавливают два транзистора, включенных последовательно. На выходе трехуровневого активного выпрямителя установлено звено постоянного тока, состоящее из двух конденсаторов, которое обеспечивает стабилизацию выпрямленного напряжения. Напряжение звена постоянного тока разделяется между конденсаторами равномерно и между ними образуется точка с нулевым потенциалом. С помощью дополнительных (разделительных) диодов, точка соединения конденсаторов объединяется с точкой соединения транзисторов в каждом плече.

Система управления выпрямленным напряжением на выходе трехуровневого активного выпрямителя, как и двухуровневого, строится на основе векторного алгоритма с ориентацией по вектору тока сети электроснабжения. Управление ключами активного выпрямителя осуществляется по широтно-импульсному алгоритму.

Схемы имитационной модели трехуровневого активного выпрямителя, включенного по бестрансформаторной схеме, приведена на рис.2.10. Имитационная модель содержит следующие блоки: трехфазный источник напряжения (3-Phase Source); входные дроссели (3-Phase Series RL Branch); трехуровневый активный выпрямитель (Three-Level Bridge); конденсаторы (C1 и C2); блок системы управления (Control system). Нагрузка выпрямителя выполнена в виде RL цепочки.

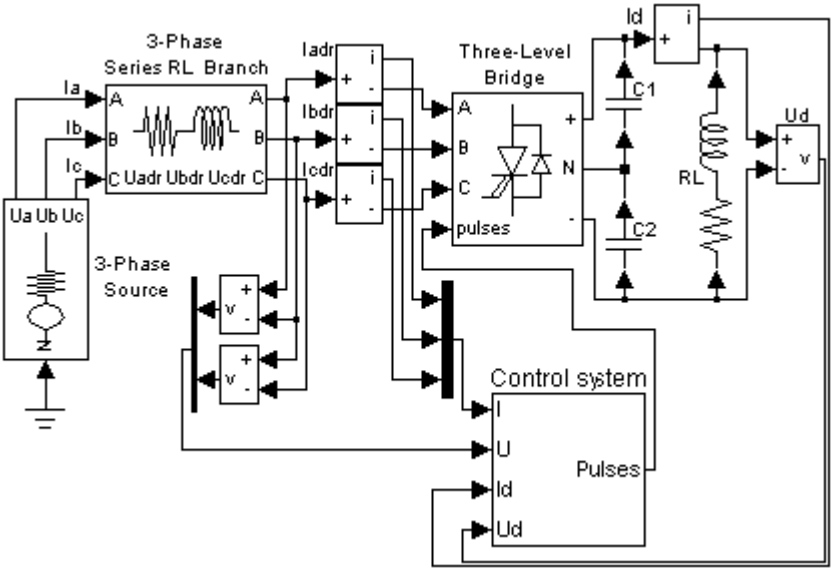


Рис. 2.10. Схема имитационной модели трехуровневого активного выпрямителя

При выполнении моделирования трехуровневого активного выпрямителя приняты следующие параметры схемы: амплитудные значения фазных напряжений источников питания $U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=0.577$ В; частота напряжения f=50 Гц; активные сопротивления и индуктивности входных дросселей $R_{dr}=1$ Ом, $L_{dr}=1$ мГн; несущая частота активного выпрямителя 1000 Гц; емкость конденсаторов на выходе активного выпрямителя $C_1=C_2=10$ мФ. Активное сопротивление и индуктивность нагрузки равны R=5000 Ом, L=1 мГн.

В процессе моделирования трехуровневого активного выпрямителя учитываются следующие координаты: линейные и фазные напряжения, токи источника электрической энергии (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, U_a, U_b, U_a, I_a, I_b, I_c); линейные и фазные напряжения, токи между дросселем и активным выпрямителем (U_{abdr}, U_{bcdr}, U_{acdr}, U_{adr}, U_{bdr}, U_{adr}, I_{adr}, I_{bdr}, I_{cdr}); выпрямленное напряжение (U_d).

Также, на рис.2.11 приведены спектральные составы тока фазы «А», потребляемого активным выпрямителем от источника, и тока между дросселем и активным выпрямителем.

Анализ полученных результатов приведен в таблице 2.13.

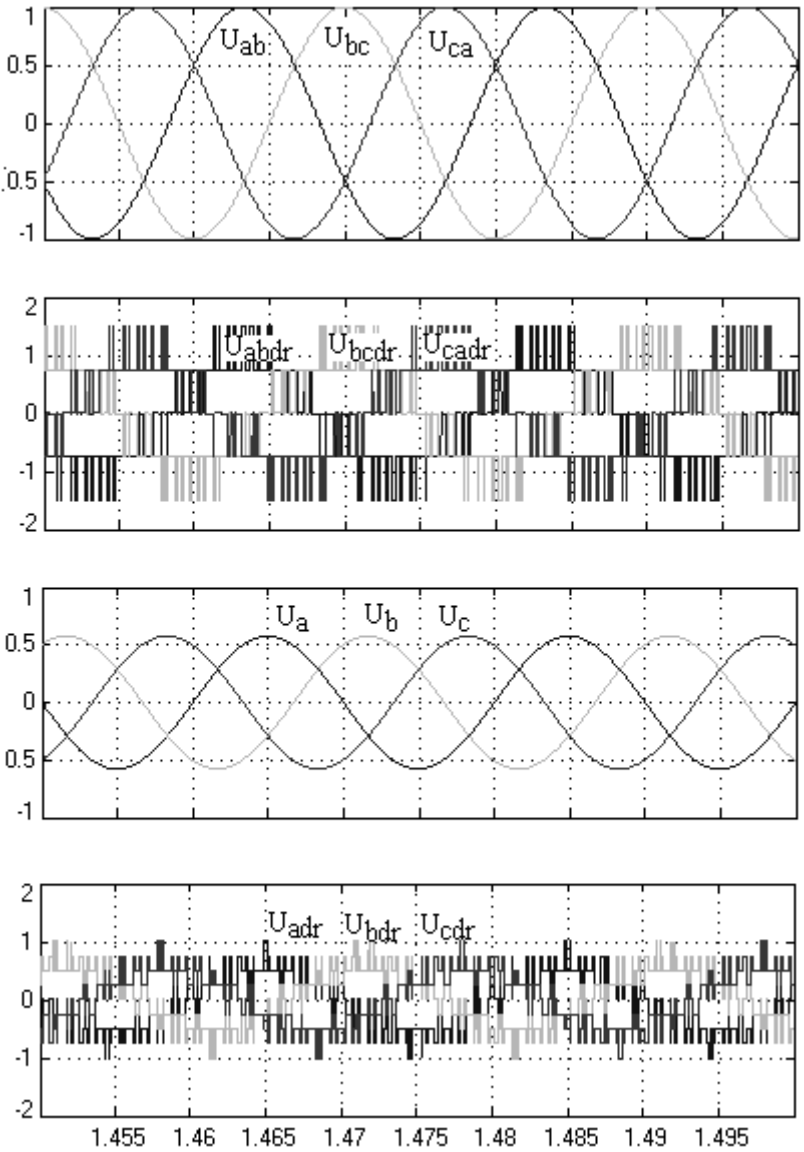
Таблица 2.13

Анализ полученных результатов моделирования
трехуровневого активного выпрямителя

<table>
<tr><td colspan="3">Сеть электроснабжения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>0.408</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (амплитудное), В</td><td>0,577</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>0,7071</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (амплитудное), В</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» (действующий), А</td><td>$0{,}42 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А» $0{,}6 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="11">Коэффициент искажения тока (THDI): 2,79%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>2,18</td></tr>
<tr><td>150</td><td>1,31</td></tr>
<tr><td>200</td><td>1,18</td></tr>
<tr><td>250</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>300</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>350</td><td>0.56</td></tr>
<tr><td>400</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>450</td><td>0.46</td></tr>
<tr><td>500</td><td>0.42</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Уставка на выпрямленное напряжение, В</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленное напряжение (среднее), В</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленный ток (среднее), А</td><td>$0{,}3 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
</table>

Отличительная особенность трехуровневого активного выпрямителя заключается в форме напряжения на входе полупроводникового коммутатора. Это напряжение имеет три уровня: 0; $U_{ab}/2$; U_{ab}, где U_{ab} – линейное напряжение на входе дросселя.

За счет повышения количества уровней линейных напряжений обеспечиваются минимальные искажения форм фазных токов, потребляемых активным выпрямителем. При сравнении графиков, видно, что при одинаковой частоте коммутации 1000 Гц трехуровневый активный выпрямитель обеспечивает более синусоидальную форму тока, а, следовательно, и более высокий коэффициент мощности. Качество управления выпрямленным напряжением, также обеспечивается на высоком уровне.


Uab
Ubc
Uca
Uabdr
Ubcdr
Ucadr
Ua
Ub
Uc
Uadr
Ubdr
Ucdr
1.455
1.46
1.465
1.47
1.475
1.48
1.485
1.49
1.495

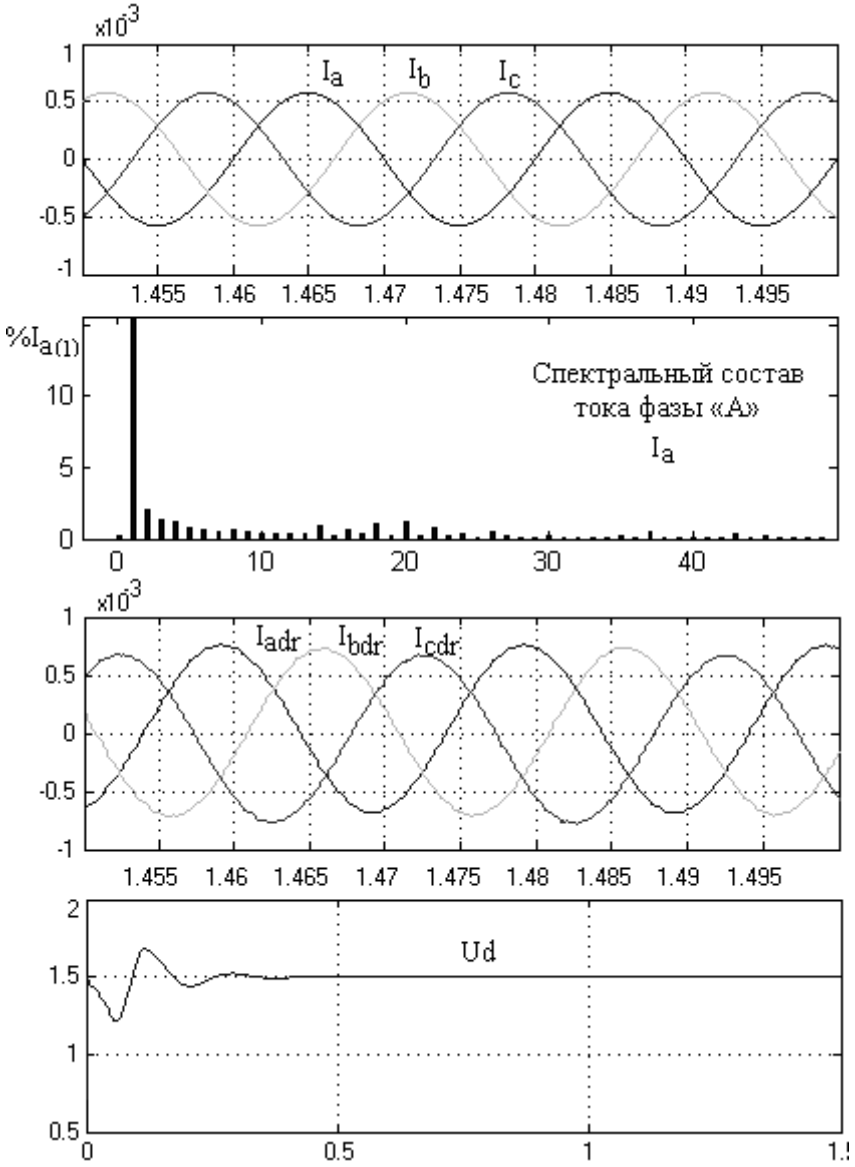


Рис.2.11. Входные и выходные токи и напряжения
трехуровневого активного выпрямителя

2.4. Имитационные модели полупроводниковых автономных инверторов

На рис.2.12 представлен пример структуры автоматизированного электропривода, электроснабжение и управление режимами работы которого осуществляется с помощью автономного инвертора, собранного по трехфазной мостовой схеме и выполненного на базе полностью управляемых транзисторов (IGBT). На входе автономного инвертора установлен фильтр, состоящий из двух конденсаторов C, между которыми равномерно распределяется напряжение U_d. Трехфазная нагрузка представлена активными сопротивлениями (R_a, R_b, R_c) и индуктивностями (L_a, L_b, L_c).

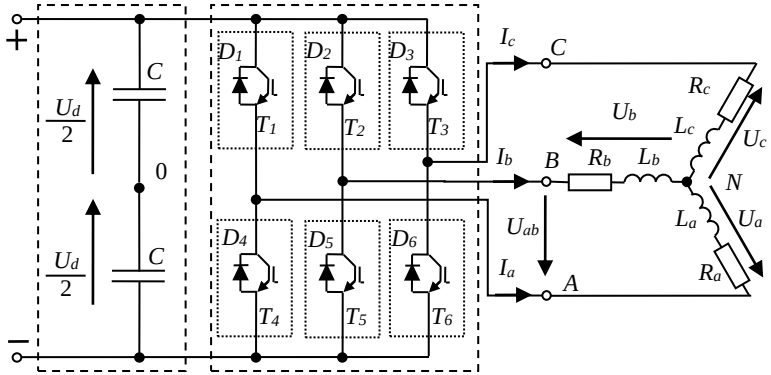


Рис.2.12. Схема автономного инвертора

Транзисторы T_1 и T_4, T_2 и T_5, T_3 и T_6 образуют комплементарные пары ключей. Когда один ключ такой пары находится во включенном состоянии, другой – выключен. Транзисторы T_1, T_2, T_3 образуют катодную группу ключей, а транзисторы T_4 T_5 T_6 – анодную.

На годографе результирующего вектора напряжения автономного инвертора, который

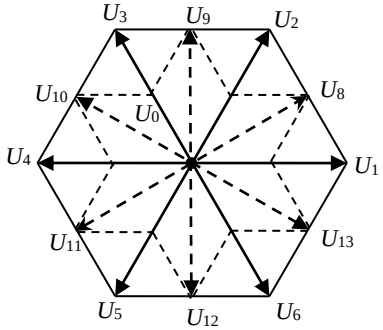


Рис. 2.13. Годограф выходного вектора напряжения

представлен на рисунке 2.13, показаны основные и промежуточные векторы. Основные векторы образуются, если в цикле переключения длительность паузы находится в интервале от 0 эл. град. $\leq \Delta T <$ 60 эл. град. Годограф, образуемый этими векторами, на рис. 2.13 показан сплошной линией. Если длительность паузы находится в интервале от 60 эл. град. $\leq \Delta T <$ 120 эл. град, то на выходе автономного инвертора образуются векторы с фазовым сдвигом в 30 эл. град. Годограф, образуемый этими векторами, на рис. 2.13 показан пунктирной линией.

В таблице 2.14 представлены возможные комбинации включения полупроводниковых ключей автономного инвертора и формируемые, при этих комбинациях, базовые вектора. Также, в таблице 2.14 приведены уровни линейных и фазных напряжений, формируемые на выходе автономного инвертора.

Таблица 2.14

Линейные и фазные напряжения,
формируемые на выходе автономного инвертора

Основной вектор	**Коммутационная функция**	**Значение выходного вектора напряжения**	**Фазные напряжения**			**Линейные напряжения**		
			U_a	U_b	U_c	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}
$\overline{U}_0(t)$	$S_4 = S_6 = S_2 = 1$	0	0	0	0	0	0	0
$\overline{U}_1(t)$	$S_1 = S_6 = S_2 = 1$	$\frac{2}{3}U_d e^{j0}$	$\frac{2U_d}{3}$	$-\frac{U_d}{3}$	$-\frac{U_d}{3}$	U_d	0	$-U_d$
$\overline{U}_2(t)$	$S_1 = S_3 = S_2 = 1$	$\frac{2}{3}U_d e^{j\frac{\pi}{3}}$	$\frac{U_d}{3}$	$\frac{U_d}{3}$	$\frac{-2U_d}{3}$	0	U_d	$-U_d$
$\overline{U}_3(t)$	$S_4 = S_3 = S_2 = 1$	$\frac{2}{3}U_d e^{j\frac{2\pi}{3}}$	$-\frac{U_d}{3}$	$\frac{2U_d}{3}$	$-\frac{U_d}{3}$	$-U_d$	U_d	0
$\overline{U}_4(t)$	$S_4 = S_3 = S_5 = 1$	$\frac{2}{3}U_d e^{j\frac{3\pi}{3}}$	$-\frac{2U_d}{3}$	$\frac{U_d}{3}$	$\frac{U_d}{3}$	$-U_d$	0	U_d
$\overline{U}_5(t)$	$S_4 = S_6 = S_5 = 1$	$\frac{2}{3}U_d e^{j\frac{4\pi}{3}}$	$-\frac{U_d}{3}$	$-\frac{U_d}{3}$	$\frac{2U_d}{3}$	0	$-U_d$	U_d
$\overline{U}_6(t)$	$S_1 = S_6 = S_5 = 1$	$\frac{2}{3}U_d e^{j\frac{5\pi}{3}}$	$\frac{U_d}{3}$	$-\frac{2U_d}{3}$	$\frac{U_d}{3}$	U_d	$-U_d$	0
$\overline{U}_7(t)$	$S_1 = S_3 = S_5 = 1$	0	0	0	0	0	0	0

Двухуровневый автономный инвертор. Схема имитационной модели двухуровневого автономного инвертора представлена на рис.2.14.

В состав имитационной модели входят следующие блоки: источник постоянного напряжения (Ud); двухуровневый автономный инвертор (Universal Briage); выходной дроссель (RL Branch); трехфазная нагрузка (3-phase series RL Branch); система управления (Control system).

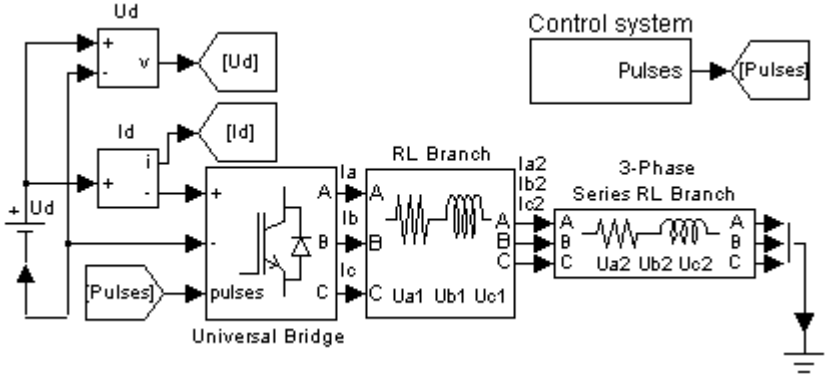


Рис. 2.14. Схема имитационной модели двухуровневого автономного инвертора

При выполнении моделирования двухуровневого автономного инвертора приняты следующие параметры схемы: напряжение источника электрической энергии U_d=1 В; активное сопротивление и индуктивность выходного дросселя R=1 Om, L=1 мГн; активное сопротивление и индуктивность нагрузки R=1000 Om, L=1 мГн; несущая частота автономного инвертора 2000 Гц. Остальные параметры всех элементов имитационной модели установлены по умолчанию. Управление полупроводниковыми ключами автономного инвертора осуществляется по алгоритму широтно-импульсной модуляции.

Результаты моделирования двухуровневого автономного инвертора приведены на рис.2.15 в виде диаграмм мгновенных значений токов и напряжений при его работе в установившемся режиме.

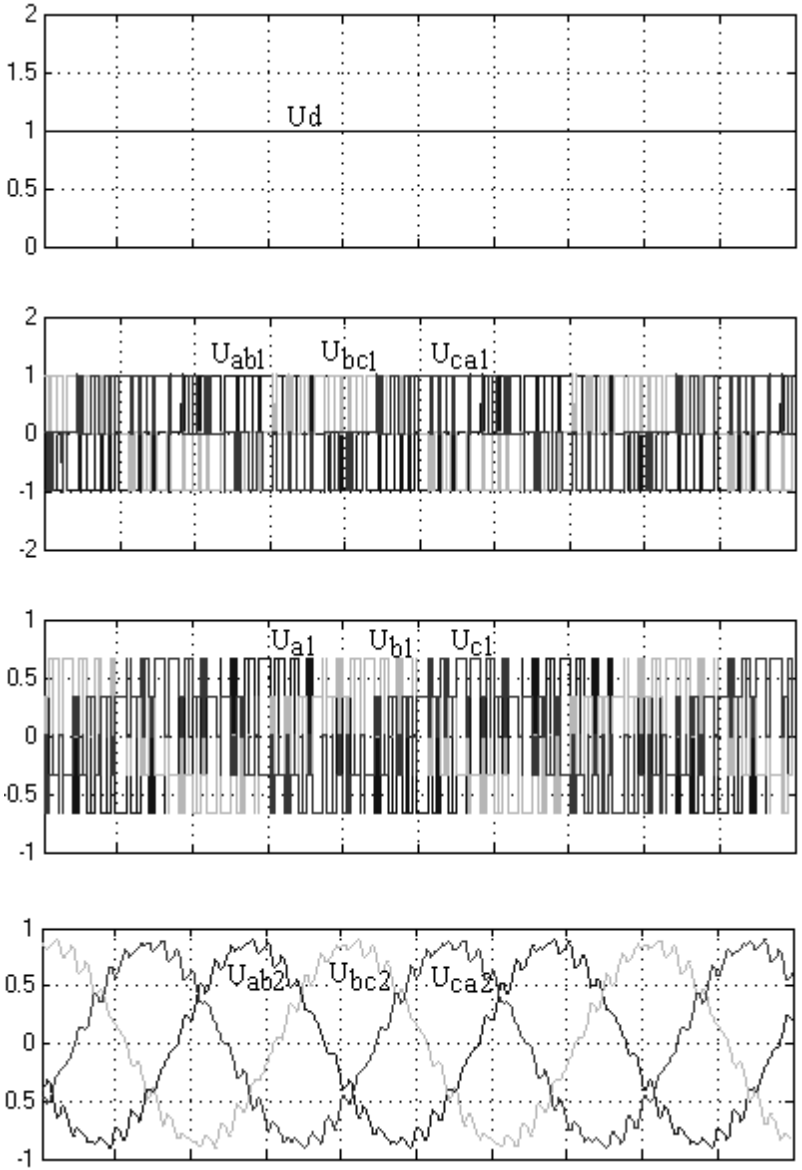
Анализ результатов представлен в таблице 2.15.

При имитационном моделировании двухуровневого автономного инвертора учитываются следующие координаты: напряжение источника электрической энергии (U_d); фазные и линейные напряжения на выходе автономного инвертора (U_{a1}, U_{b1}, U_{c1}, U_{ab1}, U_{bc1}, U_{ca1}); фазные и линейные напряжения на нагрузке (U_{a2}, U_{b2}, U_{c2}, U_{ab2}, U_{bc2}, U_{ca2}); ток на нагрузке (I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}). Также, на рис.2.15 приведены спектральные составы фазного напряжения и тока фазы «А» на потребителе.

Таблица 2.15

Анализ полученных результатов моделирования двухуровневого автономного инвертора

<table>
<tr><td colspan="3">Напряжение источника</td></tr>
<tr><td colspan="2">Постоянное напряжение, В</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>0,33</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>0,601</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» (действующий), А</td><td>$0{,}33 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности фазного напряжения</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник напряжения, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="10">Коэффициент искажения тока (THDU): 7,67%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>150</td><td>0.09</td></tr>
<tr><td>200</td><td>0.05</td></tr>
<tr><td>250</td><td>0.08</td></tr>
<tr><td>300</td><td>0.05</td></tr>
<tr><td>350</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>450</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>500</td><td>0.06</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="10">Коэффициент искажения тока (THDI): 7,37%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>0.16</td></tr>
<tr><td>150</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>200</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>250</td><td>0.08</td></tr>
<tr><td>300</td><td>0.07</td></tr>
<tr><td>350</td><td>0.09</td></tr>
<tr><td>450</td><td>0.06</td></tr>
<tr><td>500</td><td>0.04</td></tr>
</table>


2
1.5
1
0.5
0
Ud
2
1
0
-1
-2
Uab1
Ubc1
Uca1
1
0.5
0
-0.5
-1
Ua1
Ub1
Uc1
1
0.5
0
0.5
-1
Uab2
Ubc2
Uca2

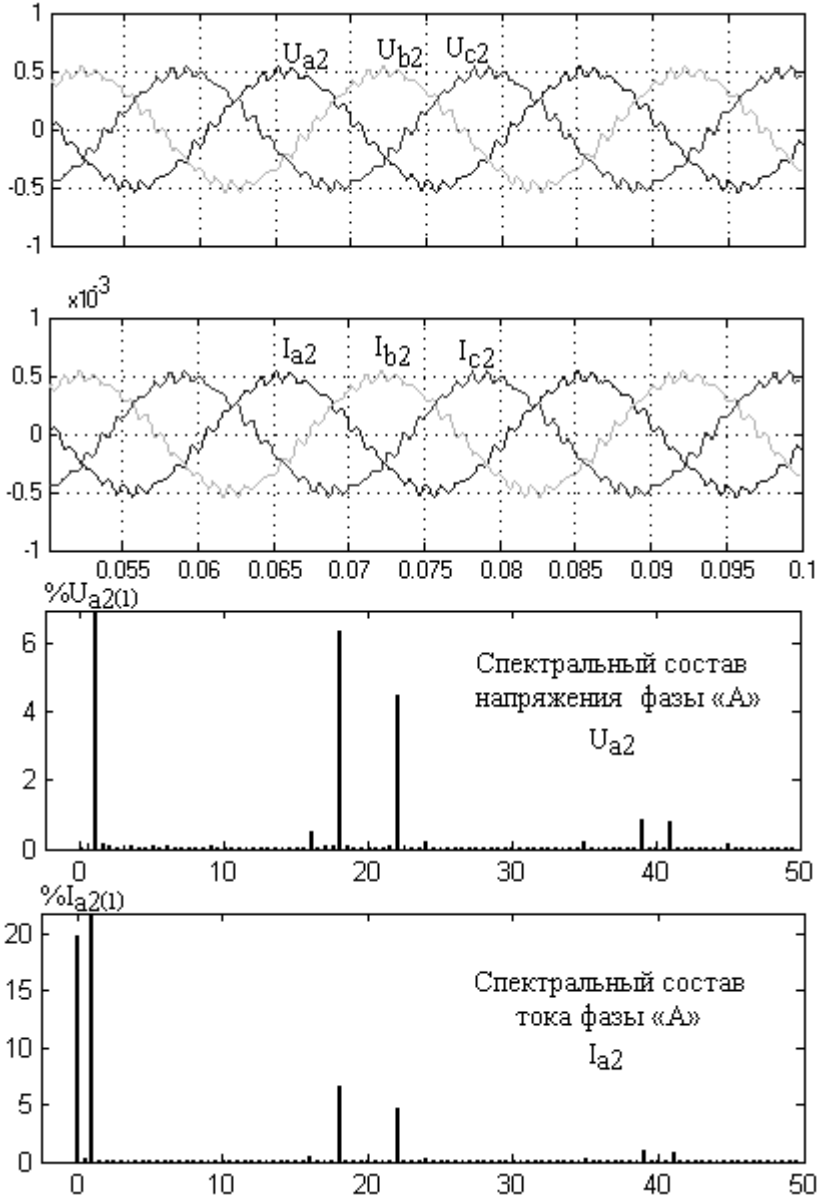


Рис.2.15. Входные и выходные токи и напряжения
двухуровневого автономного инвертора

Трехуровневый автономный инвертор. Преимущества трехуровневой схемы автономного инвертора, по сравнению с двухуровневой, заключаются в следующем: обеспечивается минимальное искажение формы выходного тока; обеспечивается более высокий уровень электромагнитной совместимости преобразователя частоты с приводным электродвигателем; использование транзисторов меньшей мощности.

Схема имитационной модели трехуровневого автономного инвертора представлена на рис.2.16. В ее состав входят следующие блоки: источники постоянного напряжения (Ud1, Ud2); трехуровневый автономный инвертор (Tree Level Bridge); выходной дроссель (RL Branch); трехфазная нагрузка (3-Phase Series RL Branch); система управления (Control system); источники управляющих сигналов (A, B, C).

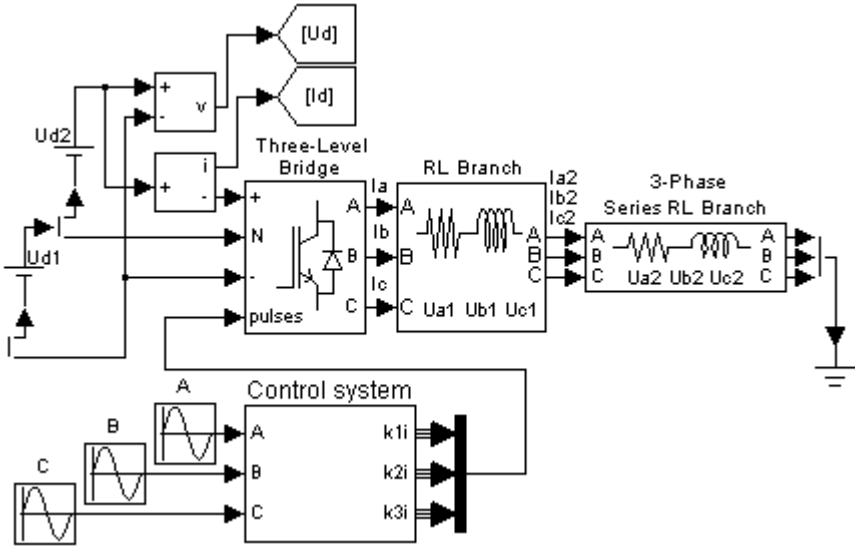


Рис. 2.16. Схема имитационной модели трехуровневого автономного инвертора

При выполнении моделирования трехуровневого автономного инвертора приняты следующие параметры схемы: напряжение источников электрической энергии U_{d1}=0.5 В, U_{d2}=0.5 В; активное сопротивление и индуктивность выходного дросселя R=1 Om, L=1

mГн; активное сопротивление и индуктивность нагрузки R=1000 Om, L=1 mГн; несущая частота автономного инвертора 2000 Гц. Остальные параметры всех элементов имитационной модели установлены по умолчанию.

Для управления полупроводниковыми ключами трехуровневого автономного инвертора используются алгоритмы широтно-импульсной модуляции.

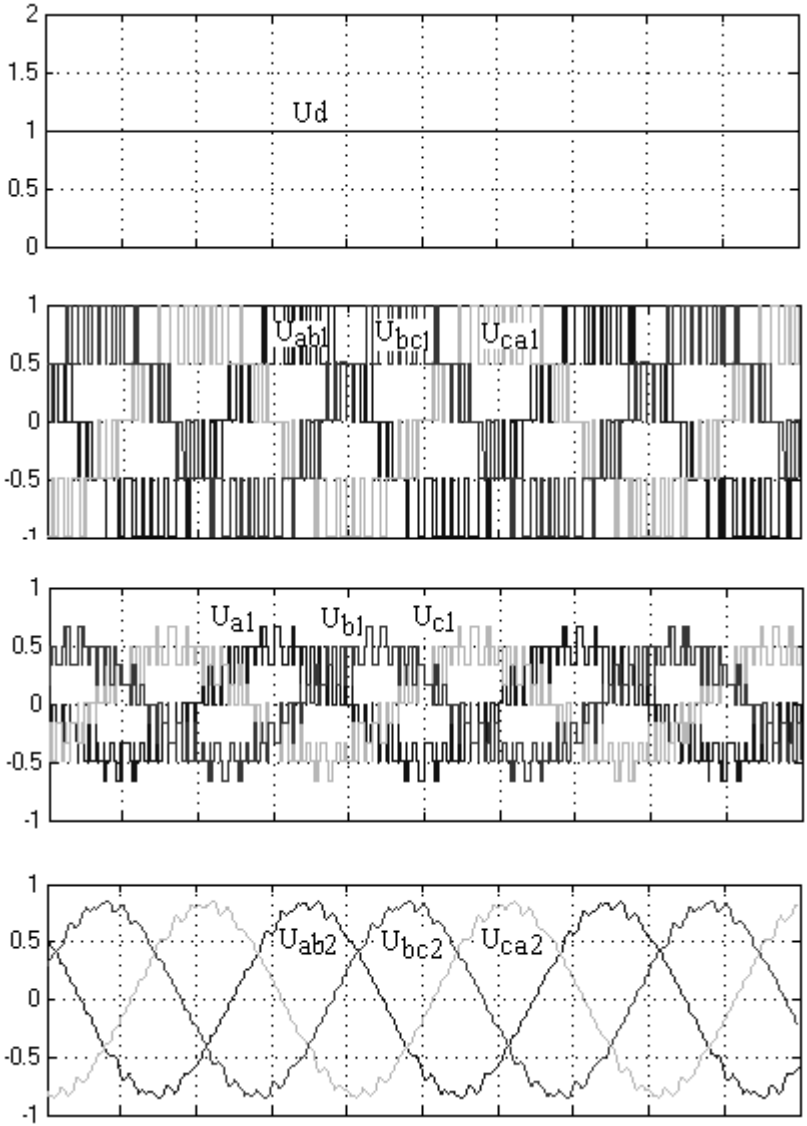
Результаты моделирования трехуровневого автономного инвертора приведены на рис.2.17 в виде диаграмм мгновенных значений токов и напряжений при его работе в установившемся режиме. Анализ результатов представлен в таблице 2.16.

При имитационном моделировании трехуровневого автономного инвертора учитываются следующие координаты: напряжение источника электрической энергии (U_d); фазные и линейные напряжения на выходе автономного инвертора (U_{a1}, U_{b1}, U_{c1}, U_{ab1}, U_{bc1}, U_{ca1}); фазные и линейные напряжения на нагрузке (U_{a2}, U_{b2}, U_{c2}, U_{ab2}, U_{bc2}, U_{ca2}); ток на нагрузке (I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}); ток на выходе автономного инвертора (I_a, I_b, I_c). Также, на рис.2.17 приведены спектральные составы фазного напряжения и тока фазы «А» на потребителе.

Таблица 2.16

Анализ полученных результатов моделирования трехуровневого автономного инвертора

<table>
<tr><td colspan="3">Напряжение источника</td></tr>
<tr><td colspan="2">Постоянное напряжение (суммарное), В</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>0,33</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>0,601</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» (действующий), А</td><td>$0{,}33 \cdot 10^{-3}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности фазного напряжения</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник напряжения, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDU): 3,19%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>150</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 3,17%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>0.24</td></tr>
<tr><td>150</td><td>0.2</td></tr>
</table>


2
1.5
1
0.5
0
Ud
1
0.5
0
-0.5
-1
Uab1
Ubc1
Uca1
1
0.5
0
-0.5
-1
Ua1
Ub1
Uc1
1
0.5
0
-0.5
-1
Uab2
Ubc2
Uca2

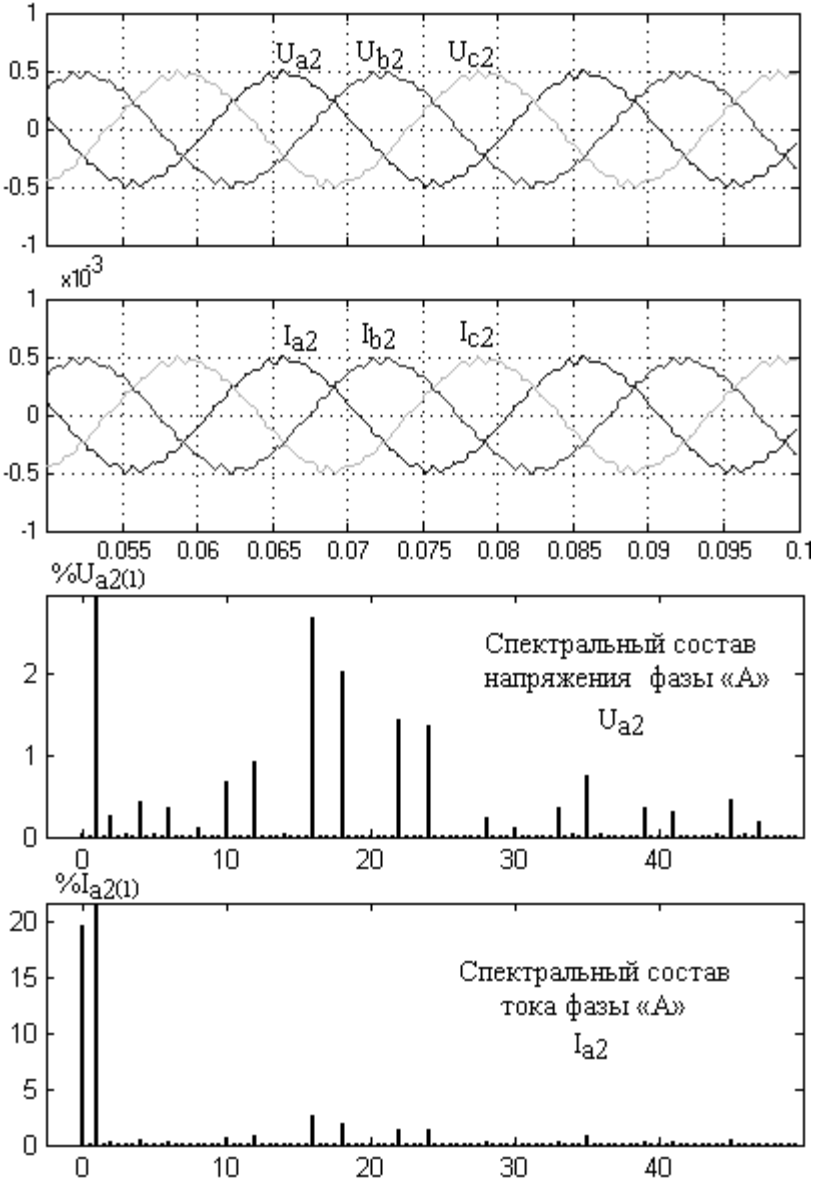


Рис.2.17. Входные и выходные токи и напряжения
трехуровневого автономного инвертора

2.5. Структура блоков управления полупроводниковыми преобразователями

Для управления полупроводниковыми ключами автономного инвертора при использовании скалярных и векторных алгоритмов управления приводными машинами переменного тока применяются различные методы **широтно-импульсной модуляции**. На рис. 2.18 сплошными линиями представлена схема управления автономным инвертором с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией.

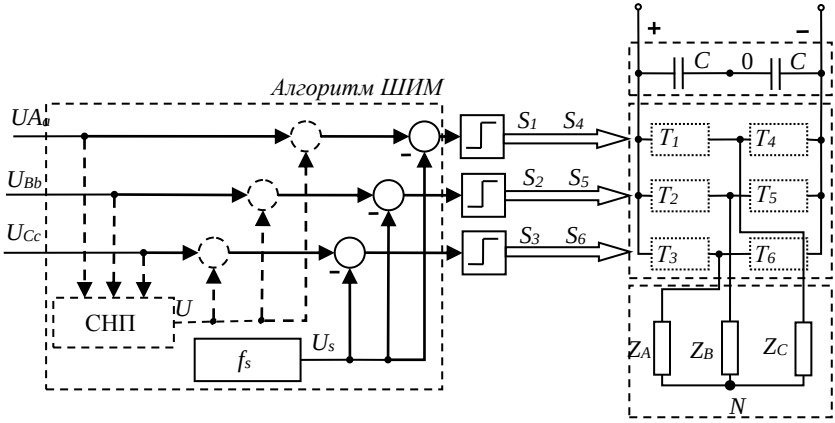
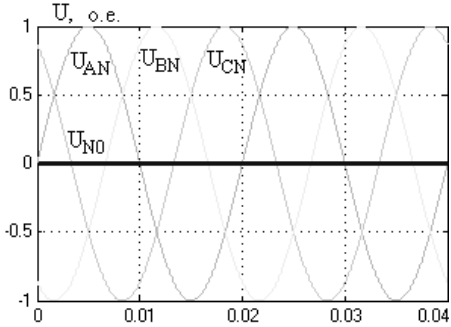


Рис. 2.18. Схема управления автономным инвертором с широтно-импульсной модуляцией

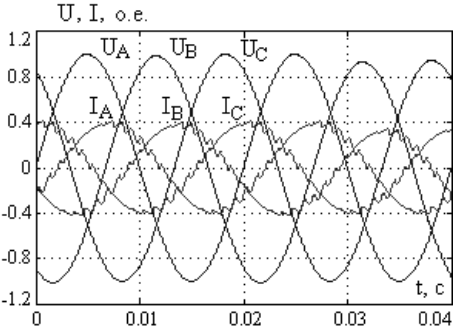
При реализации синусоидальной широтно-импульсной модуляции опорный сигнал U_s, который может иметь различную форму, сравнивается с управляющими сигналами U_a, U_b, U_c. При их сравнении формируются коммутационные функции управления полупроводниковыми ключами S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6.

На рис.2.19а показан управляющий сигнал синусоидальной широтно-импульсной модуляции (СШИМ).

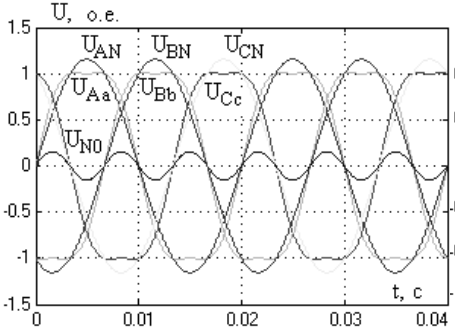
В системе **прямого управления электромагнитным моментом** (*Direct Torque Control - DTC*) результирующий вектор выходного напряжения автономного инвертора и комбинация коммутируемых полупроводниковых ключей выбирается по таблице переключений. В зависимости от структуры электропривода и требований к его динамическим характеристикам таблица переключений может иметь различное внутреннее содержание.



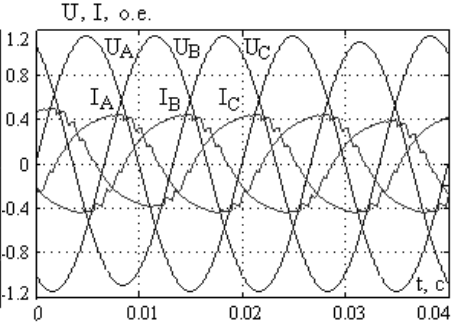
а) синусоидальная ШИМ



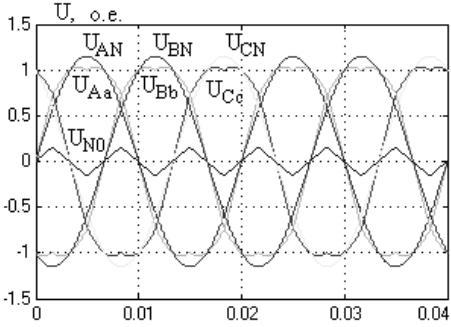
а) синусоидальная ШИМ



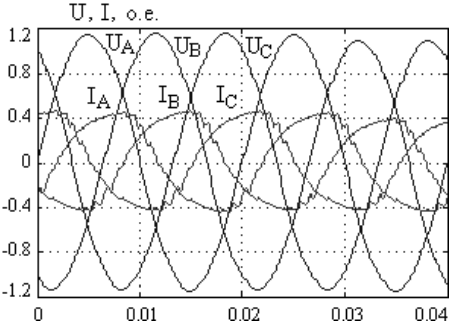
б) ШИМ с синусоидальной предмодуляцией третьей гармоникой



б) ШИМ с синусоидальной предмодуляцией третьей гармоникой



с) ШИМ с треугольной предмодуляцией третьей гармоникой



с) ШИМ с треугольной предмодуляцией третьей гармоникой

Рис. 1.19. Управляющие функции широтно-импульсной модуляции

Рис. 2.20. Формы выходных токов и напряжения автономного инвертора

Принцип функционирования системы прямого управления проиллюстрирован на рис.2.21. Если вектор $\boldsymbol{\Psi_s}$ в определенный момент времени находится в секторе II и необходимо увеличить его амплитуду и уменьшить электромагнитный момент, то по таблице переключений система управления выберет и сформирует вектор $\boldsymbol{U_4}$. Когда вектор $\boldsymbol{\Psi_s}$ переместится в сектор III, вектор $\boldsymbol{U_4}$ будет выбираться при необходимости уменьшения амплитуды вектора $\boldsymbol{\Psi_s}$.

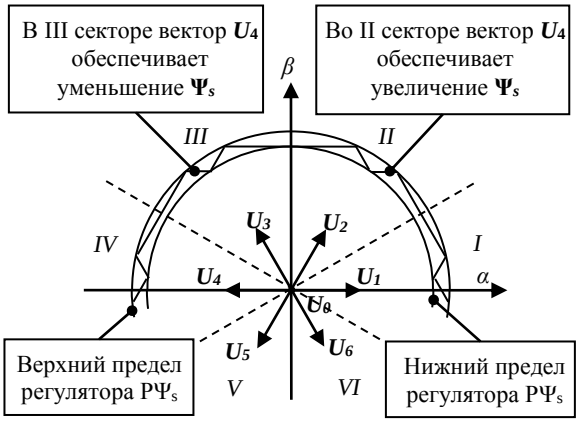


Рис.2.21. Годограф потокосцепления статора асинхронного двигателя

На рис.2.22 представлена схема алгоритма управления автономным инвертором в системе прямого управления моментом. Коммутация автономного инвертора носит стохастический (случайный) характер, а частота коммутации определяется параметрами релейных регуляторов системы управления электроприводом.

Система прямого управления моментом обеспечивает высокие динамические характеристики электропривода, но стохастический характер переключения автономного инвертора приводит к высокой степени искажения формы кривой тока и напряжения, что снижает уровень электромагнитной совместимости автономного инвертора с проводным электродвигателем. Анализ предельных динамических характеристик систем управления асинхронным электроприводом приведен в Приложении Б.

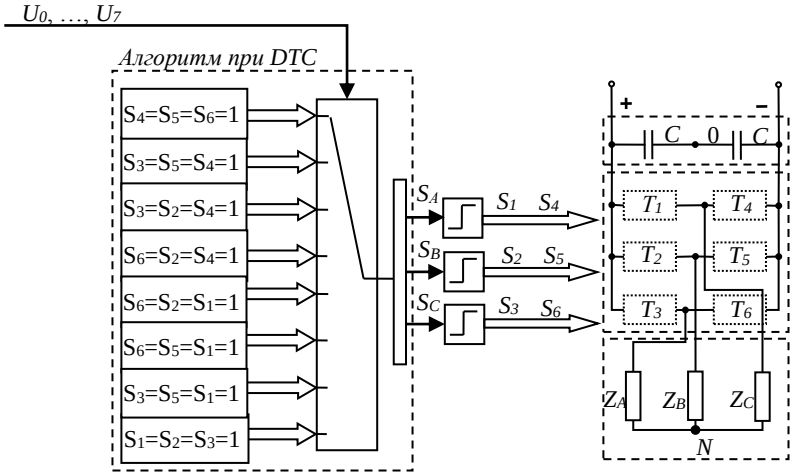


Рис. 2.22. Схема управления автономным инвертором электропривода с прямым управлением

В современных электроприводах для управления ключами автономного инвертора могут использоваться алгоритмы **пространственно-векторной модуляции**. На рис.2.23 представлена структура алгоритма пространственно-векторной модуляции. Этот алгоритм включает в себя следующие этапы расчета: вычисление модуля и фазы эталонного вектора напряжения; определение сектора, в котором находится эталонный вектор напряжения; вычисление интервалов времени включения активных векторов напряжения T_α, T_β, T_0; формирование коммутационных функций управления полупроводниковыми ключами автономного инвертора.

Компоненты вектора эталонного напряжения U_a, U_b и U_c, на первом этапе алгоритма ПВМ, преобразуются из трехфазной системы координат (*ABC*) в двухфазную – (α-β), затем вычисляется модуль и фаза эталонного вектора по следующим выражениям:

$$\left|\overline{U}\right| = \sqrt{U_\alpha^2 + U_\beta^2}\,;\varphi_U = \arctan\left(U_\alpha / U_\beta\right), \qquad (2.1)$$

где U_α, U_β – компоненты вектора эталонного напряжения в двухфазной системе координат (α-β). По величине фазы эталонного вектора напряжения определяется сектор, в котором находится этот вектор. Границы секторов образуют активные векторы выходного

напряжения автономного инвертора. Эти секторы представлены в таблице 2.17 и на рис.2.24.

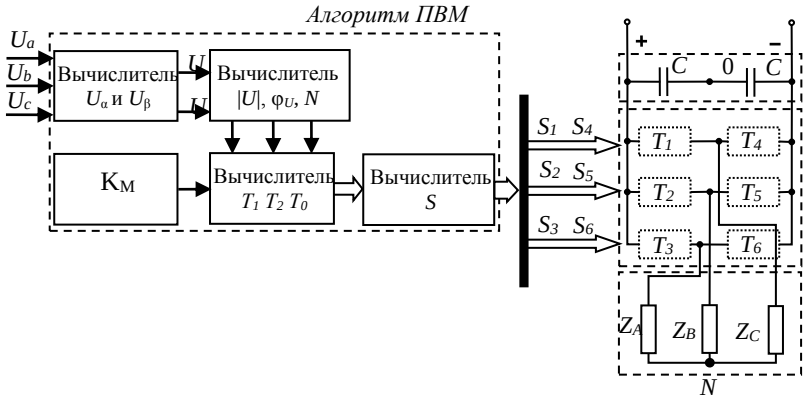


Рис. 2.23. Схема управления автономным инвертором
с пространственно-векторной модуляцией

Далее вычисляются временные интервалы действия основных векторов на периоде ПВМ T_c. Если эталонный вектор представить как

$$\overline{U} = U_i \frac{T_1}{T_c} + U_{i+1} \frac{T_2}{T_c} + U_{0,7} \frac{T_0}{T_c}, \qquad (2.2)$$

где i=1÷6 – номер активного вектора, то временные интервалы включения основных векторов для каждого из шести секторов можно определить по выражениям, указанным в таблице 2.17.

Таблица 2.17.

Выражения для расчета временных интервалов

Сектор	1	2	3	4	5	6
T_1	$\frac{3U_\alpha}{4} - \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$\frac{3U_\alpha}{4} + \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$0U_\alpha + \frac{\sqrt{3}U_\beta}{2}$	$-\frac{3U_\alpha}{4} + \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$-\frac{3U_\alpha}{4} - \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$0U_\alpha - \frac{\sqrt{3}U_\beta}{2}$
T_2	$0U_\alpha + \frac{\sqrt{3}U_\beta}{2}$	$-\frac{3U_\alpha}{4} + \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$-\frac{3U_\alpha}{4} - \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$0U_\alpha - \frac{\sqrt{3}U_\beta}{2}$	$\frac{3U_\alpha}{4} - \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$	$\frac{3U_\alpha}{4} + \frac{\sqrt{3}U_\beta}{4}$
T_0	$0.5T_c - T_2 - T_1$					

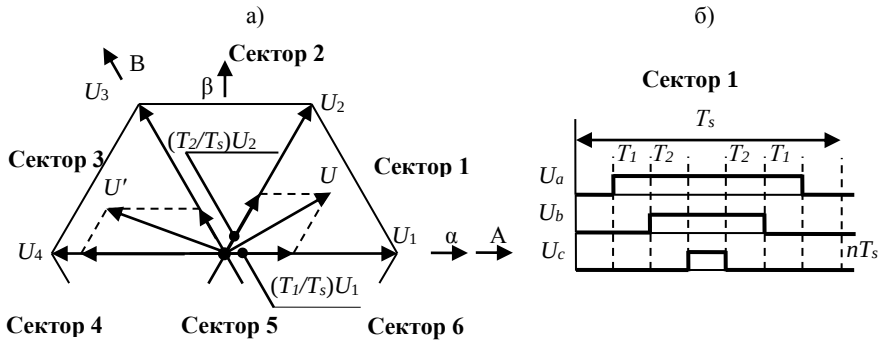


Рис. 2.24. Секторное разбиение координатной плоскости α-β

Если эталонный вектор находится в первом секторе, как это показано на рис.2.24, то для формирования такого же результирующего вектора напряжения на выходе автономного инвертора на одном модуляционном периоде должны последовательно включаться транзисторы, обеспечивающие работу векторов $U_0 – U_1 –U_2 – U_7 – U_2 – U_1 – U_0$ в течении времени T_1, T_2 и T_0. Временная диаграмма работы инвертора показана на рис.2.24б.

Повышение эффективности алгоритма широтно-импульсной модуляции

Для повышения амплитуды вектора выходного напряжения автономного инвертора при широтно-импульсной модуляции может использоваться метод предмодуляции управляющего сигнала. Для этого к управляющим сигналам U_{Aa}, U_{Bb}, U_{Cc} добавляют сигнал нулевой последовательности U_{N0} специальной формы и частоты. Схема широтно-импульсного алгоритма с предмодуляцией показана на рис.2.18 с учетом пунктирных линий. Блок «СНП» рассчитывает необходимую частоту и амплитуду сигнала предмодуляции U_{N0} в зависимости от частоты и амплитуды управляющих сигналов U_{Aa}, U_{Bb}, U_{Cc}.

При реализации алгоритма широтно-импульсного управления с синусоидальной предмодуляцией третьей гармоникой, сигнал нулевой последовательности рассчитывается следующим образом:

$$U_{N0} = 0{,}15A\sin(3\omega t), \qquad (2.3)$$

где A - амплитуда управляющего сигнала, ωt - частота управляю-

щего сигнала. При использовании синусоидальной предмодуляции форма управляющего сигнала автономного инвертора имеет форму, представленную на рис.2.19 б.

На рис. 2.19 в представлен сигнал треугольной предмодуляции третьей гармоникой, частота и амплитуда которого определяется по следующему выражению:

$$U_{N0} = 0{,}25A\arcsin\left[\sin(3\omega t)\right]. \qquad (2.4)$$

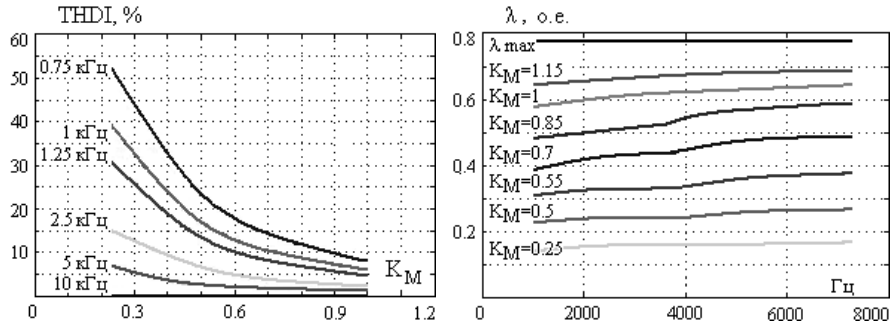
При использовании различных форм сигналов нулевой последовательности обеспечивается различный уровень электромагнитной совместимости автономного инвертора, результаты исследования которой будет представлен ниже.

На рис. 2.20 а, 2.20 б, 2.20 в представлены формы кривых выходных токов автономного инвертора и первой гармоники напряжения при синусоидальной ШИМ, ШИМ с синусоидальной предмодуляцией третьей гармоникой и ШИМ с треугольной предмодуляцией третьей гармоникой, соответственно. Данные кривые получены при коэффициенте модуляции K_M=1 и несущей частоте f_s=1000 Гц.

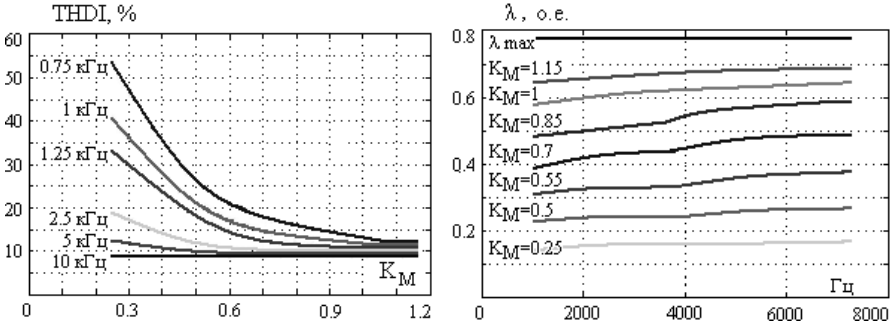
На рис.2.25 приведены зависимости коэффициента искажения синусоидальности кривой тока (*Total Harmonic Distortion of input current* - *THDI*) от коэффициента модуляции при разных несущих частотах и зависимости коэффициента мощности от несущей частоты при разных коэффициентах модуляции при разных способах управления автономным инвертором (рис.2.25а – при синусоидальной ШИМ; рис.2.25б – при ШИМ с синусоидальной предмодуляцией третьей гармоникой; рис.2.25в – при ШИМ с треугольной предмодуляцией третьей гармоникой).

При синусоидальной ШИМ на несущей частоте f_s=10 кГц обеспечивается минимальное искажение кривой тока во всем диапазоне изменения коэффициента модуляции (*THDI*=0). При несущей частоте f_s=1000 Гц и коэффициенте модуляции K_M=1 коэффициент искажения синусоидальности тока *THDI*=5,5%.

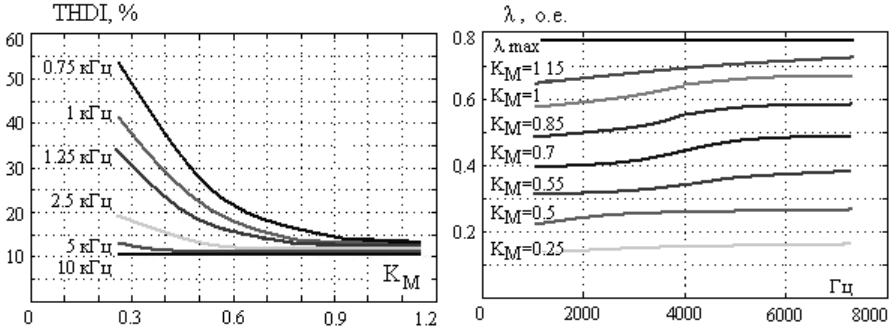
При ШИМ с синусоидальной предмодуляцией третей гармоникой на несущей частоте f_s=10 кГц обеспечивается минимальное значение коэффициента искажения синусоидальности тока около 7,5%. При несущей частоте f_s=1000 Гц и коэффициенте модуляции K_M=1 коэффициент искажения синусоидальности тока повышается до 9,5%.



а) синусоидальная ШИМ



б) ШИМ с синусоидальной предмодуляцией третьей гармоникой



в) ШИМ с треугольной предмодуляцией третьей гармоникой

Рис.2.25. Зависимости коэффициента синусоидальных искажений тока
от коэффициента модуляции при разных несущих частотах
и коэффициента мощности от несущей частоты
при разных коэффициентах модуляции

Искажение синусоидальности кривой тока при ШИМ с треугольной предмодуляцией третьей гармоникой самый высокий из трех рассмотренных способов ШИМ автономного инвертора и равен *THDI*=13% при несущей частоте f_s=1000 Гц и коэффициенте модуляции K_M=1. При увеличении несущей частоты до f_s=10 кГц и коэффициента модуляции до K_M=1,15 коэффициент искажения синусоидальности тока равен 10%.

Амплитуда первой гармоники выходного напряжения при синусоидальной ШИМ равна 78,55% от величины напряжения в звене постоянного тока U_{dc}. При использовании ШИМ с предмодуляцией первая гармоника выходного напряжения равна 100% U_{dc}, что обеспечивается за счет возможности увеличения коэффициента модуляции до значения 1,15.

На рис.2.25 видно, что увеличение коэффициента мощности при увеличении несущей частоты характерно для всех способов управления ключами. При ШИМ с предмодуляцией при коэффициенте модуляции K_M=1,15 обеспечивается коэффициента мощности на уровне λ=0,7 на высоких несущих частотах, при максимально возможном коэффициенте мощности λ =0, 7864.

Повышение эффективности алгоритма пространственно-векторной модуляции

Повысить эффективность работы алгоритма ПВ модуляции можно путем разбиения координатной плоскости на подсекторы. Это позволит обеспечить улучшение формы кривой тока, а именно, снизить коэффициент несинусоидального искажения выходного тока и увеличить амплитуду основной гармоники выходного напряжения. При этом нет необходимости структурного изменения схемы автонмоного инвертора. Расчет временных интервалов T_1 и T_2 с учетом подсектора (n), в котором находиться эталонный вектор, можно осуществить с помощью следующих выражений

$$T_1 = \frac{\sqrt{3}T_c|U|}{U_{dc}}\left(\sin\frac{\pi}{3}n\cos\varphi_U - \cos\frac{\pi}{3}n\sin\varphi_U\right); \qquad (2.5)$$

$$T_2 = \frac{\sqrt{3}T_c|U|}{U_{dc}}\left(-\cos\varphi_U\sin\frac{\pi}{3}(n-1) - \sin\varphi_U\cos\frac{\pi}{3}(n-1)\right), \qquad (2.6)$$

На рис. 2.26 а, 2.26 и 2.26в показано разбиение координатной плоскости на 36, 72 и 120 подсекторов, соответственно.

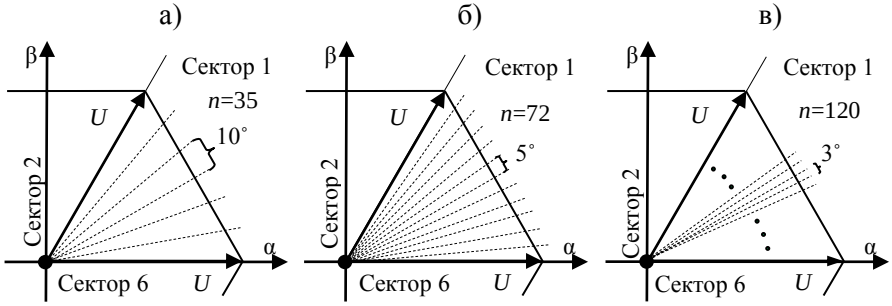


Рис.2.26. Разбиение координатной плоскости α-β
на подсекторы

На рис.2.27 представлены формы кривых выходного тока автономного инвертора, фазного напряжения и первая гармоника фазного напряжения при величине подсектора: а–60˚; б–10˚; в - 5˚; г - 3˚.

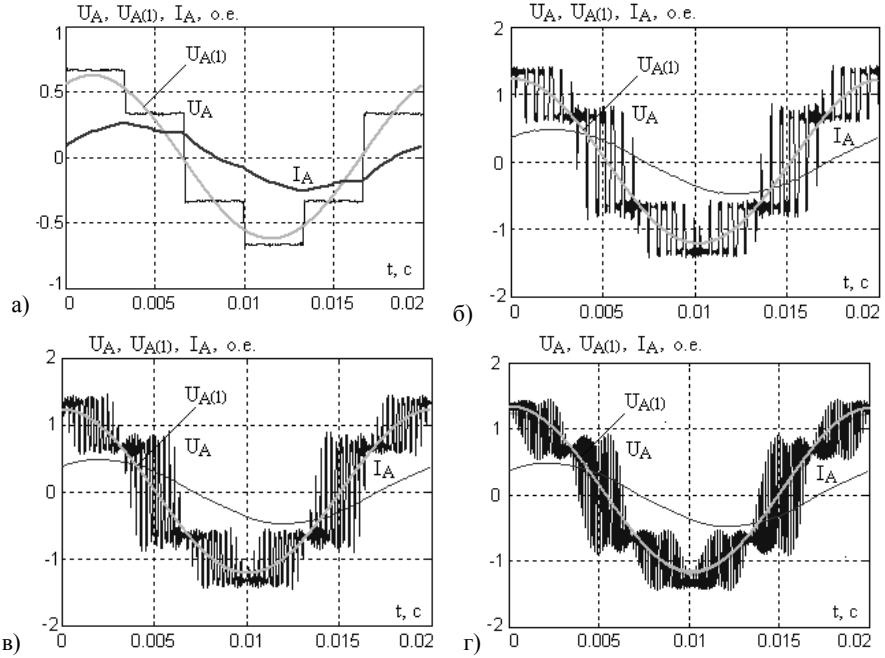


Рис.2.27. Выходной ток автономного инвертора,
фазное напряжение и первая гармоника фазного напряжения

При величине сектора 60˚ характер ПВМ соответствует СШИМ. При уменьшении величины подсекторов и увеличении их количества увеличивается частота коммутации автономного инвертора. В свою очередь это обеспечивает лучшую форму кривой выходного тока автономного инвертора.

Максимальное значение выходного фазного напряжения автономного инвертора равно 66.7% от величины постоянного напряжения на входе автономного инвертора. Максимальное значение основной гармоники выходного фазного напряжения равно 61% постоянного входного напряжения автономного инвертора.

На рис.2.28 представлены зависимости, характеризующие изменение коэффициента несинусоидальных искажений выходного фазного напряжения и тока при изменении относительной длительности коммутации автономного инвертора и величины подсектора.

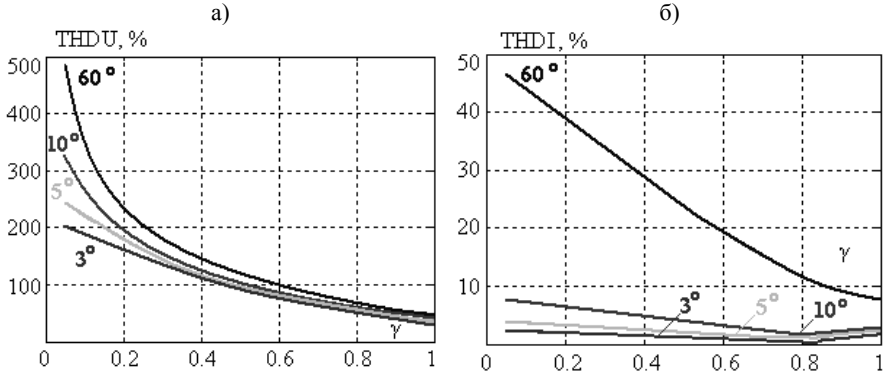


Рис.2.28. Зависимости коэффициента несинусоидальных искажений напряжения (*THDU*) и тока (*THDI*) на выходе автономного инвертора от относительной длительности коммутации (γ) при разной величине подсектора

Минимальное значение коэффициента несинусоидальных искажений выходного тока (рис.2.28 а) достигается при величине подсектора равного 3˚ и работе автономного инверторе в режиме перемодуляции т.е. при относительной длительности коммутации выше 0.866. Минимальное значение коэффициента несинусоидального искажения фазного напряжения (рис.2.28 б) достигается при величине относительной длительности коммутации автономного инвертора равной 0.866 и находится ниже 3%.

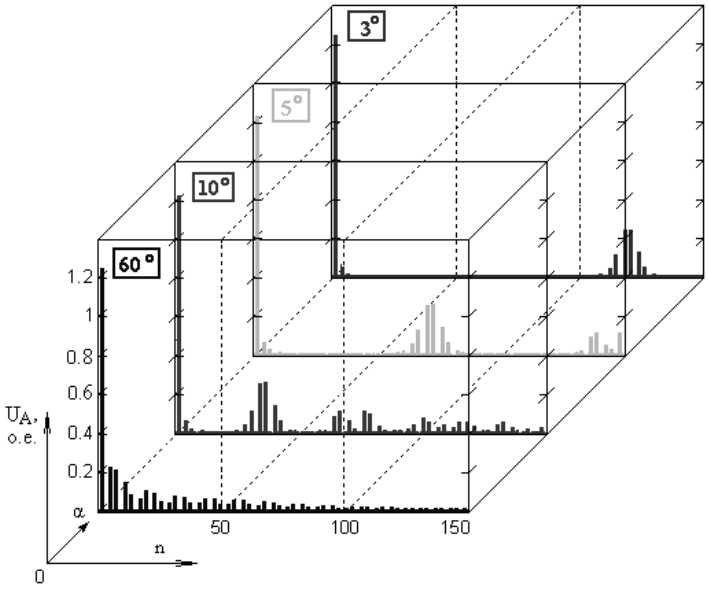


Рис.2.29. Спектры фазного напряжения

При шестидесятиградусной величине сектора и величине относительной длительности коммутации ниже 0.866 гармонический состав фазного напряжения соответствует гармоническому составу СШИМ, а при увеличении относительной длительности коммутации выше 0.866 – ШИМ с предмодуляцией. Из рис.2.29 в видно, как при уменьшении величины подсектора гармоники выходного напряжения, имеющие наибольшую амплитуду, смещаются в зоны высоких частот.

Таким образом, использование ШИМ с предмодуляцией позволяет увеличить амплитуду выходного напряжения автономного инвертора на 15%, при этом увеличивается коэффициент несинусоидальных искажений тока. Для треугольной предмодуляции этот параметр растет сильнее. Пространственно-векторная модуляция по сравнению с широтно-импульсной обеспечивает более высокое значение энергетических характеристик: снижение коэффициентов несинусоидальных искажений фазного напряжения и тока; повышение амплитуды основной гармоники выходного фазного напряжения в режиме перемодуляции; снижение уровня высокочастотных составляющих фазного напряжения.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1. Двухтрансформаторный преобразователь частоты с низковольтными полупроводниковыми коммутаторами

Двухтрансформаторные схемы преобразователей частоты находят широкое применение в электроприводах с вентиляторной нагрузкой. Принципиальная схема и пример использования такой схемы преобразователя частоты приведены в разделе 1.4.

В высоковольтных двухтрансформаторных схемах преобразователей частоты используются низковольтные полупроводниковые выпрямительно-инверторные ячейки и трансформаторы: понижающий – входной; повышающий – выходной.

Имитационная модель такого преобразователя частоты представлена на рис.3.1. Анализ электромагнитных процессов проводился в установившемся режиме работы. Нагрузка преобразователя имеет активно-индуктивный характер. Параметры имитационной модели представлены в таблице 3.1. Параметры блоков, не указанные в таблице, установлены по умолчанию. С помощью блоков Measures осуществляется измерение координат преобразователя.

Таблица 3.1

Параметры имитационной модели двухтрансформаторного преобразователя частоты с низковольтными полупроводниковыми коммутаторами

Элемент силовой схемы	**Название блока**	**Параметры**
Трехфазный источник напряжения	Ua, Ub, Uc	$U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=8165$ В; $f_n=50$ Гц; $\varphi_a=0^\circ$, $\varphi_b=120^\circ$, $\varphi_c=-120^\circ$
Понижающий трансформатор	Three-phase Transformer 1	$P_n=500$ кВт; Y/Y; 10/0.7 кВ; $f_n=50$ Гц
Трехфазный мостовой выпрямитель	Diode bridge	Diodes
Звено постоянного тока	DC	L=0.001 Гн; C=100 мФ
Трехфазный автономный инвертор	Inverter	IGBT / Diodes; 2000 Гц
Повышающий трансформатор	Three-phase Transformer 2	$P_n=500$ кВт; Y/Y; 0,7/10 кВ; $f_n=50$ Гц
Выходной LC – фильтр	LC Filter	$U_n=10$ кВ; $f_n=50$ Гц; L= 0.002 Гн; C=50 мФ
Нагрузка	RL Load	$U_n=10$ кВ; $f_n=50$ Гц; $P_n=450$ кВт; $Q_L=30$ кВар

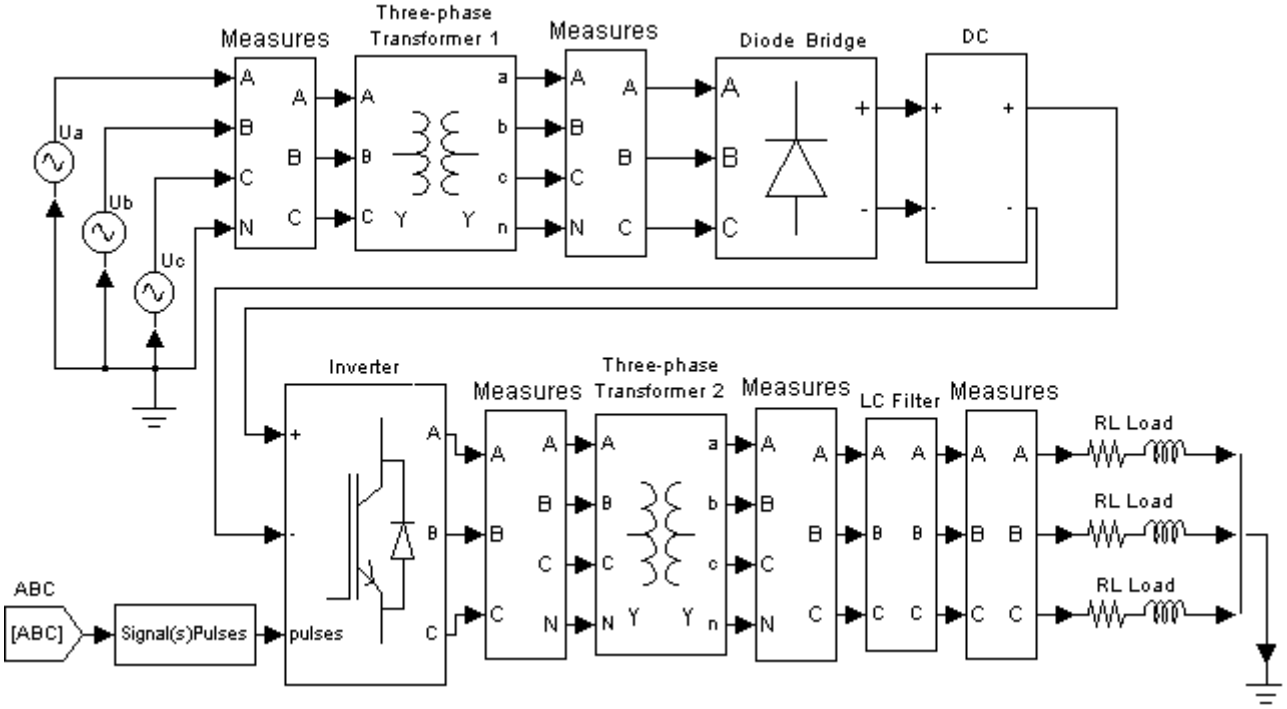


Рис. 3.1. Двухтрансформаторный преобразователь частоты с низковольтными полупроводниковыми коммутаторами

Результаты имитационного моделирования двухтрансформаторного преобразователя частоты с низковольтными полупроводниковыми коммутаторами приведены на рис.3.2 в виде диаграмм токов и напряжений. Осциллографирование осуществляется с помощью блоков Measures. Анализ полученных результатов приведен в таблице 3.2.

При имитационном моделировании учитываются следующие переменные: линейные напряжения и токи питающей сети (U_{abs}, U_{bcs}, U_{cas}, I_{as}, I_{bs}, I_{cs}); линейные напряжения и токи вторичной цепи понижающего трансформатора (U_{ab12}, U_{bc12}, U_{ca12}, I_{a12}, I_{b12}, I_{c12}); линейные напряжения и токи первичной цепи повышающего трансформатора (U_{ab21}, U_{bc21}, U_{ca21}, I_{a21}, I_{b21}, I_{c21}); линейные напряжения и токи вторичной цепи повышающего трансформатора (U_{ab22},U_{bc22},U_{ca22},I_{a22},I_{b22}, I_{c22}); линейные напряжения и токи нагрузки (U_{abl}, U_{bcl}, U_{cal}, I_{al}, I_{bl}, I_{cl}).

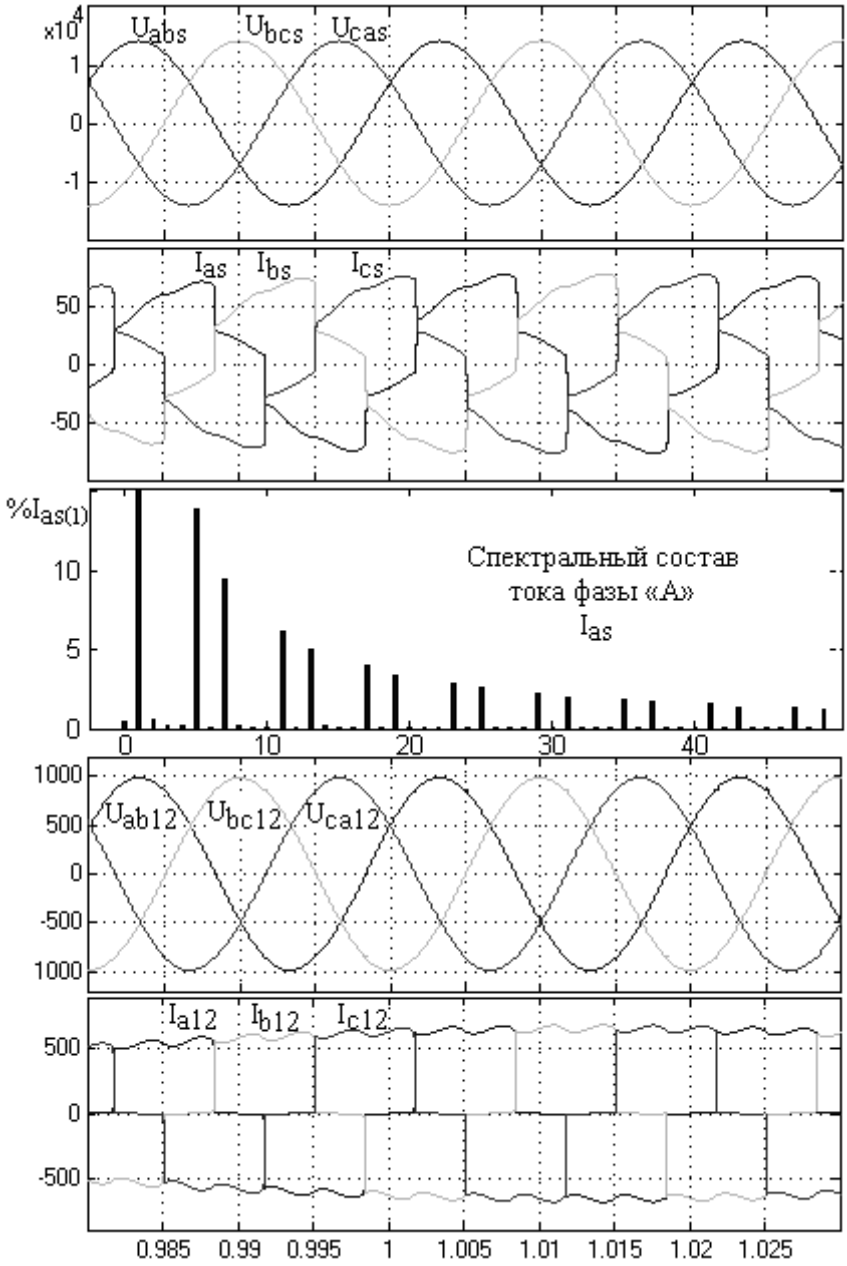
Также, на рис.3.2 приведены спектральные составы токов питающей сети и токов нагрузки, линейных напряжений питающей сети и нагрузки.

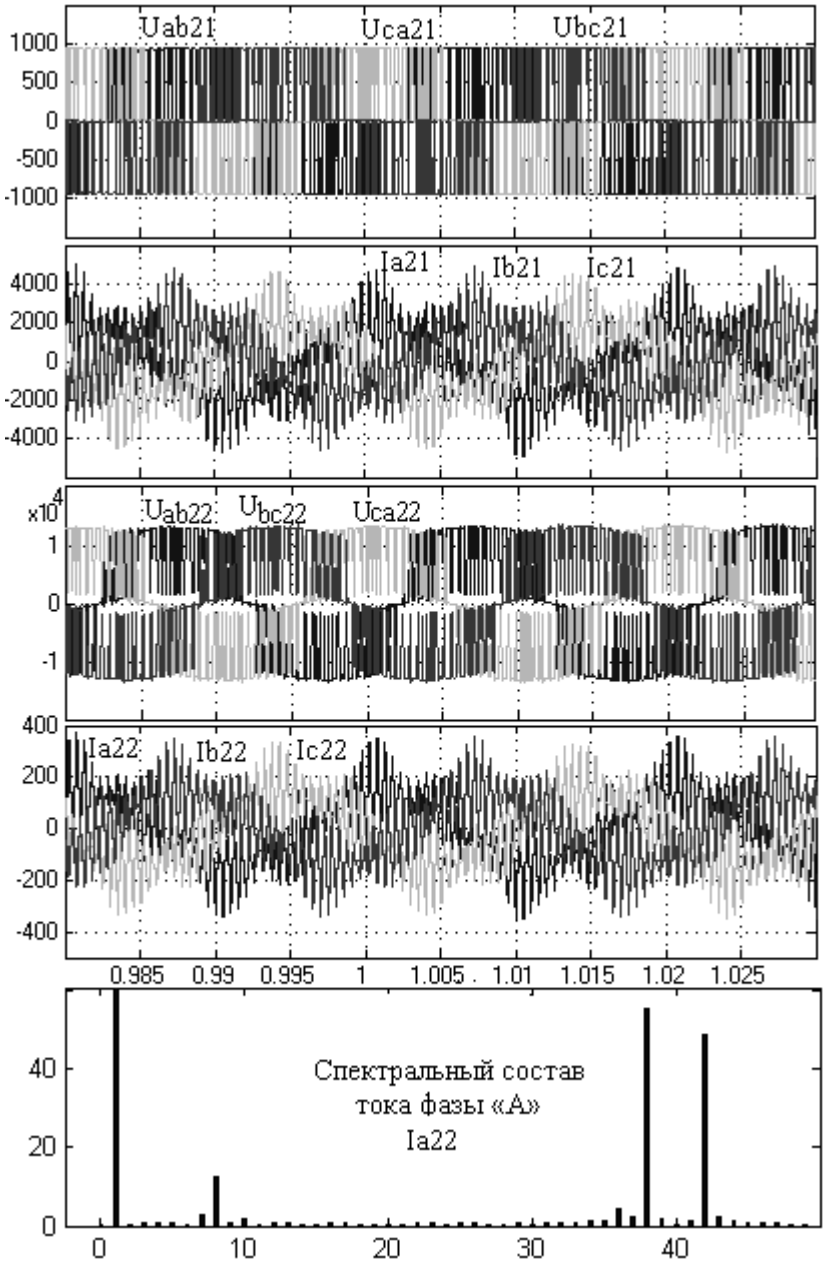
Таблица 3.2.

Анализ результатов моделирования
двухтрансформаторного преобразователя частоты
с низковольтными полупроводниковыми коммутаторами

<table>
<tr><td colspan="3">Сеть электроснабжения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение (действующее), В</td><td>5777</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>10000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» питающей сети (действующий), А</td><td>52,61</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А» питающей сети</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="13">Коэффициент искажения тока (THDI): 20,12%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>250</td><td>13,81</td></tr>
<tr><td>350</td><td>9,39</td></tr>
<tr><td>550</td><td>6,11</td></tr>
<tr><td>650</td><td>4,99</td></tr>
<tr><td>850</td><td>3,93</td></tr>
<tr><td>950</td><td>3,39</td></tr>
<tr><td>1150</td><td>2,87</td></tr>
<tr><td>1250</td><td>2,53</td></tr>
<tr><td>1450</td><td>2,25</td></tr>
<tr><td>1550</td><td>2,01</td></tr>
<tr><td>1750</td><td>1,84</td></tr>
</table>

Понижающий трансформатор (входной)		
Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В		488
Линейное напряжение вторичной цепи (действующее), В		690
Ток фазы «А» вторичной цепи (действующий), А		507
Звено постоянного тока		
Выпрямленное напряжение (максимальное значение), В		960
Выпрямленное напряжение (минимальное значение), В		930
Повышающий трансформатор (выходной)		
Фазное напряжение первичной цепи (действующее), В		479
Линейное напряжение первичной цепи (действующее), В		692
Ток фазы «А» первичной цепи (действующий), А		300
Нагрузка		
Фазное напряжение нагрузки (действующее), В		5563
Линейное напряжение нагрузки (действующее), В		9636
Ток фазы «А» нагрузки (действующий), А		20,8
Искажение синусоидальности тока нагрузки фазы «А»		
Частоты гармоник тока, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDI): 1,86 %
50	100	
100	0,14	
150	0,16	
200	0,16	
250	0,16	
300	0,6	
350	0,35	
400	1,41	
450	0,11	
500	0,19	
550	0.11	
Искажение синусоидальности линейного напряжения нагрузки		
Частоты гармоник напряжения, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения напряжения (THDU): 1,69 %
50	100	
100	0,13	
150	0,16	
200	0,14	
250	0,05	
300	0,36	
350	1,19	
400	0,36	
450	0,28	
500	0,05	


x10^4
Uabs
Ubcs
Ucas
Ias
Ibs
Ics
%Ias(1)
Спектральный состав
тока фазы «А»
Ias
Uab12
Ubc12
Uca12
Ia12
Ib12
Ic12


Uab21
Uca21
Ubc21
1000
500
0
-500
-1000
Ia21
Ib21
Ic21
4000
2000
0
-2000
-4000
x10^4
Uab22
Ubc22
Uca22
1
0
-1
400
Ia22
Ib22
Ic22
200
0
-200
-400
0.985
0.99
0.995
1
1.005
1.01
1.015
1.02
1.025
Спектральный состав
тока фазы «А»
Ia22
40
20
0
0
10
20
30
40

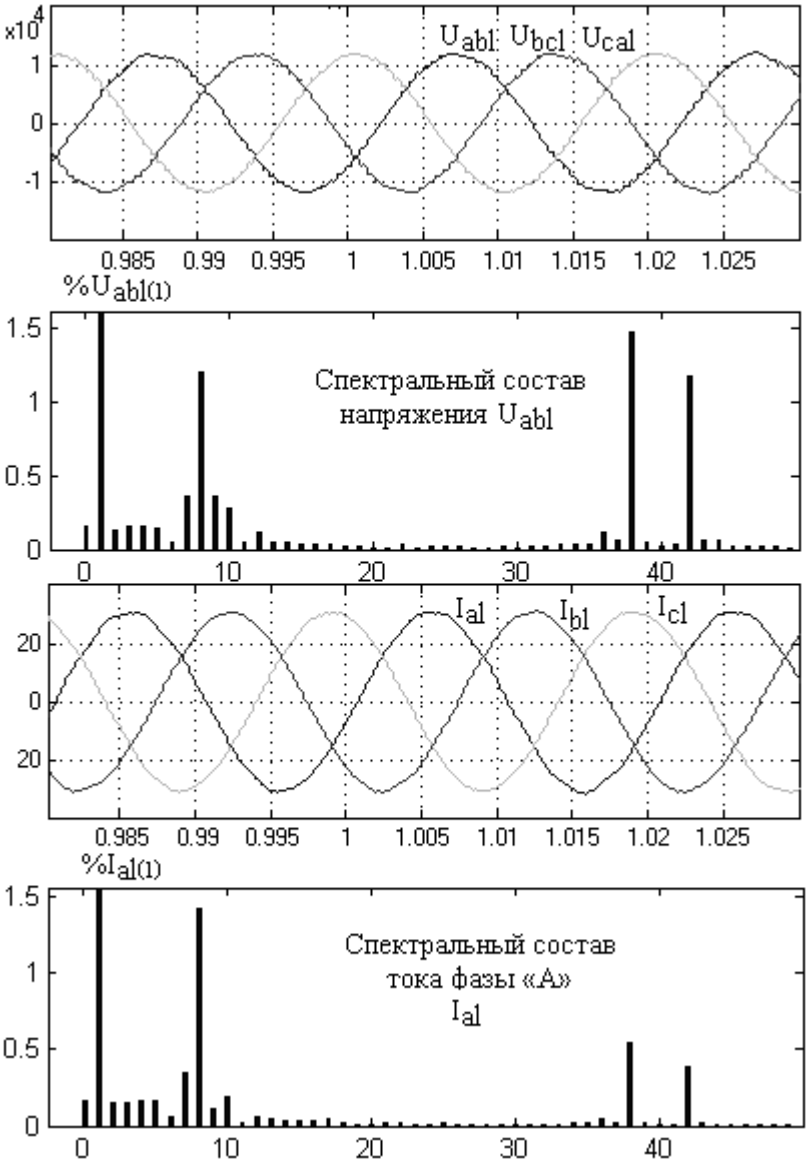


Рис.3.2. Результаты моделирования
двухтрансформаторного преобразователя частоты
с низковольтными полупроводниковыми коммутаторами

3.2. Преобразователь частоты с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором

Электропривода с использованием 12-пульсных выпрямителей и трехуровневых инверторов используются на различных предприятиях минерально-сырьевого комплекса. Примеры использования электроприводов такой структуры приведены в разделах 1.3, 1.4 и 1.6.

Анализ электромагнитных процессов, протекающих в таких преобразователях частоты, проводился с помощью имитационной модели, реализованной в MatLab. Схема модели представлена на рис.3.3.

Нагрузка преобразователя частоты имеет активно-индуктивный характер и реализована с помощью блока RL Load. Анализ электромагнитных процессов проводился в установившемся режиме работы. Параметры имитационной модели представлены в таблице 3.3. Блоки A, B и C обеспечивают формирование управляющих сигналов для автономного инвертора. Не указанные параметры блоков имитационной модели установлены по умолчанию.

Результаты имитационного моделирования преобразователя частоты с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором приведены на рис.3.4 в виде диаграмм токов и напряжений. Осциллографирование осуществляется с помощью блоков Measures. Анализ полученных результатов приведен в таблице 3.4.

При имитационном моделировании учитываются следующие переменные:

– линейные напряжения и токи питающей сети (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, I_a, I_b, I_c);

– линейные напряжения и токи первичной цепи первого трансформатора (U_{ab11}, U_{bc11}, U_{ca11}, I_{a11}, I_{b11}, I_{c11});

– линейные напряжения и токи первичной цепи второго трансформатора (U_{ab12}, U_{bc12}, U_{ca12}, I_{a12}, I_{b12}, I_{c12});

– напряжения на выходе выпрямительных диодных мостов (U_{d1}, U_{d2});

– линейные напряжения на выходе автономного инвертора (U_{abrl}, U_{bcrl}, U_{carl});

– линейные напряжения и токи на нагрузке (U_{abl}, U_{bcl}, U_{cal}, I_{al}, I_{bl}, I_{cl}).

Таблица 3.3

Параметры имитационной модели преобразователя частоты
с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором

Элемент силовой схемы	**Название блока**	**Параметры**
Трехфазный источник напряжения	Ua, Ub, Uc	$U_{am}=U_{bm}=U_{cm}$=8165 В; f_n=50 Гц; $\varphi_a=0^\circ$, $\varphi_b=120^\circ$, $\varphi_c=-120^\circ$
Двухобмоточный трансформатор (первый)	Three-phase Transformer 1	P_n= 10 000 кВт; Y/Y; 10/6 кВ; f_n=50 Гц
Двухобмоточный трансформатор (второй)	Three-phase Transformer 2	P_n=10 000 кВт; Y/Δ; 10/6 кВ; f_n=50 Гц
Трехфазный мостовой выпрямитель (первый)	Universal Bridge 1	Diodes
Трехфазный мостовой выпрямитель (второй)	Universal Bridge 2	Diodes
Уравнительные дроссели	RL Branch	R=0.0001 Ом; L=0.01 Гн
Звено постоянного тока	C1, C2	R=0.0001 Ом; C=1 Ф
Трехуровневый автономный инвертор	Three-Level Bridge	IGBT / Diodes; 2000 Гц
Нагрузка	RL Load	$U_{ab}= U_{bc}= U_{ac}$ 8165 кВ; f_n=50 Гц; P_n=1000 кВт; Q_L=300 кВар

Для анализа электромагнитной совместимости на рис.3.4 приведены спектральные составы напряжений и токов, потребляемых преобразователем частоты из сети электроснабжения, а также спектральные составы токов и напряжений нагрузки.

Из осциллограмм видно, что использование двенадцатипульсного выпрямителя позволяет обеспечить форму тока практически синусоидальной формы, с коэффициентом искажения синусоидальности 12,42%.

Использование трехуровневого автономного инвертора, работающего в режиме широтно-импульсной модуляции, обеспечивает синусоидальную форму кривой тока, с коэффициентом синусоидальности 5,92%.

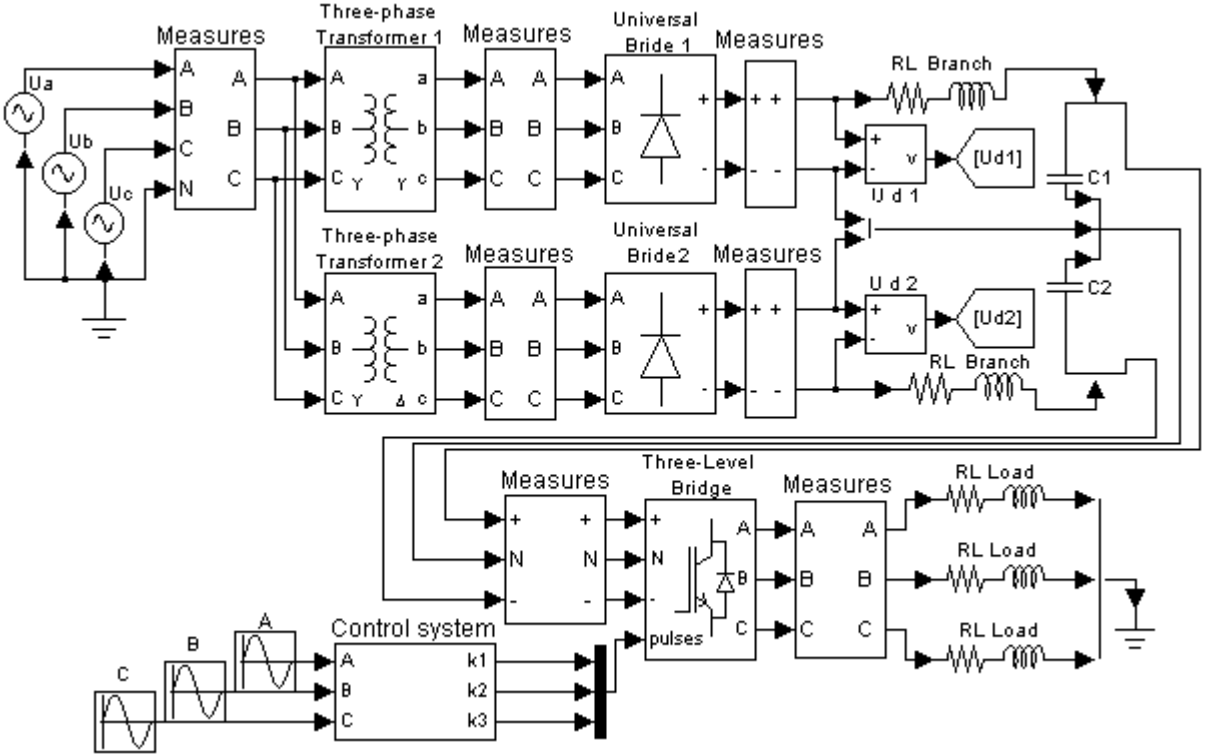
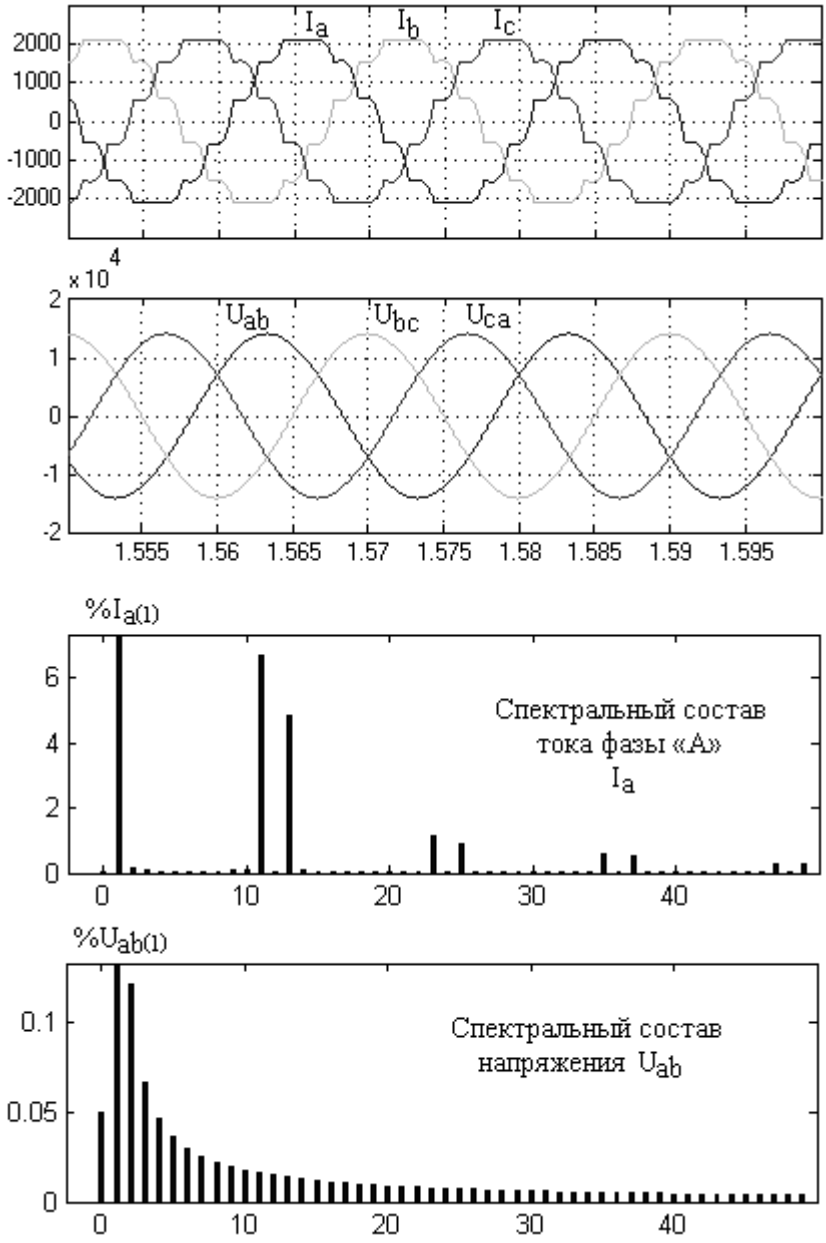


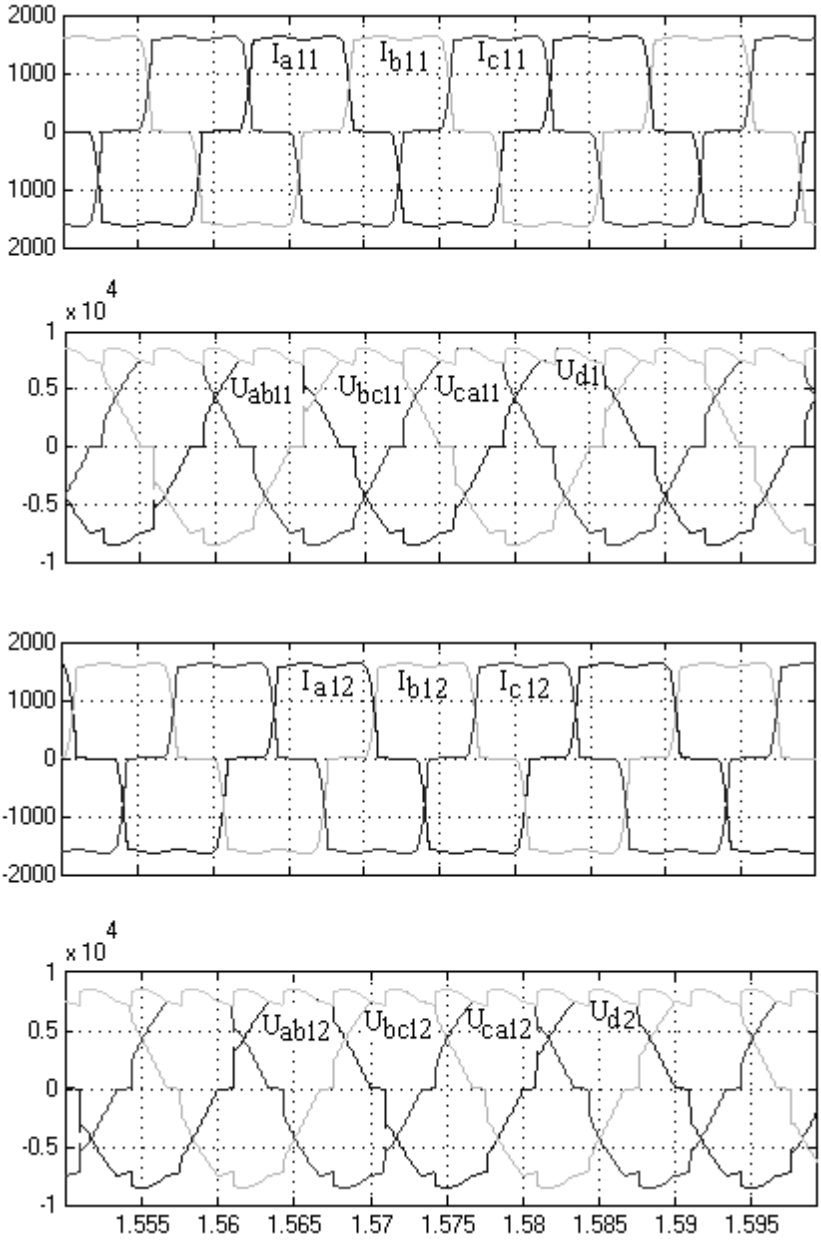
Рис. 3.3. Схема имитационной модели преобразователя частоты
с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором

Таблица 3.4.

Анализ результатов моделирования преобразователя частоты
с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором

Сеть электроснабжения		
Фазное напряжение (действующее), В		5777
Линейное напряжение (действующее), В		10000
Ток фазы «А» питающей сети (действующий), А		1514
Искажение синусоидальности тока фазы «А» питающей сети		
Частоты гармоник тока, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDI):12,42%
50	100	
550	13,81	
650	9,39	
1150	6,11	
Первый трансформатор		
Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В		3454
Линейное напряжение вторичной цепи (действующее), В		5984
Второй трансформатор		
Фазное напряжение вторичной цепи (действующее), В		3454
Линейное напряжение вторичной цепи (действующее), В		5984
Звено постоянного тока		
Выпрямленное напряжение (среднее), В		18900
Нагрузка		
Фазное напряжение нагрузки (действующее), В		6775
Линейное напряжение нагрузки (действующее), В		9581
Ток фазы «А» нагрузки (действующий), А		1537
Искажение синусоидальности линейного напряжения нагрузки		
Частоты гармоник тока, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDU): 9,86 %
50	100	
800	3,53	
900	2,93	
1100	2,46	
1200	2,71	
Искажение синусоидальности тока фазы «А» нагрузки		
Частоты гармоник напряжения, Гц	Действующее значение, % от основной гармоники	Коэффициент искажения тока (THDI): 5,92%
50	100	
900	2,60	
1100	2,13	
1200	2,20	
1750	1,69	


Ia
Ib
Ic
2000
1000
0
-1000
-2000
x 10^4
2
1
0
-1
-2
Uab
Ubc
Uca
1.555
1.56
1.565
1.57
1.575
1.58
1.585
1.59
1.595
%Ia(1)
6
4
2
0
Спектральный состав
тока фазы «А»
Ia
0
10
20
30
40
%Uab(1)
0.1
0.05
0
Спектральный состав
напряжения Uab
0
10
20
30
40


2000
1000
0
1000
2000
Ia11
Ib11
Ic11
x 10^4
1
0.5
0
-0.5
-1
Uab11
Ubc11
Uca11
Ud1
2000
1000
0
-1000
-2000
Ia12
Ib12
Ic12
x 10^4
1
0.5
0
-0.5
-1
Uab12
Ubc12
Uca12
Ud2
1.555
1.56
1.565
1.57
1.575
1.58
1.585
1.59
1.595

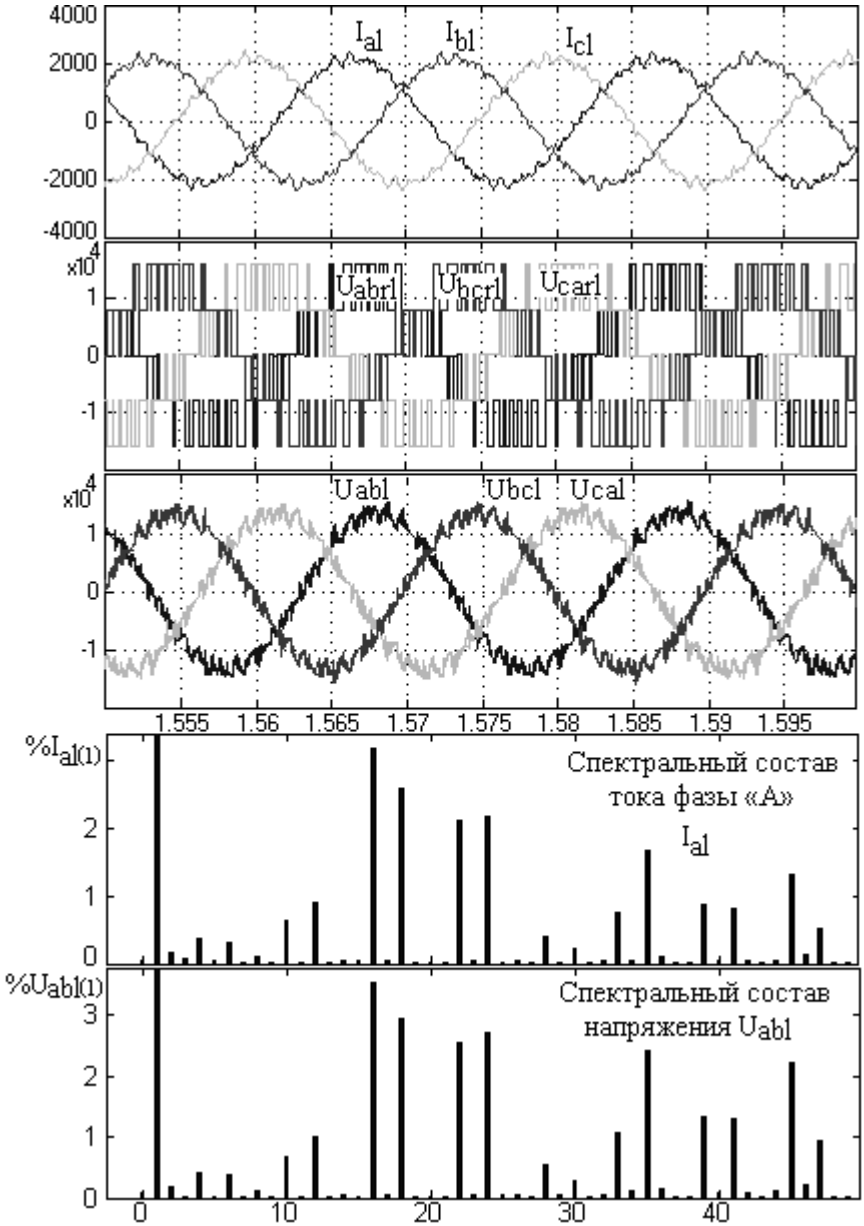


Рис.3.4. Результаты моделирования преобразователя частоты
с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором

3.3. Преобразователь частоты с трехуровневым активным выпрямителем и трехуровневым автономным инвертором

Использование в современных регулируемых электроприводах преобразователей частоты с активными выпрямителями является одним из основных направлений повышения энергетических характеристик электротехнических систем на основе асинхронных электродвигателей. Унифицированные структуры полупроводниковых коммутаторов обеспечивают более высокую надежность преобразователей частоты.

Трехуровневые коммутаторы выполнены на полностью управляемых транзисторах, управление которыми осуществляется с помощью алгоритмов широтно-импульсной модуляции.

Пример использования преобразователя частоты с трехуровневыми активным выпрямителем и автономным инвертором, и принципиальная схема электроприводов с ними, приведены в разделе 1.2.

Схема имитационной модели такого преобразователя частоты, позволяющая исследовать электромагнитные процессы, протекающие в коммутаторах, приведена на рис.3.5. Параметры имитационной модели представлены в таблице 3.5. Параметры блоков, не указанные в таблице установлены по умолчанию. Нагрузка преобразователя частоты выполнена в виде последовательного соединения резистора и катушки индуктивности и имеет активно-индуктивный характер. Блоки A, B и C обеспечивают формирование управляющих сигналов для трехуровневого автономного инвертора

Результаты имитационного моделирования приведены на рис.3.6 в виде диаграмм токов и напряжений. Анализ полученных результатов приведен в таблице 3.6. Осциллографирование осуществляется с помощью блоков Measures. Анализ электромагнитных процессов и уровня электромагнитной совместимости проводился в установившемся режиме работы схемы.

При имитационном моделировании учитываются следующие переменные:

– линейные и фазные напряжения, токи питающей сети (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c); активная и реактивная мощности, потребляемые электротехнической системой (P и Q); линейные и фаз-

ные напряжения на входе трехуровневого активного выпрямителя (U_{ab2}, U_{bc2}, U_{ca2}, U_{a2}, U_{b2}, U_{c2}); выпрямленное напряжение в звене постоянного тока (U_d); линейные и фазные напряжения на выходе трехуровневого автономного инвертора (U_{abdr}, U_{bcdr}, U_{cadr}, U_{adr}, U_{bdr}, U_{cdr}); линейные и фазные напряжения, ток на нагрузке (U_{abl}, U_{bcl}, U_{cal}, U_{al}, U_{bl}, U_{cl}, I_{al}, I_{bl}, I_{cl}).

Также, на рис.3.6 приведены спектральные составы тока, потребляемого преобразователем частоты, напряжения и тока на нагрузке.

Таблица 3.5

Параметры имитационной модели преобразователя частоты с трехуровневым активным выпрямителем и трехуровневым автономным инвертором

Элемент силовой схемы	**Название блока**	**Параметры**
Трехфазный источник напряжения	Ua, Ub, Uc	$U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=3400$ В; $f_n=50$ Гц; $\varphi_a=0^\circ$, $\varphi_b=120^\circ$, $\varphi_c=-120^\circ$
Входной трехфазный дроссель	Drossel	R=0.0001 Ом; L=0.001 Гн
Трехуровневый активный выпрямитель	Three-Level rectifier	IGBT / Diodes; 1000 Гц
Звено постоянного тока	DC	R=0.0001 Ом; C=100 мФ
Трехуровневый автономный инвертор	Three-Level Inverter	IGBT / Diodes; 2000 Гц
Нагрузка	RL Load	$U_{ab}= U_{bc}= U_{ac}$ 4200 кВ; $f_n=50$ Гц; $P_n=3300$ кВт; $Q_L=500$ кВар

Таблица 3.6.

Анализ результатов моделирования преобразователя частоты с трехуровневым активным выпрямителем и трехуровневым автономным инвертором

Сеть электроснабжения	
Фазное напряжение (действующее), В	2410
Линейное напряжение (действующее), В	4165
Ток фазы «А» питающей сети (действующий), А	670
Искажение синусоидальности тока фазы «А» питающей сети	

<table>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="10">Коэффициент искажения тока (THDI):10,28%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100</td><td>1,43</td></tr>
<tr><td>150</td><td>1,22</td></tr>
<tr><td>200</td><td>1,49</td></tr>
<tr><td>250</td><td>3,86</td></tr>
<tr><td>300</td><td>1,55</td></tr>
<tr><td>350</td><td>1,41</td></tr>
<tr><td>500</td><td>4,77</td></tr>
<tr><td>800</td><td>9,41</td></tr>
<tr><td colspan="3">Звено постоянного тока</td></tr>
<tr><td colspan="2">Уставка на выпрямленное напряжение, В</td><td>7400</td></tr>
<tr><td colspan="2">Выпрямленное напряжение (среднее), В</td><td>7400</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фазное напряжение нагрузки (действующее), В</td><td>2572</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение нагрузки (действующее), В</td><td>4455</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» нагрузки (действующий), А</td><td>536,2</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности линейного напряжения нагрузки</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="9">Коэффициент искажения напряжения (THDU):10,62 %</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>500</td><td>2,85</td></tr>
<tr><td>550</td><td>0,09</td></tr>
<tr><td>600</td><td>5,83</td></tr>
<tr><td>800</td><td>6,66</td></tr>
<tr><td>900</td><td>3,96</td></tr>
<tr><td>1100</td><td>2,15</td></tr>
<tr><td>1200</td><td>1,92</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы «А» нагрузки</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник напряжения, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="10">Коэффициент искажения тока (THDI): 4,64 %</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>150</td><td>1,24</td></tr>
<tr><td>450</td><td>0,85</td></tr>
<tr><td>500</td><td>1,44</td></tr>
<tr><td>550</td><td>0,08</td></tr>
<tr><td>600</td><td>2,69</td></tr>
<tr><td>650</td><td>0,12</td></tr>
<tr><td>800</td><td>2,54</td></tr>
<tr><td>900</td><td>1,4</td></tr>
</table>

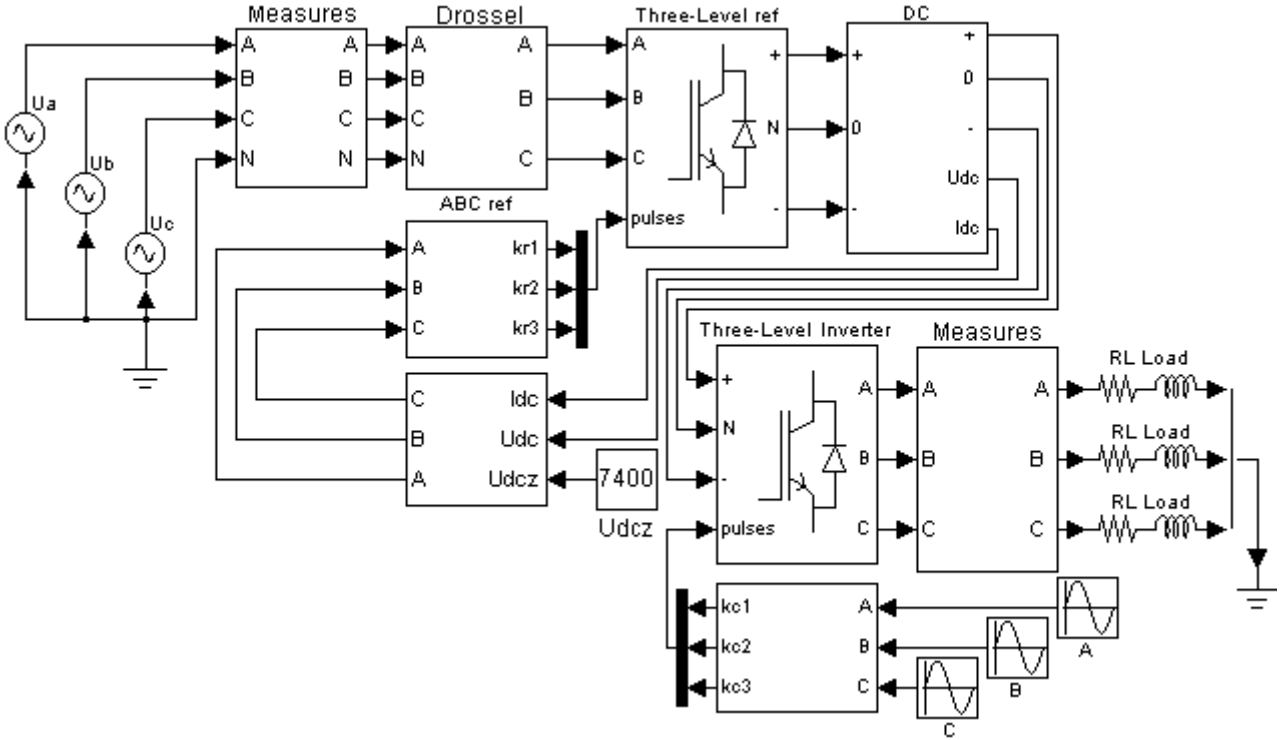
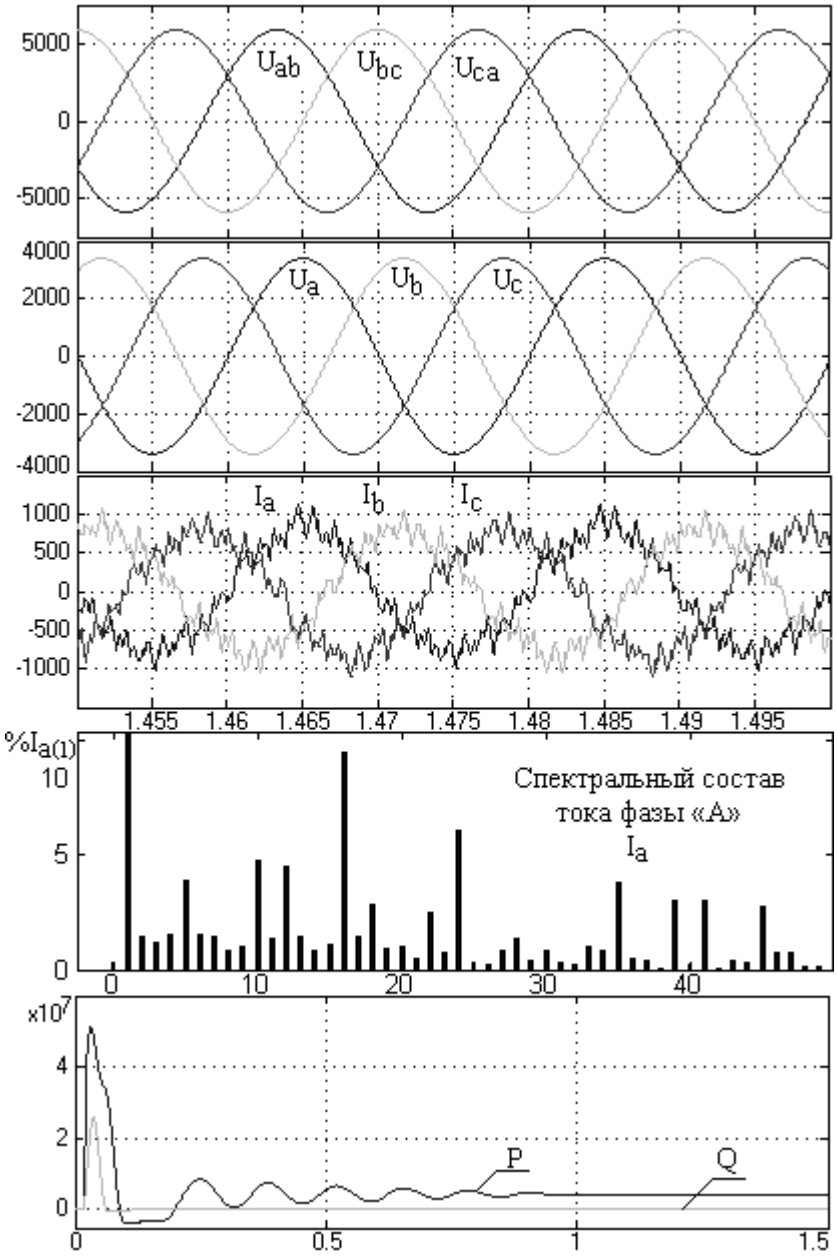
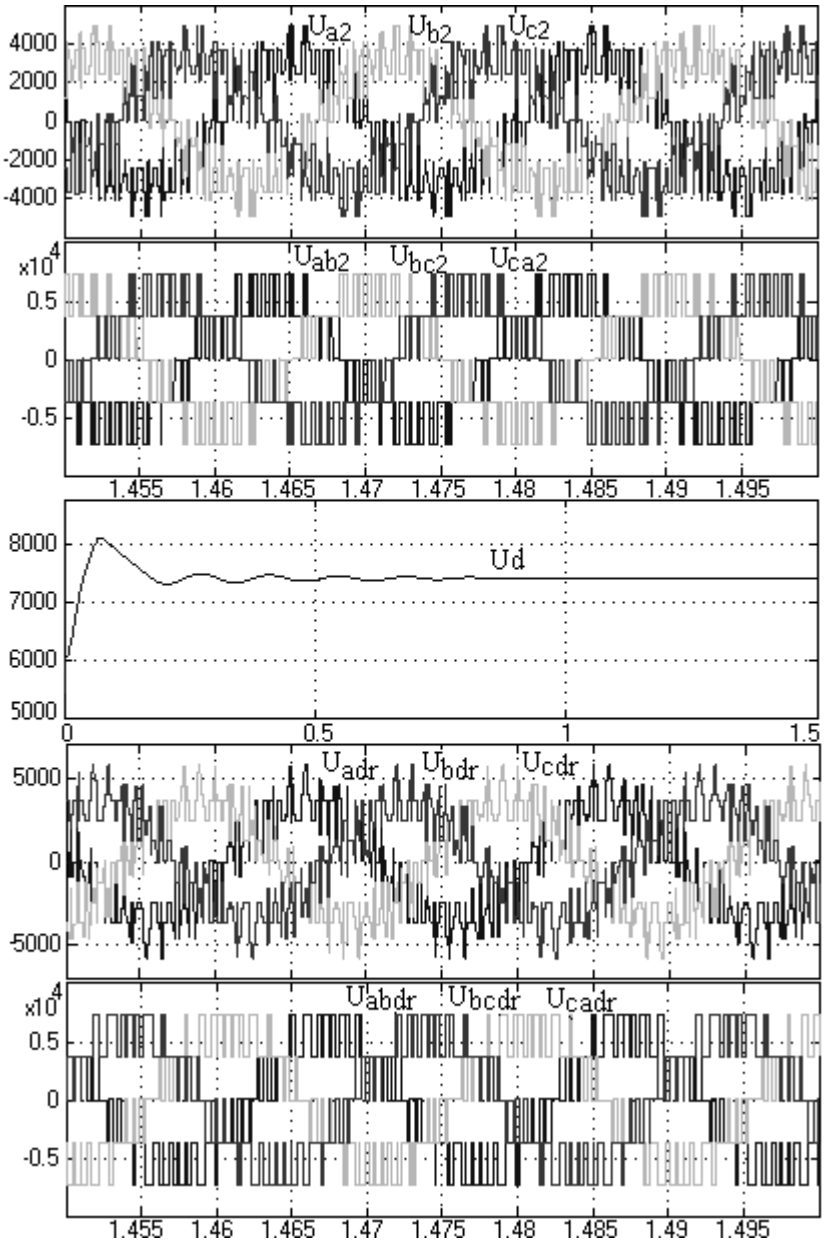


Рис. 3.5. Схема имитационной модели преобразователя частоты
с трехуровневым активным выпрямителем и трехуровневым автономным инвертором


5000
0
-5000
Uab
Ubc
Uca
4000
2000
0
-2000
-4000
Ua
Ub
Uc
1000
500
0
-500
-1000
Ia
Ib
Ic
1.455
1.46
1.465
1.47
1.475
1.48
1.485
1.49
1.495
%Ia(1)
10
5
0
Спектральный состав
тока фазы «А»
Ia
0
10
20
30
40
x10^7
4
2
0
P
Q
0
0.5
1
1.5


Ua2
Ub2
Uc2
4000
2000
0
-2000
-4000
x10^4
Uab2
Ubc2
Uca2
0.5
0
-0.5
1.455
1.46
1.465
1.47
1.475
1.48
1.485
1.49
1.495
8000
7000
6000
5000
Ud
0
0.5
1
1.5
Uadr
Ubdr
Ucdr
5000
0
-5000
Uabdr
Ubcdr
Ucadr

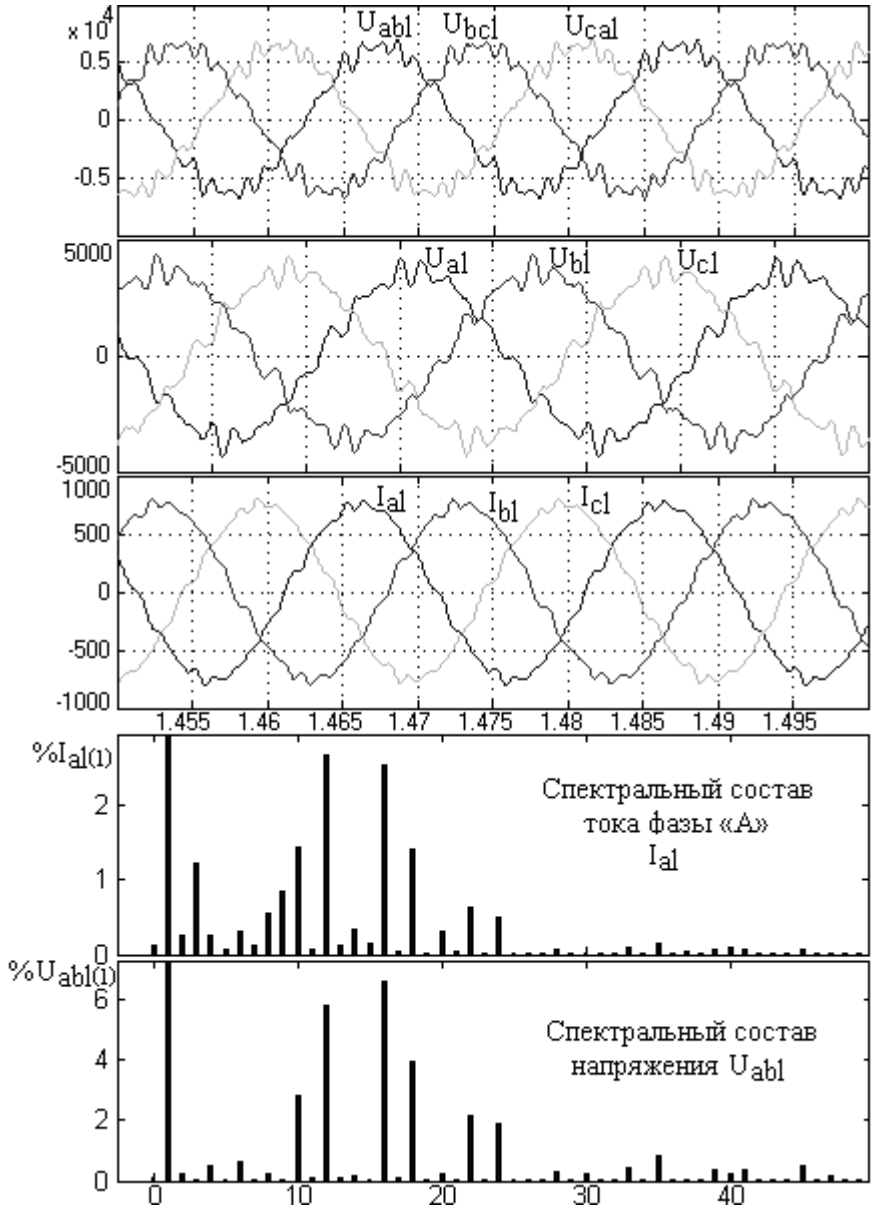


Рис.3.6. Результаты моделирования преобразователя частоты с трехуровневым активным выпрямителем и трехуровневым автономным инвертором

3.4. Преобразователь частоты с параллельным включением автономных инверторов и активным выпрямителем

За счет использования активного выпрямителя в преобразователе частоты появляется возможность построения электроприводов с питанием нескольких автономных инверторов от одного выпрямительного устройства. Активный выпрямитель обеспечивает поддержание выпрямленного напряжения в звене постоянного тока, даже при колебании напряжения питающей сети.

Электропривод такой структуры описан в разделе 1.6, как привод мотор-колес. Схема имитационной модели преобразователя частоты такай структуры приведена на рис.3.7. Параметры имитационной модели представлены в таблице 3.7. Параметры блоков, не указанные в таблице, установлены по умолчанию. Нагрузка преобразователя имеет активно-индуктивный характер.

Таблица 3.7

Параметры имитационной модели преобразователя частоты с параллельным включением автономных инверторов и активным выпрямителем

Элемент силовой схемы	Название блока	Параметры
Трехфазный источник напряжения	Ua, Ub, Uc	$U_{am}=U_{bm}=U_{cm}=310$ В; $f_n=50$ Гц; $\varphi_a=0^\circ$, $\varphi_b=120^\circ$, $\varphi_c=-120^\circ$
Входной трехфазный дроссель	Drossel	R=0.0001 Ом; L=0.001 Гн
Трехуровневый активный выпрямитель	Active Front End	IGBT / Diodes; 1000 Гц
Звено постоянного тока	DC	R=0.0001 Ом; C=100 мФ
Трехуровневый автономный инвертор	Inverter 1 (Inverter 2)	IGBT / Diodes; 2000 Гц
Нагрузка	RL Load	$U_{ab}= U_{bc}= U_{ac}$ 380 В; $f_n=50$ Гц; $P_n=150$ кВт; $Q_L=140$ кВар

Результаты имитационного моделирования преобразователя с параллельным соединением инверторов и активным выпрямителем приведены на рис.3.8 в виде диаграмм токов и напряжений. Анализ полученных результатов приведен в таблице 3.8. Анализ электромагнитных процессов проводился в установившемся режиме работы преобразователя.

При имитационном моделировании учитываются следующие переменные: линейные и фазные напряжения, токи питающей сети (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c); активная и реактивная мощности, потребляемые электротехнической системой (P и Q); линейные и фазные напряжения, токи на выходе первого автономного инвертора (U_{ab1}, U_{bc1}, U_{ca1}, U_{a1}, U_{b1}, U_{c1}, I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}); линейные и фазные напряжения, токи на выходе второго автономного инвертора (U_{ab2}, U_{bc2}, U_{ca2}, U_{a2}, U_{b2}, U_{c2}, I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}); выпрямленное напряжение в звене постоянного тока (U_d). На рис.3.8 приведены спектральные составы токов нагрузки.

Таблица 3.8.

Анализ результатов моделирования преобразователя частоты с параллельным включением автономных инверторов и активным выпрямителем

<table>
<tr><td colspan="3">Сеть электроснабжения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение (действующее), В</td><td>380</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» питающей сети (действующий), А</td><td>1025</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы питающей сети «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 6,03%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>900</td><td>3,58</td></tr>
<tr><td>900</td><td>3,21</td></tr>
<tr><td colspan="3">Звено постоянного тока</td></tr>
<tr><td colspan="2">Уставка / результирующее выпрямленное напряжение, В</td><td>750/750</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка (автономный инвертор 1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение нагрузки (действующее), В</td><td>380</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» нагрузки 1 (действующий), А</td><td>409</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности тока фазы нагрузки «А»</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 3,57%</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>150</td><td>2,15</td></tr>
<tr><td>900</td><td>1,74</td></tr>
<tr><td colspan="3">Нагрузка (автономный инвертор 2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Линейное напряжение нагрузки (действующее), В</td><td>380</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ток фазы «А» нагрузки (действующий), А</td><td>409</td></tr>
<tr><td colspan="3">Искажение синусоидальности линейного напряжения нагрузки</td></tr>
<tr><td>Частоты гармоник тока, Гц</td><td>Действующее значение, % от основной гармоники</td><td rowspan="4">Коэффициент искажения тока (THDI): 3,58 %</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td></tr>
<tr><td>150</td><td>2,15</td></tr>
<tr><td>900</td><td>1,74</td></tr>
</table>

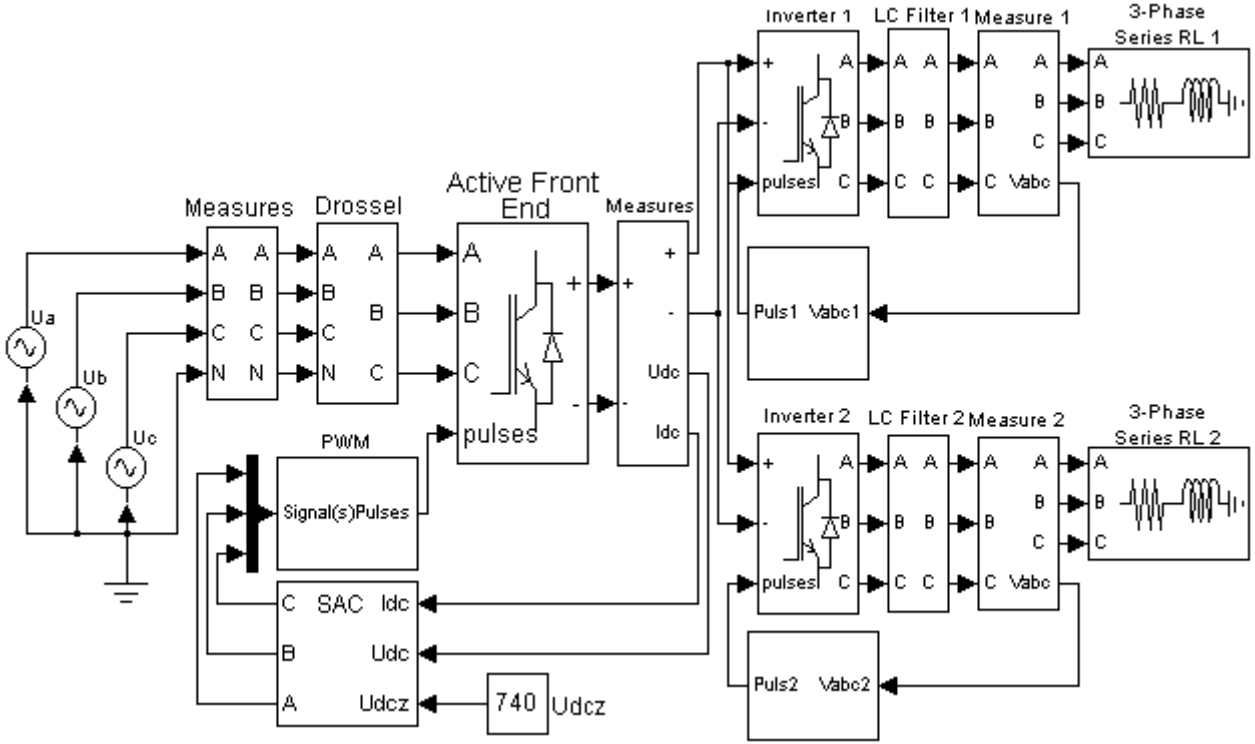
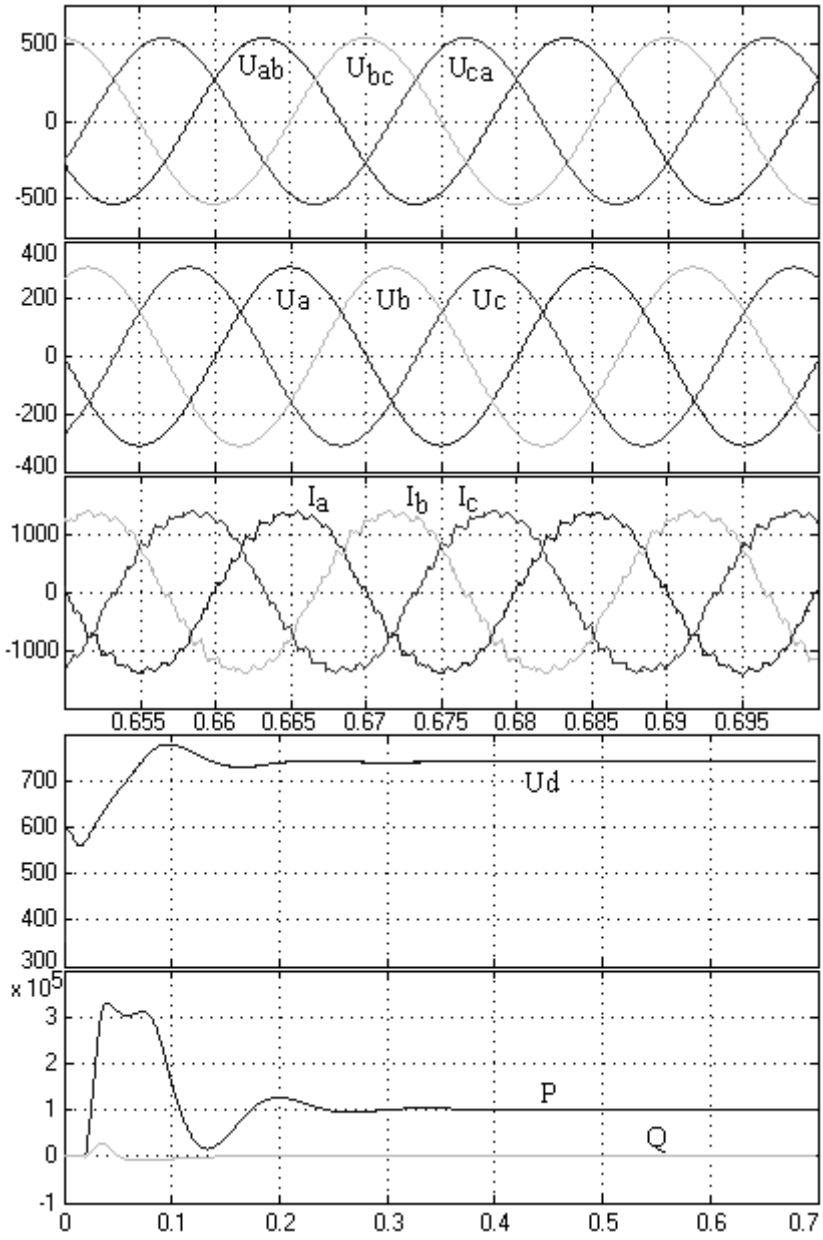
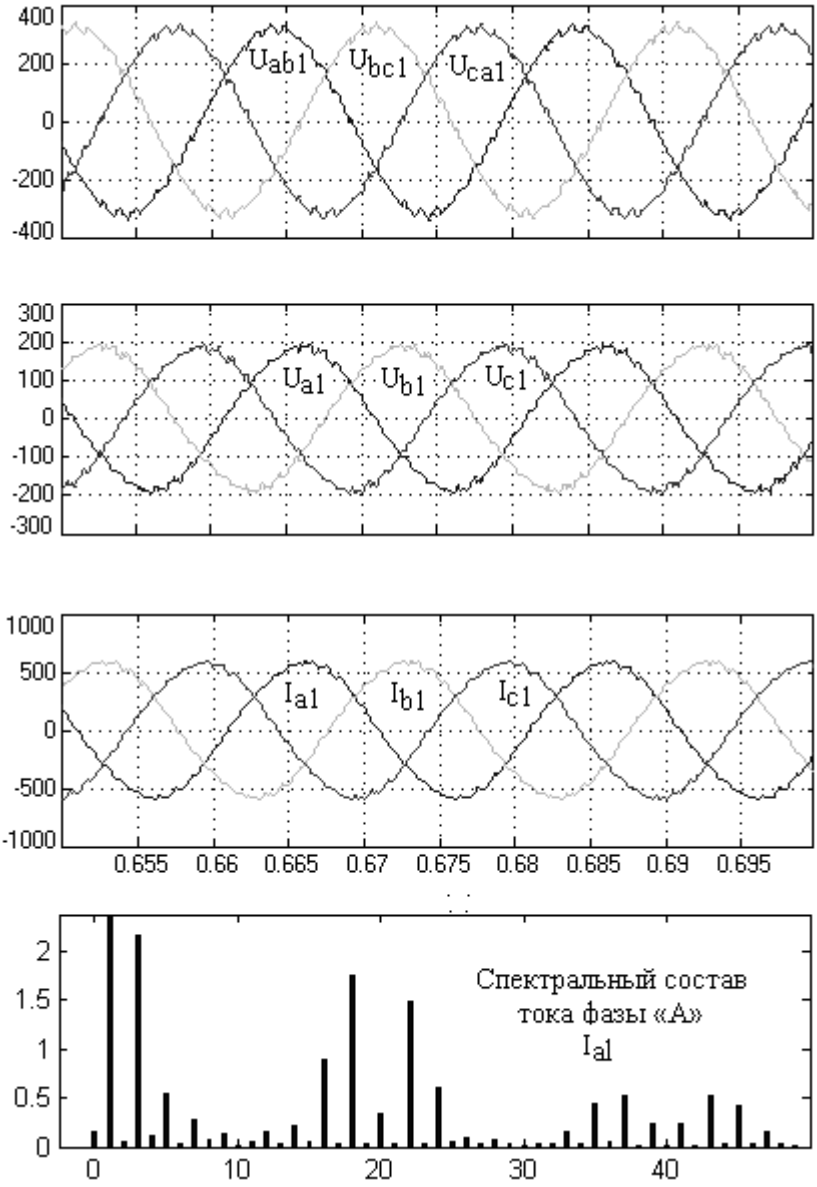


Рис. 3.7. Схема имитационной модели преобразователя частоты
с параллельным включением автономных инверторов и активным выпрямителем


500
0
-500
Uab
Ubc
Uca
400
200
0
-200
-400
Ua
Ub
Uc
1000
0
-1000
Ia
Ib
Ic
0.655
0.66
0.665
0.67
0.675
0.68
0.685
0.69
0.695
700
600
500
400
300
Ud
x 10^5
3
2
1
0
-1
P
Q
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7


400
200
0
-200
-400
Uab1
Ubc1
Uca1
300
200
100
0
-100
-200
-300
Ua1
Ub1
Uc1
1000
500
0
-500
-1000
Ia1
Ib1
Ic1
0.655
0.66
0.665
0.67
0.675
0.68
0.685
0.69
0.695
2
1.5
1
0.5
0
Спектральный состав
тока фазы «А»
Ia1
0
10
20
30
40

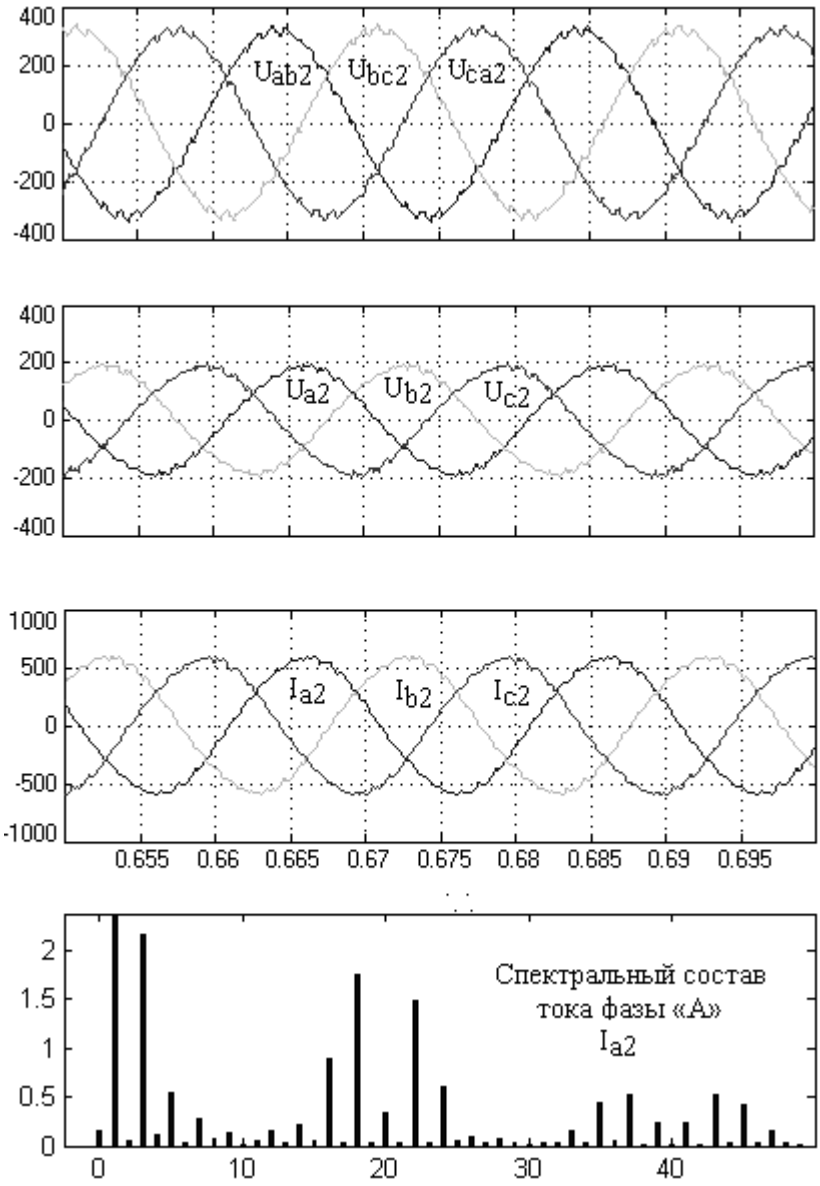


Рис. 3.8. Результаты моделирования преобразователя частоты с параллельным включением автономных инверторов и активным выпрямителем

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены различные структуры полупроводниковых преобразователей частоты, которые используются в различных электротехнических системах и комплексах с асинхронными электродвигателями.

Использование в выпрямителях и инверторах преобразователей частоты транзисторных ключей обеспечивает высокий уровень электромагнитной совместимости полупроводниковых устройств с сетью электроснабжения и нагрузкой (приводными электродвигателями). Высокочастотные транзисторные преобразователи обеспечивают минимальные искажения тока и напряжения.

За счет модернизации и повышения эффективности алгоритмов управления ключами полупроводниковых преобразователей, можно обеспечить их повышенные энергетические характеристики.

Таким образом, создание и изучение различных структур и алгоритмов управления, и внедрение высокотехнологических решений в этой области в производство, позволит обеспечить значительный рост эффективности промышленных объектов и технических средств нефтегазовой и горной отраслей минерально-сырьевого комплекса.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 50397-2011. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.

2. Белов М.П., Зементов О.И., Козярук А.Е. и др. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации. М.: Академия, 2006 – 368 с.

3. Шрйнер Р.Т., Калыгин А.И., Кривовяз В.К. Электропривода переменного тока на базе непосредственных преобразователей частоты с ШИМ. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2012 – 223 с.

4. Шрейнер Р.Т Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УРО РАН, 2000. - 654 с.

5. Официальный сайт компании Siemens: ww.siemens.com.

6. Frank J., Bartos P. E. Medium-voltage drives shine offshore //Process & control engineering, 2006, № 59 (7).

7. Золотухин А.Б., Гудместад О.Т., Ермаков А.И. и др. Основы разработки шельфовых нефтегазовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике. М.: «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2000 – 770 с.

8. Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Яризов А.Д. Электротехнические установки и комплексы нефтегазовой промышленности. М.: ОАО «Издательство «Недра», 2000 – 487 с.

9. Лазарев Г.Б. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем // Новости электротехники, 2005. № 2 (32).

10. Зобов И.Б., Малиновский О.В, Лапшина А.А. Системы частотного регулирования с крупными и высоковольтными электродвигателями // Информационный бюллетень, 2007, № 2.

11. Лядов К.Б., Злобин А.Г., Мордовченко Д.Д. и др. Электроприводные агрегаты нового поколения производства «РЭП Холдинга» // Газотурбинные технологии, 2012, №4.

12. Пат. 2485353 Российская Федерация, RU № 2485353. Подводный газоперекачивающий агрегат для многониточного трубопровода. Козярук А.Е., Васильев Б.Ю; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Санкт- Петербургский государ-

ственный горный университет». № 2012100910/06; завл. 11.01.2012; опубл. 20.06.2013, бюл. № 17.

13. Толстов С.С., Мирзоев Д.А., Ибрагимов И.Э. Подводная технология добычи углеводородов – ключевой фактор освоения ресурсов шельфа Арктики // Газовая промышленность, 2011, №661.

14. Дурыманов В.В., Леонтьев С.А., Седов В.В. На суше и под водой: капсулированный компрессорный агрегат STC-ECO-II компании Siemens // Турбины и дизели, 2010, №2.

15. Пронин М.В., Воронцов А.Г. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / Под редакцией Крутякова Е.А. Санкт-Петербург: «Силовые машины» «Электросила», 2003 – 172 с.

16. Пронин М.В., Воронцов А.Г., Калачиков П.Н., Емельянов А.П. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение)/Под редакцией Крутякова Е. А. Санкт-Петербург: «Силовые машины» «Электросила», 2004 - 252 с.

17. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Системы прямого управления моментом в частотно-регулируемых электроприводах переменного тока. СПб: СПбЭК, 2005 – 100 с.

18. Козярук А.Е., Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. Санкт-Петербург: СПЭК, 2004 – 127 с.

19. Худяков В.Ф., Хабузов В.А. Моделирование источников вторичного электропитания в среде MATLAB Санкт-Петербург: ГУАП, 2008 – 332 с.

20. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс, 2007 – 288 с.

21. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Изд. Телеком, 2007 – 288 с.

22. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. Санкт-Петербург: Люмена, 2001 – 320 с.

23. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс, 2005 – 800 с.

24. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока

с частотным регулированием. М.: Академия, 2007 – 265 с.

25. Ефимов А.А., Шрейнер Р.Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока. Новоуральск: изд. НГТИ, 2001 – 250 с.

26. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: ГОУВПО «Ивановский гос. энер. ун-т им В.И.Ленина», 2008 – 298 с.

27. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2006 – 94 с.

28. Шрейнер Р.Т Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УРО РАН, 2000. - 654 с.

29. Онищенко Г. Б. Электрический привод М.: РАСХН, 2003 – 320 с.

30. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М.: Академия, 2004 – 256 с.

31. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. М.: Академия, 2006 – л 304 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрим алгоритм доказательства адекватности математической модели на примере модели асинхронного двигателя [1А-4А]. Для этого необходимо иметь испытательную установку с асинхронным двигателем и ее математическую модель.

На испытательной установке была проведена серия экспериментов пуска асинхронного электродвигателя. Осциллограммы изменения частоты вращения и электромагнитного момента при пуске электродвигателя приведены на рис. А.1.

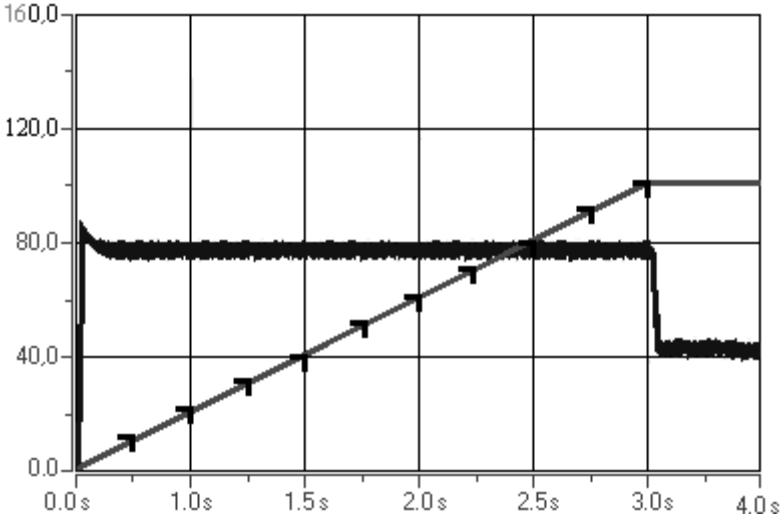


Рис. А.1. Осциллограммы, полученные при пуске асинхронного электродвигателя на испытательной установке

С использованием математической модели был смоделирован пуск такого же асинхронного двигателя в аналогичных условиях. Осциллограммы пуска представлены на рис.А.2.

Проверим адекватность математической модели. Для этого сформулируем нуль-гипотезу H_0: математическая модель асинхронного электродвигателя адекватна. Альтернативная гипотеза H_1: математическая модель электродвигателя неадекватна.

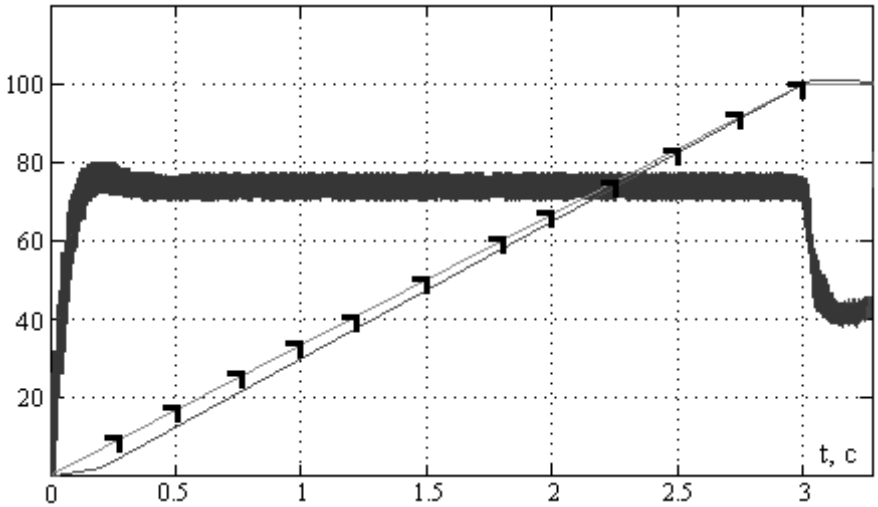


Рис. А.2. Осциллограммы, полученные при пуске асинхронного электродвигателя в MatLab

На стендовой установке было проведено три экспериментальных пуска асинхронного двигателя, т.е. n=3. Как говорилось выше, одна из осциллограмм приведена на рис. А.1. На каждой осциллограмме было выделено 13 точек, т.е. N=13, которые занесены в таблицу А.1. На теоретической кривой (рис.А2.) выделим точки в эти же моменты времени.

Далее рассчитаем средние значения частоты вращения в определенные таблицей А.1 моменты времени по формуле:

$$\overline{\omega}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\omega_{ij}, \quad \left(i = \overline{1, N}\right). \qquad \text{А.1}$$

Проделав эту операцию для всех 13 моментов времени, запишем результаты в таблицу А.3, во второй столбик.

Следующим шагом рассчитаем значения выборочных дисперсий (т.е. оценок дисперсий) для каждого из 13 моментов времени по следующей формуле

$$s_i^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\omega_{ij} - \overline{\omega}_i\right)^2, \qquad \left(i = \overline{1, N}\right). \qquad \text{А.2}$$

Таблица А.1. Результаты экспериментов на стенде

t_i, с	1.0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4
$\omega_{i,1}$,%$\omega_{ном}$	0	8	17	25	31	41	50	58	66	75	84	92	100
$\omega_{i,1}$,%$\omega_{ном}$	0	8,9	17,9	25,9	31,7	41,7	50,7	58,7	66,6	75,5	84,3	92,1	100
$\omega_{i,1}$,%$\omega_{ном}$	0	7,2	16,3	24,4	30,5	40,6	49,7	57,8	65,9	74,9	83,9	92	100

Таблица А.2. Результаты экспериментов на математической модели

t_i, с	1.0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4
$\omega_{мод}$,%$\omega_{ном}$	0	8	17	25	31	41	50	58	66	75	84	92	100

Таблица А.3. Результаты расчета

t_i	$\overline{\omega}_i$	s_i^2	$\hat{\omega}_i - \hat{\omega}(t_i)$	$(\overline{\omega}_i - \hat{\omega}_i)^2$
1.0	0	0	0	0
1,25	8,033333	1,446667	8	0,001111
1,5	17,06667	1,286667	17	0,004444
25	25,1	1,14	25	0,01
31	31,06667	0,726667	31	0,004444
41	41,1	0,62	41	0,01
50	50,13333	0,526667	50	0,017778
58	58,16667	0,446667	58	0,027778
66	66,16667	0,286667	66	0,027778
75	75,13333	0,206667	75	0,017778
84	84,06667	0,086667	84	0,004444
92	92,03333	0,006667	92	0,001111
100	100	0	100	0

Рассчитав, таким образом, все 13 выборочных дисперсий, запишем их также в таблицу А.3, в третий столбик

На следующем этапе проверим выполнение статистической гипотезы об однородности (равенстве) дисперсий во всех опытах, т.е. проверим гипотезу воспроизводимости. Для этого рассчитываем статистику критерия Кохрена по следующей формуле

$$G = \frac{s^2_{\max}}{s_1^2 + s_2^2 + \cdots + s_N^2}. \qquad \text{А.3}$$

и сравниваем ее с табличным значением $G_\alpha(\nu_1, \nu_2)$, где соответствующие степени свободы равны

$$\nu_1 = n - 1 \text{ и } \nu_2 = N,$$

при уровне значимости α=0,05.

Из третьего столбца таблицы А.3 видно, что $s^2_{\max} = 13333{,}33$. Следовательно

$$G = \frac{1{,}446667}{\left[\begin{matrix} 0 + 1{,}44 + 1{,}286 + 1{,}14 + 0{,}726 + 0{,}62 + 0{,}526 + \\ + 0{,}446 + 0{,}286 + 0{,}206 + 0{,}086 + 0{,}006 + 0 \end{matrix}\right]} = 0{,}2133.$$

Табличное значение критерия Кохрейна при $\nu_1 = 3 - 1 = 2$ и $\nu_2 = 13$ равно

$$G_{0{,}05}(2,\ 13) = 0{,}5250.$$

Таким образом,

$$G = 0{,}2133 \ < \ G_{0{,}05}(2,\ 6) = 0{,}5250.$$

Так как экспериментальное значение критерия Кохрена меньше табличного, следовательно, гипотеза об однородности дисперсий выполняется, а это означает, что можно рассчитать соответствующие дисперсии:

$$s^2_в = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} s_i^2 =$$

$$= \frac{1}{13}\left(\begin{matrix} 0 + 1{,}44 + 1{,}286 + 1{,}14 + 0{,}726 + 0{,}62 + 0{,}526 + 0{,}446 + 0{,}286 + 0{,}206 \\ + 0{,}086 + 0{,}006 + 0 \end{matrix}\right) = \qquad \text{А.4}$$

$$= 0{,}5215$$

$$s^2_{\bar{\omega}} = \frac{1}{n} s^2_в = \frac{1}{3} 0{,}5215 = 0{,}1738. \qquad \text{А.5}$$

Для проверки адекватность полученной модели воспользуемся

F-критерием Фишера. Занесем полученные результаты расчета с помощью математической модели в таблицу А.3 в четвертый столбец, а в следующем столбце той же таблицы рассчитаем разность квадратов экспериментального и рассчитанного по модели значений откликов. Затем, рассчитаем величину дисперсии адекватности по формуле:

$$s_{ad}^2 = \frac{1}{N-k}\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{\omega}_i - \hat{\omega}_i\right)^2, \qquad \text{А.6}$$

где k – количество коэффициентов математической модели. В данном случае математическая модель замкнутого контура регулирования скорости имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{kc}(p) = \frac{b_0}{1 + a_1 p}. \qquad \text{А.7}$$

Таким образом $k = 2$.

Итого значение дисперсии адекватности $s_{ad}^2 = 0{,}0515$.

Определим экспериментальное значение критерия Фишера

$$F = \frac{s_{ad}^2}{s_{\overline{\omega}}^2} = \frac{0{,}0515}{0{,}1738} = 0.0662.$$

Определим теоретическое значение критерия Фишера при $\nu_{ad} = N - k = 13 - 2 = 11$ и $\nu_в = N(n-1) = 12\cdot(3-1) = 22$.

Таким образом

$$F_{0,05}(11,\ 22) = 2.6346.$$

Отсюда можно заключить, что экспериментальное значение меньше теоретического, т.е.

$$F = 0.0662 < F_{0,05}(11,\ 22) = 2{,}6346,$$

следовательно, гипотеза H_0: математическая модель адекватна, обоснована.

Список литературы ПРИЛОЖЕНИЯ А:

1А. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. М.: Энергия, 1975.

2А. Хикс Ч., Основные принципы планирования эксперимента. М.: Мир, 1967.

3А. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981.

4А. Саушев А.В. Планирование эксперимента в электротехнике: учебное пособие. СПб.: СПГУВК, 2012.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Для построения векторной системы автоматического управления (САУ) электроприводом (ЭП) могут быть использованы любые пары векторов, с помощью которых можно представить электромагнитный момент асинхронного двигателя (АД), который вычисляется следующим образом

$$M = \frac{3}{2} pC\left(\bar{a} \times \bar{b}\right), \qquad \text{(Б.1)}$$

где p - число пар полюсов асинхронного двигателя; C - коэффициент, зависящий от выбора векторов $\bar{a}$ и $\bar{b}$, которые представлены в таблице Б.1, где $k_s = L_m / L_s$, $k_r = L_m / L_r$, $\sigma = 1 - k_s k_r$ – коэффициенты электромагнитной связи статора, ротора и коэффициент рассеяния соответственно) [1Б].

Таблица Б.1

		$\bar{b}$				
		Ψ_s	I_s	Ψ_r	I_r	Ψ_m
$\bar{a}$	Ψ_s	0	1	$-k_s k_r / \sigma L_m$	$-k_1$	–
	I_s	–1	0	$-k_r$	$-L_m$	–1
	Ψ_r	$k_s k_r / \sigma L_m$	k_2	0	–1	–
	I_r	k_1	L_m	1	0	1
	Ψ_m	–	1	–	–1	0

От выбора векторов в значительной мере зависит степень сложности векторной САУ. Желательно, чтобы величины, представленные векторами в уравнении электромагнитного момента были наблюдаемы, т.е., чтобы их можно было непосредственно измерить и воздействовать на них при управлении электромагнитным моментом. У короткозамкнутого АД есть только две такие величины – это напряжение U_s и ток статора I_s, и только одна из них, а именно ток статора I_s, может входить в уравнение момента. Тогда другой величиной может быть только ток ротора

I_r или какое-либо потокосцепление. Ток ротора I_r принципиально ненаблюдаем. Поэтому для выбора остаются три вектора потокосцепления: статора Ψ_s, ротора Ψ_r и основное Ψ_m, т.е. магнитный поток в зазоре АД. Потокосцепление статора Ψ_s и поток в зазоре АД Ψ_m можно непосредственно измерить и использовать этот сигнал в системе управления, что часто и делается при создании приводов высокого качества. В массовых же изделиях разработчики стараются использовать сигналы, доступные без установки датчиков, или вычисленные по мгновенным значениям все тех же токов I_s и напряжений U_s статора. Однако, при выборе потокосцепления статора Ψ_s или основного потокосцепления Ψ_m передаточные функции системы управления получаются довольно сложными и мало подходящими для практического использования.

Простейший вид имеют уравнения электромагнитных процессов в АД в случае представления их через вектор потокосцепления ротора Ψ_r. То обстоятельство, что его невозможно измерить не является препятствием для выбора, т.к. магнитный поток ротора легко вычисляется по потоку статора или по рабочему потоку [1Б-4Б].

Таким образом, выбор векторов тока статора I_s и потокосцепления ротора Ψ_r является наиболее целесообразным с точки зрения сложности структуры векторной САУ. Такие системы, с ориентацией по вектору потокосцепления ротора Ψ_r, получили название Field Oriented Control (FOC) или Trans-Vector [3Б,5Б,6Б]. Структурная схема векторной САУ с ориентацией по потокосцеплению ротора изображена на рис.Б 1.

Структура векторной САУ электроприводом

Векторная САУ построена в виде двух двухконтурных каналов: канал стабилизации модуля потокосцепления ротора и канал управления скоростью вращения ротора АД. Внутренние контуры обоих каналов – контуры регулирования составляющих тока статора I_{s1} и I_{s2}, которые являются проекциями вектора тока статора I_s на оси 1-2, и называются потокообразующими и моментообразующими, соответственно. Структурная схема внутренних контуров регулирования векторной САУ приведена на рис.Б2.

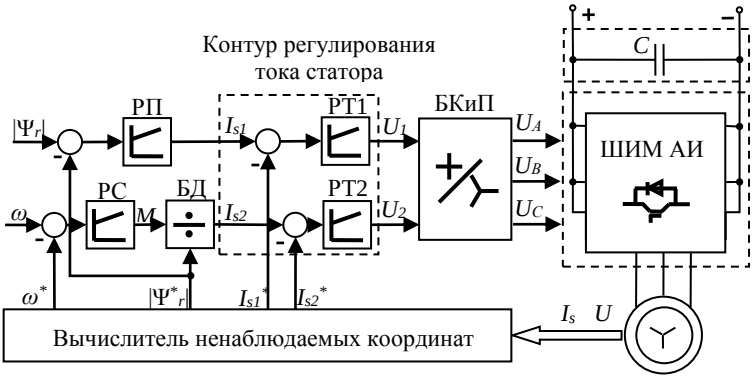


Рис.Б.1. Структурная схема ЭП с векторной САУ,
ориентированной по вектору потокосцепления ротора АД:
РП – регулятор потока ротора; РС – регулятор скорости; БД – блок деления;
РТ1 и РТ2 – регуляторы составляющих тока статора I_{s1} и I_{s2}, соответственно;
БКиП – блок компенсации и преобразования координат;
ШИМ АИ – автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией.

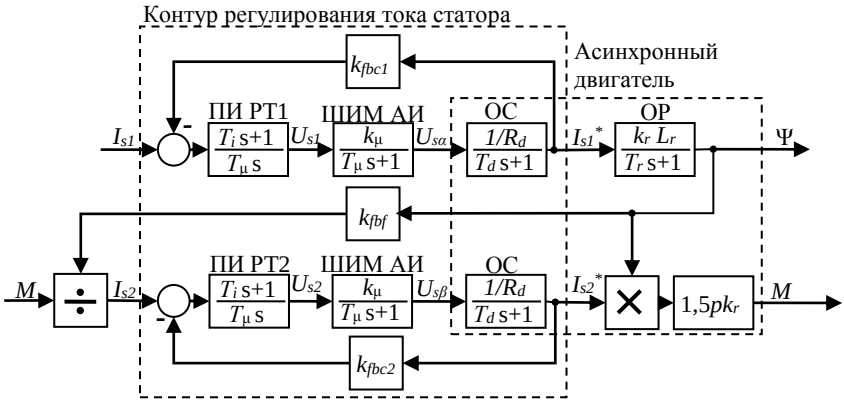


Рис.Б.2. Структурная схема внутренних контуров регулирования
векторной САУ

Электромагнитный момент АД для переменных $|\Psi_r|$ и I_{s2} в системе координат, связанной с вектором потокосцепления ротора Ψ_r , можно представить как [3Б]

$$M = \frac{3p}{2} k_r |\Psi_r| I_{s2} \qquad (Б.2)$$

При $|\Psi_r|$ = const электромагнитный момент M пропорционален составляющей тока статора I_{s2} и управление электромаг-

нитным моментом M сводится к управлению составляющей тока статора I_{s2}. Как правило, при настройке контура регулирования составляющей тока статора I_{s2} (и всех внутренних контуров регулирования), который является внутренним для контура частоты вращения, они уподобляются колебательному звену второго порядка с определенным коэффициентом демпфирования, то есть желаемая передаточная функция контура выглядит следующим образом

$$W_i(s) = \frac{1/k}{1 + 2\xi Ts + T^2 s^2}, \qquad (Б.3)$$

где k – коэффициент усиления контура; T – постоянное время; ζ – коэффициент демпфирования.

Параметры желаемой передаточной функции $W_i(s)$ настраиваются таким образом, чтобы получить в контуре переходный процесс минимальной длительности, т.е. обеспечить максимальное быстродействие. Как известно из теории автоматического управления, максимальное быстродействие колебательного звена достигается при $\zeta = 1/\sqrt{2} \approx 0{,}707$ [7Б, 8Б]. Это можно наблюдать на рис.Б3, где в виде трехмерной поверхности показано семейство переходных характеристик $h(t)$ при различных ξ ($k=1$).

Таким образом, передаточная функция колебательного звена, с максимальным быстродействием, имеет следующий вид

$$W_i(s)\big|_{\xi=\frac{1}{\sqrt{2}}} = \frac{1/k}{1 + \sqrt{2}Ts + T^2 s^2}. \qquad (Б.4)$$

Как видно по рис.Б2 передаточная функция объекта управления в контуре тока выглядит следующим образом

$$W_{CO}(s) = W_\mu(s)\, W_{IM}(s) = \frac{k_\mu}{T_\mu s + 1} \cdot \frac{1/R_d}{T_d s + 1}, \qquad (Б.5)$$

где $R_d = R_s + k_r^2 R_r$ – эквивалентное активное сопротивление АД; T_d – эквивалентная постоянная времени; k_μ – коэффициент усиления ШИМ АИ; T_μ – постоянная времени ШИМ АИ.

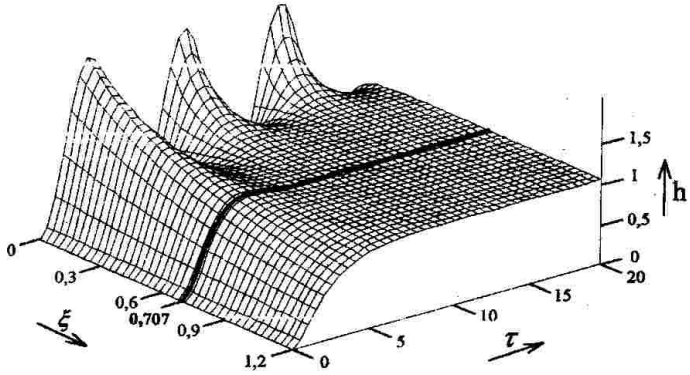


Рис.Б3. Переходные характеристики колебательного звена в зависимости от коэффициента демпфирования ζ (τ – относительное время)

При условии, что $T_\mu = 1/f_{cf}$, где f_{cf} – несущая частота ШИМ АИ, которая в современных автономных инверторах может достигать десятков килогерц, то постоянная времени ШИМ АИ $T_\mu << T_d$ и будет оказывать незначительное влияние на динамические характеристики контура регулирования составляющей тока статора. С учетом этого, при $T=\sqrt{2}\ T_\mu$, передаточная функция регулятора, обеспечивающего максимальное быстродействие в контуре регулирования составляющей тока статора I_{s2}, и передаточная функция замкнутого контура имеет вид

$$W_{RI2FOC}(s) = \frac{1}{R_d}\frac{T_d s + 1}{2T_\mu k_\mu k_{fbc2} s},$$
$$W_{CI2FOC} = \frac{1/k_{fbc2}}{2T_\mu s(T_\mu s + 1) + 1}. \qquad (Б.6)$$

Учитывая то, что передаточные функции объектов управления в обоих контурах регулирования составляющих токов подобны, то структура регулятора в контуре регулирования I_{s1}, при условии настройки его на максимальное быстродействие, аналогична. Следовательно, передаточная функция регулятора и замкнутого контура выглядят следующим образом

$$W_{RI1FOC}(s) = \frac{1}{R_d}\frac{T_d s + 1}{2T_\mu k_\mu k_{fbc1} s}, \qquad (Б.7)$$

$$W_{CI1FOC} = \frac{1/k_{fbc1}}{2T_\mu s\left(T_\mu s+1\right)+1}. \qquad (Б.8)$$

Структура САУ прямого управления моментом электропривода

Для управления ЭП на основе АД могут использоваться САУ на основе алгоритмов прямого управления моментом - Direct Torque Control (DTC). Главные особенности алгоритма прямого управления заключаются в том, что в САУ используются релейные регуляторы, а результирующее управляющее воздействие вычисляется по таблице переключений [9Б-13Б].

Основные преимущества DTC заключаются в простоте, надежности управления, а также инвариантности к внешним и параметрическим возмущениям за счет отсутствия в системе преобразователей координат, непрерывных регуляторов и специальных аппаратных и программных средств для обеспечения модуляционного контроля преобразователя частоты.

Структурная схема ЭП с системой DTC представлена на рис.Б4.

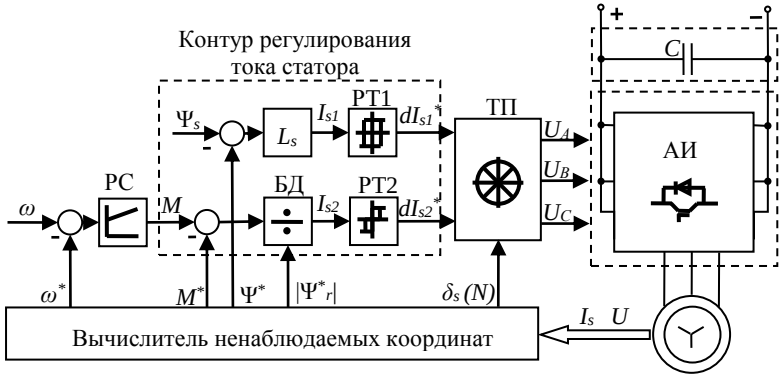


Рис.Б4. Структурная схема ЭП с системой DTC

В САУ установлены следующие регуляторы: регулятор скорости (РС); двухуровневый регулятор потокосцепления статора (РΨ); трехуровневый регулятор момента (РМ). Результирующий вектор выходного напряжения автономного инвертора и комбинация коммутируемых полупроводниковых ключей АИ

вычисляются по таблице переключений (ТП). В зависимости от структуры и требований к его динамическим характеристикам ЭП таблица переключений может иметь различное внутреннее содержание. Примеры таблиц переключений представлены в [Б10-Б13].

Анализ качества переходных процессов в контуре регулирования тока САУ DTC необходимо начать с линеаризации характеристик нелинейных регуляторов. Для этого можно воспользоваться различными методами линеаризации нелинейностей, представленными в [Б14-Б17]. В данном случае целесообразно воспользоваться способами вибрационной линеаризации, а именно, вибрационной линеаризацией внутренними высокочастотными колебаниями с помощью автоколебаний, искусственно вызванными во внутреннем контуре системы. Это обеспечивается за счет охвата регуляторов запаздывающими обратными связями.

Рассмотрим этот способ линеаризации на примере контура регулирования составляющей тока статора I_{s2} с трехпозиционным релейным регулятором. Обозначим следующие передаточные функции: $W_{RI2DTC}(s)$ – трехпозиционный релейный регулятор; $W_{su2}(s)$ – отрицательная обратная связь. Обозначив коэффициент усиления линеаризованного релейного регулятора через k_2, можно записать передаточную функцию линеаризованного автоколебаниями регулятора в следующем виде

$$W_{RI2DTC}(s) = \frac{k_2}{1 + k_2 W_{su2}(s)}. \qquad (Б.9)$$

Коэффициент k_2 достаточно велик вследствие большой крутизны характеристики релейного регулятора. Поэтому передаточную функцию $W_{RI2DTC}(s)$ можно переписать как

$$W_{RI2DTC}(s) = \frac{1}{1/k_2 + W_{su2}(s)} \approx \frac{1}{W_{su2}(s)}. \qquad (Б.10)$$

Если обратную связь выполнить в виде апериодического звена с передаточной функцией $W_{su2}(s) = k_{su2}/(T_{su2}s + 1)$, то (Б.10) можно записать как

$$W_{RI2DTC}(s) \approx \frac{1}{k_{su2}}(T_{su2}s + 1). \qquad (Б.11)$$

Схема линеаризованного релейного регулятора приведена на рис.Б5. На осциллограммах, представленных на рис.Б6, приведены сигналы при линеаризации релейного регулятора, установленного в контуре регулирования тока статора, из которых видно, что сигналы имеют идентичную форму.

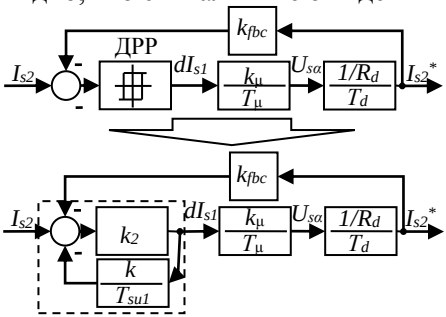


Рис.Б5. Схема линеаризованного релейного регулятора

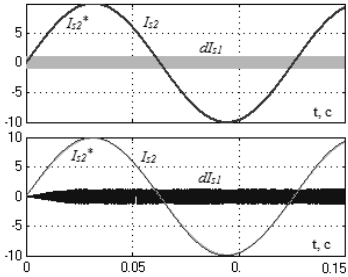


Рис.Б6. Анализ эффективности линеаризации регулятора

Структурная схема регулирования тока статора в электроприводе с системой прямого управления моментом с линеаризованными релейными регуляторами составляющих тока статора I_{s1} и I_{s2} , представлена на рис.Б7.

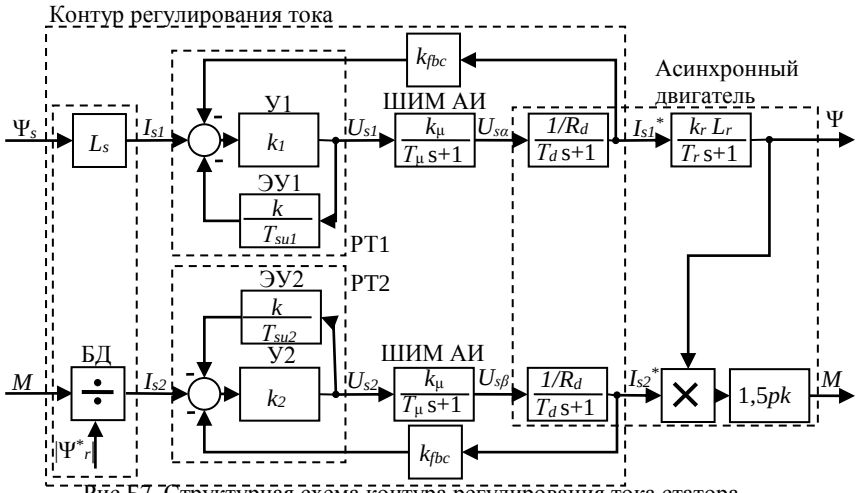


Рис.Б7. Структурная схема контура регулирования тока статора в электроприводе с системой прямого управления моментом

Передаточная функция прямого канала линеаризованного контура регулирования составляющей тока статора I_{s2}, структурная схема которого приведена на рис.Б7, с учетом выше сказанного, выглядит следующим образом

$$W_{RRI2}(s)=W_{RI2DTC}(s)\ W_{\mu}(s)\ W_{IM}(s)=\frac{k_2}{1+\dfrac{k_2 k_{su2}}{T_{su2}s+1}}\cdot\frac{k_{\mu}}{T_{\mu}s+1}\cdot\frac{1/R_d}{T_d s+1}\cdot \tag{Б.12}$$

Процесс линеаризации релейного регулятора аналогичен процессу модуляции. Релейный регулятор представляет собой модулятор, в котором дополнительное периодическое воздействие соответствует несущей частоте, а внешнее воздействие (управляющий сигнал) - модулирующему сигналу [8Б, 15Б]. Отсюда вытекает соотношение между частотой модулирующего сигнала и несущей, при которой процесс модуляции будет осуществлен без существенных искажений. Поэтому, значение постоянной времени обратной связи целесообразно выбрать $T_{su2}=T_{\mu}$, что также обеспечит компенсацию колебательности, вносимую в контур АИ. Тогда передаточная функция (Б.12) преобразуется к виду

$$W_{RRI2}(s)=\frac{k_{RRI2}}{T_d s+1}, \tag{Б.13}$$

где $k_{RRI2}=\dfrac{1}{R_d}\cdot\dfrac{k_{\mu}}{k_{su2}}$ - коэффициент усиления в прямом канале.

С учетом (Б.13), передаточную функцию замкнутого канала регулирования I_{s2} можно записать как

$$W_{CI2DTC}(s)=\frac{W_{RRI2DTC}(s)}{1+k_{fbc}W_{RRI2DTC}(s)}=\frac{k_{RRI2}}{T_d s+k_{CI2DTC}}, \tag{Б.14}$$

где $k_{CI2DNC}=1+k_{RRI2}k_{fbc}$.

Линеаризация двухпозиционного релейного регулятора в канале регулирования I_{s1} производится аналогичным способом, путем его охвата отрицательной обратной связью с передаточной функцией $W_{su1}(s)=k_{su1}/(T_{su1}s+1)$. Передаточные функции замкнутого контура регулирования составляющей тока статора

I_{s2} и линеаризованного двухпозиционного регулятора будут иметь следующий вид

$$W_{CI1DTC} = \frac{k_{RRI1}}{T_d s + k_{CI1DTC}}, \qquad (Б.15)$$

$$W_{RI1DTC}(s) = \approx \frac{1}{k_{su1}}(T_{su1} s + 1), \qquad (Б.16)$$

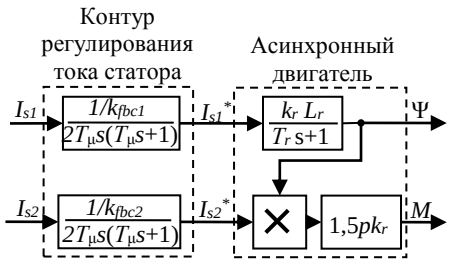
где $k_{CI1DTC} = 1 + k_{RRI1} k_{fbc}$.

Сравнение результирующих структур контуров регулирования тока статора в асинхронных электроприводах с использованием различных алгоритмов управления

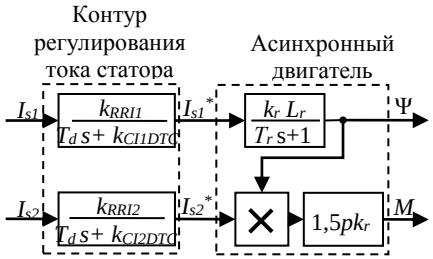
На рис.Б8 приведены структурные схемы каналов регулирования составляющих тока статора.

Как видно из структурных схем на рис.Б8 и выражений передаточных функций (Б.7-Б.8) (Б.13-Б.16) система DTC может обеспечить более высокое быстродействие в контуре тока, чем векторная система управления, т.к. порядок передаточной функции контуров регулирования составляющих токов системы DTC ниже, чем порядок передаточных функции контуров регулирования составляющих токов векторной системы.

При анализе быстродействия различных систем управления необходимо учитывать влияние на длительность переходных процессов структуры вычислителя ненаблюдаемых координат и таблицы переключений.



а) с векторной САУ



б) с САУ DTC

Рис.Б8. Структуры контуров регулирования тока статора

Список литературы ПРИЛОЖЕНИЯ Б:

1Б. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 – 94 с.

2Б. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО «Ивановский гос. энерг. ун-т им. В.И.Ленина». Иваново, 2008 – 298 с.

3Б. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1987 – 136 с.

4Б. Козярук А.Е. Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. СПб.: СПЭК, 2004 – 127с.

5Б. Floter W., Ripperger H. Die trans-vector-regelung fun den feldorientierten betrieb einer asynchron-maschinen // Siemens-Zeitschrift, 1971, № 45 (10).

6Б. Blaschke F., Ripperger H., Steinkönig H. Regelung umrichtergespeister asynchronmaschinen mit eingeprägtem ständerstrom // Siemens-Zeitschrift, 1968, № 42 (9).

7Б. Иванов Б.А. Системы управления электроприводами (теория и курсовое проектирование). Ухта: УИИ, 1997 – 107 с.

8Б. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. Спб.; Профессия, 2003 – 752 с.

9Б. Takahashi I., Noguchi T. A new quick-response and high efficiency control strategy of an induction motor. IEEE trans. ind. appl. 1986, № 22 (5).

10Б. Козярук А.Е. Рудаков В.В. Прямое управление моментом в электроприводе переменного тока машин и механизмов горного производства. СПб.: 2008 – 99 с.

11Б. Козярук А.Е., Васильев Б.Ю. Структура, состав и алгоритмы управления высокоэффективных электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Электротехника, 2013, №2.

12Б. Васильев Б.Ю. Мехатронные перекачивающие комплексы на основе регулируемых электроприводов для подводного компремирования и транспортировки природного газа // Мехатроника, автоматизация, управление, 2013, №3.

13Б. Васильев Б.Ю., Козярук А.Е. Повышение эффективности асинхронных электроприводов с прямым управлением моментом // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика», 2013, Т 13,

№2.

14Б. Пугачев В.С. Теория автоматического управления. М.: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1967 – 680 с.

15Б. Борцов Ю.А., Юнгер И.Б. Автоматические системы с разрывным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1986 – 168 с.

16Б. Чаки Ф. Современная теория управления: нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М.: Мир, 1975 – 427 с.

17Б. Цыпкин Я.З. Релейные автоматические системы. М.: Наука, 1974 – 575 с.

18Б. Уткин В.И. Скользящие режимы и их применения в системах с переменной структурой. М.: Наука, 1974 – 272 с.

19Б. Панкратов, В.В., Нос О.В. Специальные разделы теории автоматического управления. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005 – 104 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение …….. 3
1. ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ……... 5
1.1. Общая классификация электроприводов с преобразователями частоты ……... 5
1.2. Электротехническая система перемещения и динамического позиционирования буровой платформы …… 9
1.3. Электропривод движителей плавучего добывающего комплекса корабельного типа ……. 13
1.4. Электроприводные агрегаты для транспортировки углеводородов по континентальным трубопроводам ……... 16
1.5. Подводные электроприводные комплексы для транспортировки углеводородов по шельфовым трубопроводам ……. 23
1.6. Электропривод механизмов экскаваторно-транспортного комплекса (карьерных экскаваторов и самосвалов) …… 26
1.7. Электропривод механизмов забойных горных машин (проходческих и очистных комбайнов) ……... 31
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ …… 35
2.1. Структура библиотек MatLab Simulink и SimPowerSystems ……... 35
2.2. Имитационные модели библиотеки MatLab SimPowerSystems (стандартные блоки силовых элементов) …… 36
2.3. Имитационные модели полупроводниковых выпрямителей (неуправляемых и управляемых) …….. 42
2.4. Имитационные модели полупроводниковых автономных инверторов …….. 67
2.5.Структура блоков управления полупроводниковыми преобразователями …….. 77

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ …… 89
3.1. Двухтрансформаторный преобразователь частоты с низковольтными коммутаторами ……... 89
3.2. Преобразователь частоты с 12-пульсным выпрямителем и трехуровневым инвертором ……... 96
3.3. Преобразователь частоты с трехуровневым активным выпрямителем и трехуровневым автономным инвертором …… 103
3.4. Преобразователь частоты с параллельным включением автономных инверторов и активным выпрямителем …….. 110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……... 116
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ...…….. 117
Приложение А 120
Приложение Б 126

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Богдан Юрьевич

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА
(применение, моделирование, исследование)

Учебное пособие

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный»
Адрес университета и РИЦ: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

140

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация №3
Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…6

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

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 знании 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 лекций, 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 - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов 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 «Эксплуатация и ремонт геологоразведочного оборудования» обращают 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 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 «Эксплуатация и ремонт геологоразведочного оборудования» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

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

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема1. ***Организация ремонта машин.***

1. Какие системы ремонта машин находят применение на ремонтных предприятиях горной отрасли*?*

2. Какие методы ремонта машин Вы знаете*?*

3.Какие стратегии ремонта оборудования применяются на горнодобывающих предприятиях?

4.Основные элементы системы ППР?

5. Структура ремонтного цикла и формы ее представления.?

6.Существующая система планирования ремонтных работ в горном производстве?

7. Методика расчета графика ППР на планируемый период.

8.Определение трудоемкости ремонтных работ на годовую программу?

9.Расчет штатов ремонтного персонала на парк оборудования?

10. Пути совершенствования системы ППР на ремонтных базах и в полевых условиях.

Тема 2. Подготовка ремонтных работ.

1. В чем заключается организационная подготовка ремонта?

2.Что включает в себя конструкторская подготовка ремонтных работ?

3.Из чего состоит технологическая подготовка ремонта горного оборудования?

4.Построение линейных графиков ремонта.

5.Кем разрабатываются сетевые графики ремонта машин?

6. Что включают в себя и что дают ремонтному производству сетевые графики ремонта?

7. Какое оборудование подлежит ремонту с использованием сетевых графиков ремонта?

6. Что характеризует критический путь на сетевом графике?

7.Назовите основные эксплуатационные документы, применяемые для горного оборудования?

8.Руководящие материалы, входящие в состав ремонтной документации?

9.В чем состоит отличие ремонтного чертежа от конструкторского?

10. Какие технологические карты на изготовление и восстановление деталей Вы знаете?

Тема 3. ***Дефектация и дефектоскопия*****.**

1.Назовите формы проявления неработоспособности горных машин.
2.Какие методы контроля дефектов деталей Вы знаете?
3.Перечислите основные средства контроля размеров, формы и взаимного расположения деталей горного оборудования?
4.Сущность дефектации и сортировки деталей.
5.Классификация дефектов деталей.
6.Назовите показатели, характеризующие результаты сортировки деталей по группам годности.
7. Назовите методы обнаружения скрытых дефектов деталей, применяемые в ремонтном производстве.
8.Допустимый и предельный износ.
9.Признаки выбраковки деталей.
10. Меры по предупреждению разрушения деталей горных машин.

Тема 4. Технология ремонта типовых деталей.

1.Классификация и общая характеристика способов восстановления деталей машин.
2.Выбор способа восстановления деталей по технологическому, долговечностному и технико-экономическому критерию.
3.Разработка технологии ремонта валов и осей.
4.Ремонт втулок, подшипников скольжения и качения.
5.Основные дефекты корпусных деталей и их ремонт.
6.Расчет режимов восстановления изношенных поверхностей.
7.Расчет режимов механической обработки восстановленных поверхностей.
8. Каким образом осуществляется прогнозирование технического состояния машин?
9. Какое влияние оказывает режим работы и условия эксплуатации на интенсивность изнашивания?
10.Основные закономерности изнашивания деталей машин

Тема 5. Приемка машин после ремонта.

1. Особенности сборки машин после ремонта.
2. Проверка качества сборки и обкатка узлов промышленного оборудования на испытательных стендах.
3.Испытания машин после ремонта в условиях ремонтного предприятия.
4. Порядок проведения работ по приемке оборудования из ремонта.
5.Заполнение паспорта оборудования.
6. Сдача отремонтированных машин заказчику.
7. Состав приемной комиссии.
8. Испытания машин после ремонта в условиях эксплуатации.

9. Сдача отремонтированных машин заказчику.
10. Оформление акта приемки.

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 доскональное 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 К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его

проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на 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 К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа – это письменная работа, выполняемая студентами самостоятельно, преимущественно по общим математическим и естественнонаучным, а также специальным дисциплинам, в которой, как правило, решаются конкретные задачи.

Цель контрольной работы – оценка качества усвоения студентами отдельных, наиболее важных разделов, тем и проблем изучаемой дисциплины, умения решать конкретные теоретические и практические задачи.

Контрольная работа, как правило, имеет аналитическую или описательную части, может решать проблемные ситуации путем проведения численного моделирования или расчетов, в том числе с использованием ПК. По типу они могут иметь характер задач, расчётов, алгоритмов, программ и т.п.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно в соответствие с учебным планом.

Структура контрольной работы зависит от специфики изучаемой дисциплины. В общем виде контрольная работа должна содержать: титульный лист, введение, основную часть и заключение.

Во введении приводится формулировка контрольного задания, кратко излагается цель контрольной работы, место и роль рассматриваемого вопроса (проблемы) в изучаемой учебной дисциплине.

Основная часть контрольной работы должна, как правило, содержать основные определения, обоснования и доказательства, описание методики расчёта (формулы), а также иметь ссылки на используемые источники информации. Материал работы и ее отдельные положения должны быть взаимосвязаны. Основная часть может также включать анализ теории вопроса по теме контрольной работы. Здесь же приводятся исходные данные и значения параметров в соответствии с заданием на контрольную работу. После этого излагается ход рассуждений, описывается последовательность расчётов, приводятся промежуточные доказательства и результаты решения всей поставленной задачи.

В заключении формулируются краткие выводы по выполненной контрольной работе, а в её конце приводится список использованных источников информации.

Контрольные работы обучающихся выполняются согласно учебному графику и сдаются преподавателю за месяц до защиты контрольной работы. Преподаватель делает отметку о приеме работы в графике сдачи контрольных работ.

Ведущий преподаватель после проверки на титульном листе ставит оценку («зачтено» или «не зачтено») и подписывается. Выявленные в ходе проверки преподавателем замечания фиксируются на полях работы. Контрольные работы, выполненные с нарушением установленных требований, а также их ксерокопии к рассмотрению не принимаются.

Типичными ошибками, допускаемыми обучающихся при подготовке контрольной работы, являются:

– содержание работы не соответствует цели и поставленным задачам контрольной работы;

– нарушение требований к оформлению контрольной работы;

– использование информации без ссылок на источник;

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине *«*Эксплуатация и ремонт геологоразведочного оборудования*»* 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 *«*Эксплуатация и ремонт геологоразведочного оборудования*»*.

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.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Л. И. Кралина, Г. А. Усов, Ф. П. Сердюков

Методическое пособие к комплексу практических занятий по дисциплине «Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ» для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки Очного и заочного обучения

Часть 1
Исследование процессов разрушения и физико-механических свойств горных пород

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……

1. Исследование свойств горных пород методом вдавливания

Лабораторная работа № 1. Исследование деформационных свойств горных пород и энергоемкости их разрушения……

Лабораторная работа № 2. Исследование явления скачкообразности процесса разрушения горных пород……

Лабораторная работа № 3. Исследование влияния микротвердости и структуры кристаллитов и минералов, слагающих горную породу, на абразивные свойства породы……

2. Исследование механических свойств горных пород при статических и динамических нагрузках

Лабораторная работа № 1. Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии……

Лабораторная работа № 2. Исследование процесса разрушения горных, пород при воздействии динамических нагрузок……

Лабораторная работа № 3. Определение дробимости горных пород……

3. Исследование дисперсных сред

Лабораторная работа № 1. Исследование закономерностей изменения удельной поверхности порошков при диспергировании горных пород……. ……

Лабораторная работа № 2. Исследование влияния среды на процесс разрушения и диспергирования горных пород…….....

4. Комплексное исследование свойств и процессов разрушения горных пород

Лабораторная работа № 1. Определение физико-механических параметров скальных горных пород……

Лабораторная работа № 2. Определение упругих свойств горных пород……

Лабораторная работа №3. Определение энергоемкости процесса распиловки горных пород алмазным диском……..
Лабораторная работа № 4. Исследование акустического спектра резания горной породы алмазным диском…….....
Литература…….....

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое пособие предназначено для выполнения практических занятий по профилирующим дисциплинам для студентов специальности 21.05.03 специализация № 3 Технология и техника разведки МПИ. Предложенные в методическом пособии практические занятия выполняются с целью закрепления теоретических знаний, приобретения практических навыков в выполнении работ лабораторного характера, в том числе с элементами НИРС, расчетов, необходимых при изучении студентами профилирующих дисциплин, курсовом и дипломном проектировании. При выполнении работ используются справочные материалы, которые приведены в приложении. Большинство работ рассчитано на выполнение и оформление непосредственно на занятиях. Если работа не закончена, то с разрешения преподавателя она может быть оформлена и сдана к следующему занятию.

Структурно, в зависимости от теоретического характера лабораторных исследований, методическое пособие представлено в трех частях:

часть 1 - Исследование процессов разрушения и физико-механических свойств горных пород;

часть 2 - Исследование буровых промывочных жидкостей и тампонажных растворов;

часть 3 - Методика обработки результатов исследования при выполнении лабораторных работ и справочные материалы.

Список литературы, использованной при написании методического пособия, приведен в конце каждой части.

В подготовке материалов по комплексному исследованию свойств и процессов разрушения горных пород (часть 1) принимал участие студент Сазонов М. В.

Объем данных работ рассчитан, в основном, на 2-4 часа, реже - на 6-8 часов в случае проведения студентами

комплексных исследований повышенной сложности и детальности.

Полученные результаты лабораторных исследований оформляются студентами в виде отчета, содержащего следующие данные и разделы:

1. Полное наименование работы.
2. Состав исполнителей.
3. Руководитель работы.
4. Задание, дата.
5. Исходные данные.
6. Порядок выполнения работы.
7. Выводы и рекомендации по результатам исследований.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ВДАВЛИВАНИЯ

Лабораторная работа № 1. Исследование деформационных свойств горных пород и энергоемкости их разрушения

Целью работы является исследование деформационных свойств горных пород и энергоемкости их разрушения при воздействии на породы высоких механических полей.

Задача работы состоит в определении механических свойств горных пород методом вдавливания штампа, в проведении расчетов параметров деформационных свойств и энергоемкости разрушения пород, а также в технико-технологической оценке результатов лабораторных исследований

При выполнении настоящей лабораторной работы студенты знакомятся с методикой определения показателей механических свойств горных пород методом вдавливания штампа на установке УМГП-3, проводят испытания образцов горной породы и обрабатывают полученные при испытаниях графики "нагрузка-деформация" [1, 2].

Полученные результаты лабораторных исследований являются основой для расчетов показателей твердости, упругости, пластичности и энергоемкости разрушения горных пород при разной степени деформирования. В конце оформления отчета по данной лабораторной работе дается практическая оценка полученных результатов лабораторных исследований применительно к различным технологическим процессам горного производства, сопровождающимся деформацией и разрушением горных пород.

Содержание работы

Исходные материалы: цилиндрические образцы горных пород (керна) высотой 30-50 мм и диаметром 40-60 мм. Лабораторная работа выполняется группой (бригадой) по 3-4 человека в течение 2-х часов. Перед началом выполнения лабораторной работы руководитель выдает каждой группе (бригаде) образцы исследуемых горных пород, решает вопрос о количестве исследуемых образцов. Причем лабораторная работа, выполняемая каждой группой студентов по отдельности, может являться частью целого комплекса исследований физико-механических свойств. В данном случае результаты лабораторных исследований объединяются вместе и подвергаются анализу в их совокупности.

В процессе выполнения лабораторной работы студенты проводят определение показателей механических свойств горных пород методом вдавливания штампа (рис. 1).

Метод вдавливания цилиндрического штампа с плоским основанием в специально приготовленную плоскую поверхность цилиндрического образца (керна) горной породы высотой 30-40 мм и диаметром 40-60 мм является основным методом для получения количественных характеристик механических свойств горных пород, разрушаемых при бурении скважин.

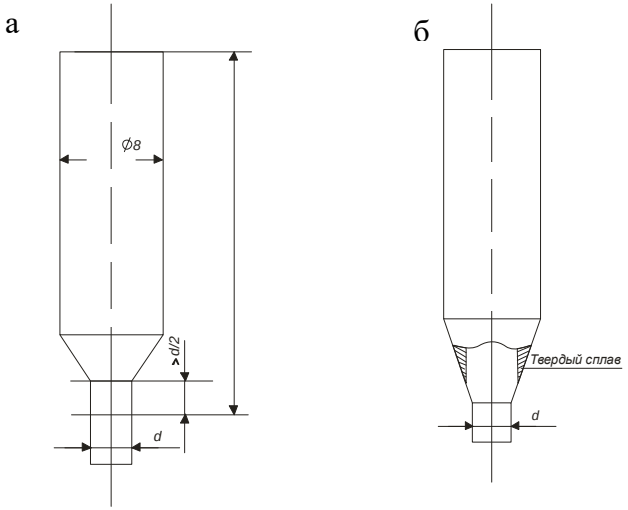


Рис. 1. Виды цилиндрических штампов:

(а - для пониженной твердости горных пород, б - для твердых горных пород)

При вдавливании в твердые горные породы (твердость 3000 МПа) применяются твердосплавные цилиндрические штампы, при меньшей твердости - штампы из закаленной стали. При испытании плотных и однородно пористых пород можно использовать штампы площадью 2 мм^2, а для пород с величиной зерна больше 0,25 мм лучше использовать штампы площадью 3 мм^2. Для сильно пористых и малопрочных пород необходимы штампы с площадью основания 5 мм^2 и более. Эти площади соответствуют притуплению зубьев шарошечных долот. Подготовка установки УМГП-3 к проведению испытаний и испытание ведется аналогично тому, как описано в лабораторной работе 2, за исключением того, что после получения скачка разрушения горной породы (для хрупких, например, гранита и пластично-хрупких пород, например, мрамора) выключается двигатель кнопкой "стоп-нагрузка",

а двигатель записи деформации оставляется включенным до остановки барабана.

Полученные результаты испытаний на установке УМГП-3 обрабатывают следующим образом.

Все горные породы по характеру поведения при вдавливании штампа делятся на три класса: I – хрупкие, II – пластичнохрупкие, III – высокопластичные и сильно пористые. Каждому классу пород соответствуют характерные графики "нагрузка-глубина вдавливания" (рис. 2).

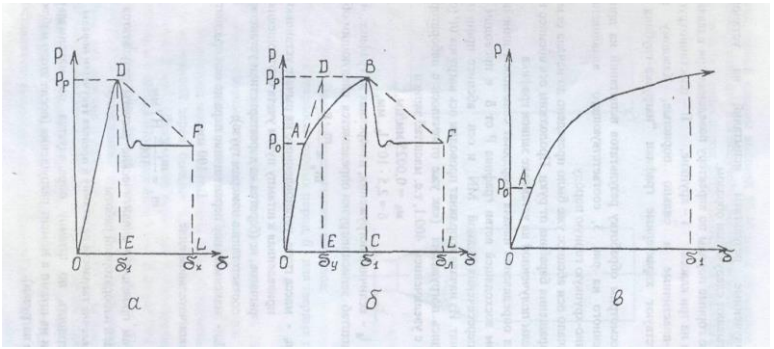


Рис. 2. График «Нагрузка-глубина вдавливания»

Рассмотрим обработку результатов испытаний на примере графика, приведенного на рис. 3, соответствующего вдавливанию штампа в пластично-хрупкую горную породу.

Начало оси абсцисс уже было проведено до начала опыта, когда P=0, путем вращения барабана от руки. Продолжим ось абсцисс: на 1-2 см далее за пределы полученной на установке записи графика.

Для определения начала координат совмещаем линейку с линейным участком восходящей ветви графика P от δ и проводим прямую MN. Точку пересечения прямой MN и оси абсцисс принимаем за начало координат. Из начала координат проводим ось нагрузок OP (ось ординат).

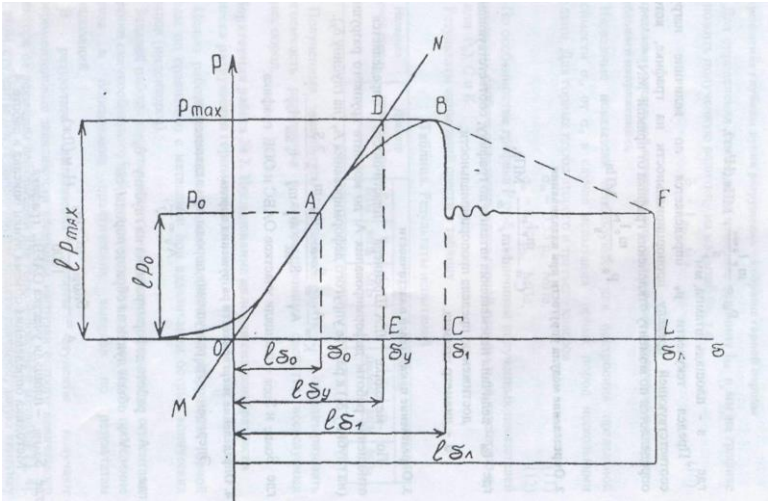


Рис.3. Обработка графика Р от δ при вдавливании штампа.

Запись погружения (как уже отмечалось в лабораторной работе 2) ведется с увеличением 400:1, т.е. масштаб записи

$$M_{\delta} = 0{,}0025 \text{ мм/мм},$$

$$\delta = 2{,}5\times10^{-3}\, l_{\text{g}}, \text{ мм}, \qquad (1)$$

где l_{g} - величина погружения, измеренная на графике, мм.

Масштаб записи нагрузки определяется следующим образом:

$$m_p = \frac{m_i \cdot g}{L} \qquad (2)$$

где m_i - масса груза, установленного на рычаге установки, приведенная к штампу путем учета соотношения плеч рычагов, кг (берется из характеристики установки в соответствии с номером груза);

L - максимальное перемещение пера по оси ординат:

$$L = 100\text{мм}.$$

В окончательном виде

$$m_p = \frac{m_i \cdot g}{100}, \text{ Н/мм;}$$

Затем проводятся аналитические расчеты результатов исследований настоящей лабораторной работы.

1. Определение твердости по штампу и предела текучести породы

Твердость по штампу определяется по максимальной величине нагрузки на штамп в момент разрушения (после этого наблюдается резкое падение нагрузки):

$$P_{\text{ш}} = \frac{m_p l_{\text{pmax}}}{S}, \text{ МПа (Н/мг),} \qquad (4)$$

где S - площадь штампа, мм^2.

Предел текучести p_0 определяется по величине нагрузки, соответствующей пределу пропорциональности на графике, который определяется по моменту отклонения графика от прямой MN.

$$P_0 = \frac{m_p l_{\text{p0}}}{S}, \text{ МПа} \qquad (5)$$

2. Определение модуля упругости при вдавливании

$$C = \frac{m_{\text{p}} l_{\text{p0}}}{d m_{\delta} l_{\delta 0}}, \text{ МПа,} \qquad (6)$$

где $l_{\delta 0}$ - величина перемещения штампа по графику, соответствующая достижению предела пропорциональности;

d - диаметр штампа.

3. Определение показателей пластичности

По методике Л. А. Шрейнера пластичность определяется как отношение работы деформирования A_1 до момента хрупкого разрушения (на глубину 6) к работе упругого деформирования A_2 (на глубину δ_y).

$$K = \frac{A_1}{A_y} = \frac{S_{OABC} \cdot m_p \cdot m_\delta}{S_{ODE} \cdot m_p \cdot m_\delta} = \frac{2S_{OABC}}{l_{p\max} \cdot l_{\delta y}}, \quad (7)$$

где S_{OABC} и S_{ODE} - площади участков OABC и ODE графика.

4. Определение энергоемкости разрушения породы

Энергоемкость разрушения породы при вдавливании

$$A_v = \frac{A}{V}, \quad (8)$$

где A - работа деформирования на глубину $\delta_л$;
V - объем лунки на образце породы, $см^3$.

$$A = \frac{S_{OAFBL} \cdot m_p \cdot m_\delta}{1000}, \text{ Н·м (Дж)}, \quad (9)$$

где S_{OAFBL} - площади участка OAFBL графика.

Методика определения объема лунки описана в работе 4.

5. Определение глубины лунки разрушения на образце горной породы

Для определения необходимо измерить величину $l_{\delta л}$ в мм на графике и умножить полученную величину на масштаб m_δ, т.е.

$$\delta_л = l_{\delta л}, \text{ мм}. \quad (10)$$

6. Определение предельной интенсивности касательных напряжений и среднего нормального напряжения σ_0.

Названные показатели используются для построения предельной зависимости σ_{is} от σ_0 в случае испытания горных пород несколькими методами. Для горных пород второго и третьего классов

$$\sigma_{is} = 0{,}55\ p_0, \quad \text{МПа}, \tag{11}$$

$$\sigma_0 = 0{,}50\ p_0, \quad \text{МПа}, \tag{12}$$

По особенностям графика Р от δ и величинам полученных показателей механических свойств определить класс горной породы и ее категорию по $P_ш$ (или P_0), С и К.

Результаты испытаний свести в таблицу.

Таблица

Результаты испытаний

Название горной породы	Диаметр штампа d, мм	Расчетные показатели						
		$P_ш$, МПа	P_0, МПа	C_1, МПа	К	A_v, Дж/см^3	σ_{is}, МПа	σ_0, МПа

Полученные результаты проанализировать и охарактеризовать энергоемкость разрушения и деформационные свойства исследуемых горных пород.

Лабораторная работа № 2. Исследование явления скачкообразности процесса разрушения горных пород

Целью работы является изучение особенностей разрушения горной породы по сравнению с металлами при вдавливании острых конических штампов (инденторов).

Задачей работы является экспериментальное исследование студентами кинетики скачкообразного процесса разрушения горных пород, проведение анализа и

обоснование практических выводов по результатам исследований.

В результате выполнения работы студенты получают экспериментальные зависимости величины нагрузки острого конического индентора от величины деформации для горной породы и металлов [3, 4]. При этом студенты могут лично пронаблюдать скачкообразную кинетику процесса разрушения горной породы, в отличие от процесса разрушения металла, и сделать соответствующие практические выводы. Полученные в ходе лабораторных исследований диаграммные бланки на установке УМГП-3 студентами обрабатываются, строятся графики "нагрузка-деформация" как для образцов горной породы, так и для образцов металла, даются рекомендации по повышению эффективности разрушения горных пород и технологии работы породоразрушающих инструментов.

Содержание работы

Исходные материалы: образцы горной породы в форме цилиндров (например, размером 50×50 мм) со шлифованной торцевой поверхностью и пластинки металла (железо, медь, бронза и др.) размером порядка 30×30×5 со шлифованной испытуемой поверхностью. Лабораторная работа выполняется группой студентов по 3-4 человека в течение 2-х часов. Основная часть лабораторных исследований проводится на установке УМГП-3 (рис. 4, 5).

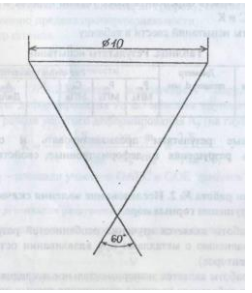


Рис. 4. Острый конус индентора

Устройство установки

Установка УМГП-3 предназначена для изучения по графику деформации механических свойств горных пород и самого процесса разрушения при вдавливании острого конуса и цилиндрического штампа с плоским основанием площадью от 1 до 5 мм^2 [2].

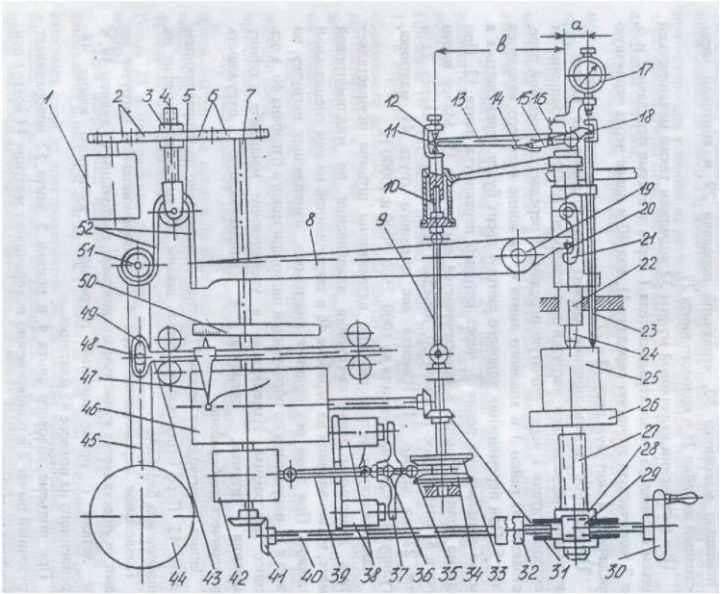


Рис. 5. Схема установки УМГП-3

Установка состоит из четырех частей:

1) подвижного столика, 2) нагрузочного приспособления, 3) устройства для визуального измерения глубины внедрения индентора, 4) устройства для записи диаграммы нагрузка-глубина внедрения при вдавливании инденторов.

Подвижный столик 26 служит для установки вертикального перемещения образца 25 до соприкосновения со штампом 24 и штоком 22 нагрузочного

приспособления. Это перемещение осуществляется вручную с помощью маховичка 30, червячной передачи 29 и винтовой пары, состоящей из гайки 28 и ходового винта 27.

При включении кулачковой муфты 32 возможен также механический подъем столика 26 от электродвигателя 1 через зубчатые передачи 2 и 6, вал 7, коническую зубчатую передачу 41, вал 40 и далее через червячную передачу 29 и винтовую пару 28 и 27.

Нагрузочное приспособление служит для создания на штамп 24 равномерно нарастающей нагрузки предельно до 10000 Н. Вращение от электродвигателя 1 через зубчатую передачу 2 передается винтовой паре, состоящей из гайки 3 и ходового винта 4, на конце которого находится ролик 5. При перемещении ходового винта 4 вверх будет перемещаться в том же направлении ролик 5, через который перекинута лента 52. При подъеме ролика 5 рычаг 8 поворачивается вокруг оси 19. Малое плечо рычага 8, снабженное призмой 20, передает усилие через траверсу 21 и шток 22 на штамп 24. Изменяя вес сменного груза 44 маятника, регулируют предел нагружения до 1000, 2500, 5000 и 10000 Н.

Записывающее устройство при вдавливании штампа осуществляет запись диаграммы нагрузка-глубина вдавливания на миллиметровой бумаге, установленной на барабане 46 и закрепленной на нем специальной защелкой. При этом ось ординат диаграммы, измеряющая нагрузку на штамп в Н, направлена по образующей цилиндрического барабана 46, а ось абсцисс диаграммы. Измеряющая в увеличенном масштабе глубину внедрения штампа, свернута в направляющую окружность цилиндрического барабана.

Запись производится пером 47, которое закреплено на направляющем стержне 43. Перо перемещается вдоль шкалы 50, вычерчивая график на вращающемся барабане.

Продольное перемещение пера 47, пропорциональное нагрузке на штамп, осуществляется кулисным механизмом, состоящим из кулисы 49, в виде детали с прямолинейной прорезью и кулисного камня 48, закрепленного на подвесе 45 маятника.

При подъеме ходового винта 4 и ролика 5 лента 52 поворачивает нагрузочный рычаг 8 и одновременно поворачивает маятник 44 вокруг оси 51 качания маятника.

Поворот подвеса 45 маятника 44 через кулисный выпрямляющий механизм превращается в поступательное движение направляющего стержня 43 и пера 47.

Глубина внедрения штампа 24 передается от верхней головки удлинителя 23 через рычаг, состоящий из двух деталей 15 и 13, имеющих общую ось вращения 18 и связанных между собой плоской пружиной 14. Пружина 16 прижимает правое малое плечо рычага, образуемое деталью 15, к верхней головке удлинителя 23. На левом конце большого плеча, образуемого деталью 13, имеется контактная пластинка 11, которая может контактировать с одним из двух контактов подвижной головки 12, замыкая электромагнитную цепь электромагнитной реверсивной муфты механизма следящей системы.

При быстром перемещении штампа в момент разрушения под ним породы левое плечо рычага 13 опирается о верхний контакт головки 12, а правое плечо поворачивается вокруг оси 18, натягивая пружину 14.

Поворот подвеса 45 маятника 44 через кулисный выпрямляющий механизм превращается в поступательное движение направляющего стержня 43 и пера 47.

Глубина внедрения штампа 24 передается от верхней головки удлинителя 23 через рычаг, состоящий из двух деталей 15 и 13, имеющих общую ось вращения 18 и связанных между собой плоской пружиной 14. Пружина 16 прижимает правое малое плечо рычага, образуемое деталью 15, к верхней головке удлинителя 23. На левом конце большого плеча, образуемого деталью 13, имеется

контактная пластинка 11, которая может контактировать с одним из двух контактов подвижной головки 12, замыкая электромагнитную цепь электромагнитной реверсивной муфты механизма следящей системы.

При быстром перемещении штампа в момент разрушения под ним породы левое плечо рычага 13 опирается о верхний контакт головки 12, а правое плечо поворачивается вокруг оси 18, натягивая пружину 14.

Это предохраняет рычаг от поломки. Механизм следящей системы предназначен для проворота барабана на угол прямо пропорциональный внедрению штампа. Электродвигатель 42 непрерывно вращает фрикционный конический ролик 35 электромагнитной реверсивной муфты Ролик 35 в нейтральном положении не касается конусов 33 и 34 этой муфты.

При нагружении штампа 24 контактная пластинка 11 рычага 13 замыкается с нижним контактом головки 12. При этом электрическая цепь включает один из электромагнитов 38, задающих направление вращению барабана 46. Рычаг 13 имеет отношение плеч а:в=1:25. Передаточные числа шестерен конической передачи 31 и диаметр барабана 46 подобраны таким образом, что пир перемещении головки 12 на I мм окружность барабана перемещается на 16 мм. Следовательно, окружность барабана 46 перемещается на величину в 25×16 = 400 раз большую, чем перемещение штампа 24 при его внедрении в образец 25. Поэтому один мм записи деформации на бланке соответствует 2,5 мкм реального перемет штампа. Это необходимо знать при расшифровке диаграмм записи «нагрузка-деформация».

При нагрузке штампа контактная пластина 11 замыкается с верхним контактом головки 12, электрическая цепь включает другой электромагнит 38, срабатывает рычаг 37 с якорем, поворачиваясь вокруг оси 36, ролик 3 прижимается к конусу 33 фрикционной муфты, карданный вал 9 начинает вращаться в обратном направлении, ходовой винт 10 вывинчивается из гайки головки 12, и эта головка

поднимается вверх в исходное положение до отрыва пластинки 11 от верхнего контакта головки 12.

Подготовка установки УМГП-3 к работе

1. На барабан установить диаграммный бланк. Для этого открыть замок барабана (защелка на оси барабана), снять барабан с вала, открыть защелку на барабане, установить диаграммный бланк и закрыть защелку на барабане. Установить барабан на вал, закрыть замок.
2. Прочистить перо и заправить его чернилами,
3. Установить требуемое (по заданию) число грузов на рычаг. С этой целью отвернуть гайку с рычага и снять или добавить грузы, закрепить гайку (при пределе измерений свыше 0-1000 Н малый груз не снимается).
4. На поверхность штока установки установить штамп, предварительно измерив с помощью микрометра его диаметр. Торцевую поверхность штампа, прикладываемую к штоку установки, смазать машинным маслом.
5. Установить выбранный образец на столик прибора.
6. Включить вилку прибора в сеть.
7. Включить тумблер "сеть" прибора. При включении тумблера "сеть" загорается сигнальная лампочка на панели прибора.
8. Штурвалом 30 подвести образец породы в соприкосновение со штампом. Соприкосновение штампа с образцом породы считается правильным, если перо прибора не сдвинулось по образующей (нет предварительного нагружения штампа вручную) и горит лампочка "деформация-увеличение". Регулировка длины ножки индикатора деформации производится специальными гайками, устанавливаемыми на обоих концах ножки индикатора Регулировку вести очень плавно с тем, чтобы четко настроить ножку индикатора на момент включения "Деформация – увеличение" сразу

после сигнала "Деформация-увеличение". Оба этих сигнала контролируются загоранием сигнальных лампочек и слабыми щелчками (включение электромагнитов).

9. Осторожно опустить перо на бланк на барабане и плавным движением барабана дать направление (прочертить) нулевой линии длиной 5-6 см.

Проведение опыта

Одновременным нажатием кнопок "нагрузка" и "деформация" включаются оба электродвигателя. Вдавливание конических штампов в горную породу производится до получения нескольких скачков разрушения или до полного выбора деформации (предел измерения деформации составляет 750 мкм - один оборот барабана), в металле - до ? оборота барабана. Кнопками "стоп" выключают электродвигатели. Включается кнопка "разгрузка". Разгрузка производится до нулевой линии (электродвигатель выключается конечным микровыключателем автоматически). Разгрузку можно производить и вручную (быстрее), для чего штурвал вывести из зацепления в зубчатой муфте и вращением против часовой стрелки, следя за пером, доводят нагрузку до нуля.

При малой нагрузке вращение вести медленно, чтобы не пропустить щелчка микровыключателя, в противном случае будет поломка микровыключателя. После разгрузки установки штурвалом отвести столик прибора с образцом и включить кнопку электродвигателя "деформация", электродвигатель оставлять включенным до полной остановки барабана (барабан вращается в обратную сторону). При пропуске этой операции в следующем опыте деформация записываться не будет.

После опыта диаграммный бланк снимается с барабана.

Техника безопасности при работе на установке УМГП-3

1. К работе на установке УМГП-3 студенты допускаются только после проверки знаний по правилам работы на установке.

2. Установка УМГП-3 работает от электросети напряжением 380 в. Перед началом работы необходимо убедиться в надлежащем заземлении.

3. Изучение устройства установки вести только после отключения прибора от сети.

После окончания экспериментальных исследований студенты должны на диаграммном бланке записать дату испытания, материал образца (порода или металл) и построить ось нагрузки (ось ординат) и ось деформации (ось абсцисс). Начало координат находится путем совмещения линейки с линейным участком первой восходящей ветви графика нагрузка-деформация и проведения прямой, пересекающей нулевую линию. Из начала координат провести ось нагрузки. По резкому падению нагрузки при вдавливании конуса в породу выделить на графике "нагрузка - глубина вдавливания" первый, второй и третий скачки разрушения. Описать качественное отличие в разрушении металла и горной породы. Сделать выводы и рекомендации по выполненной работе.

Лабораторная работа № 3. Исследование влияния микротвердости и структуры кристаллитов и минералов, слагающих горную породу, на абразивные свойства породы

Цель работы - исследования степени влияния микротвердости размеров и формы составных элементов горной породы (минералов, кристаллитов, цементов, и т.п.) на абразивные свойства горных пород.

Задача работы состоит в определении микротвердости составных элементов горной породы,

определении ее абразивных свойств и определении взаимосвязи между параметрами микротвердости горной породы и ее абразивными свойствами.

В процессе выполнения работы студенты занимаются изучением методики определения микротвердости минералов на приборе ПМТ-3 и методики определения абразивности по методу Барона [5]. Затем производится подготовка проб в соответствии с требованиями вышеуказанных методов и сами лабораторные исследования. По результатам лабораторных данных строятся графики: $A = f\left(\frac{H_{м,\max}}{H_{м,\min}}\right)$ и $A = f\left(H_{м,\max}\right)$ [1, 6]. Дается анализ полученных лабораторных данных и их влияния на эффективность разрушения горных пород породоразрушающим инструментом (алмазным, твердосплавным и др.).

Содержание работы

Исходные материалы: шлифовальные образцы горных пород, вдавленные в кристаллы на предметном стекле и шлифовальные образцы в виде дисков (керна) высотой 25-40 мм. Количество образцов определяется руководителем. Лабораторная работа выполняется группой студентов в количестве 3-4 человек и рассчитывается на 4 часа: 2 часа - на изучение методик определения микротвердости и абразивности горных пород, знакомство с приборами и подготовку проб; 2 часа - на проведение исследований и обработку полученных результатов, написание отчета.

Выполнение настоящей лабораторной работы производится в следующем порядке.

1. Определение микротвердости составных элементов, слагающих породу (минералов, кристаллитов, цементов, зон ослаблений и т.п.)

Разрушение породы, например, при бурении или резке камня всегда сопровождается износом породоразрушающего инструмента и, в первую очередь, его вооружения. Горную породу можно рассматривать как агрегаты, состоящие из одного (мономинеральная горная порода) или нескольких (полиминеральная горная порода) минералов. От соотношения твердости минералов, входящих в горную породу, и материалов породоразрушающего инструмента будет зависеть интенсивность износа последнего. В связи с этим возникает необходимость определения микротвердости минералов и металлов. Определение микротвердости минералов и металлов производится на стандартном приборе ПМТ-3, созданном в 1949 году под руководством академика В. Л. Линника. Прибор предназначен для измерения твердости материалов вдавливанием пирамиды от 0,02 до 2Н [1, 2, 5]. Общий вид прибора показан на рис. 6.

Известно, что при вдавливании в хрупкие тела микронаконечников с большими углами заострения хрупкие тела не разрушаются, а при вдавливании образуются пластические отпечатки. Измеряя эти отпечатки и зная нагрузку, при которой проводилось вдавливание, определяют микротвердость.

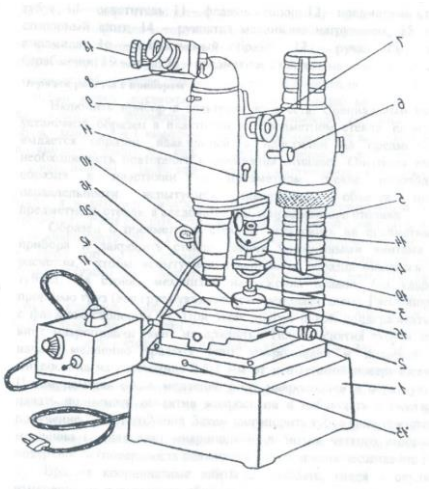


Рис. 6. Прибор ПМТ-3

Устройство прибора ПМТ-3

Общий вид прибора ПМТ-3 приведен на рис. 6. Прибор состоит из следующих основных узлов и деталей: 1 - станина; 2 - координатный винт; 3-стойка механизма нагружения; 4 - механизм нагружения; 5 - стойка; 6 - винт микроподачи; 7 - винт макроподачи; 8-окулярный микрометр, 9-тубус; 10 - осветитель; 11 - флажок-стопор; 12 - предметный столик, 13 -стопорный винт, 14 - рукоятка механизма нагружения, 15 - алмазная пирамида; 16 - испытуемый образец; 17 - ручка; 18 - отсчетный барабанчик; 19 - груз; 20 - предметное стекло.

Порядок работы с прибором

Включить прибор в электрическую сеть. Специальным устройством установить образец в пластилин на предметном стекле. Если студентам выдается образец, вдавленный в пластилин на предметном столе, необходимость повторного вдавливания отпадает. Операция вдавливания образца в пластилин на предметном стекле необходима для параллельности испытуемой

поверхности объекта поверхности предметного стекла, а следовательно, и предметного столика.

Образец с предметным стеклом установить на предметный столик прибора и закрепить стекло сверху прижимными винтами с таким расчетом, чтобы испытуемая поверхность образца оказалась под осью тубуса. На стойку механизма нагружения плавно, без удара, ввести прорезью груз (вес груза указывается преподавателем). Расстопорить тубус с флажком-стопором 11. При этом другой рукой поддерживать тубус за винт макроподачи (винт не вращать). После снятия тубуса со стопора начать медленно вращать винт макроподачи и подвести объектив микроскопа на расстояние 0,5-1 мм от испытуемой поверхности образца. Потом, вращая очень медленно винт макроподачи в обратную сторону, начать поднимать объектив микроскопа и наблюдать в окуляре тубуса получение "светлого" поля. Затем застопорить тубус флажком-стопором и, медленно вращая винт микроподачи, добиться четкого изображения на поверхности (поверхность появляется в поле зрения неожиданно резко).

Вращая координатные винты 2, выбрать, глядя в окуляр, место измерения на поверхности образца (если в поле зрения попали отпечатки, вращая координатные винты 2, вывести их из поля зрения). Вращая столик, плавно до упора перевести испытуемый образец под механизм нагружения. Плавным поворотом (в течение 5 с) рукоятки нагружения одним пальцем до упора против часовой стрелки опустить груз на испытуемую поверхность В течение 10 с держать пирамиду под заданной нагрузкой для получения отпечатка Обратным плавным движением разгрузить пирамиду (поднять груз). Убедившись, что пирамида поднята над поверхностью, можно плавно поворачивать столбик обратно на 180^0 до упора и тем самым перевести образец под объектив.

Измерение диагонали отпечатков

Измерение диагонали отпечатков производится окулярным микрометром АМ9-2 и мерной линейкой, встроенной в тубус, с применением креста нитей и двух рисок, также встроенных в тубус.

Перед измерением диагонали нужно расположить крест нитей так, чтобы он перемещался по одной из диагоналей отпечатка (рис. 7). Само измерение производится следующим образом: фиксируют положение креста нити в начале диагонали отпечатка и берут отсчет. Первая цифра отсчета - целое число делений на мерной линейке, вторая цифра отсчета - десятки делений на барабане окулярного микрометра, третья цифра - единицы делений на барабане окулярного микрометра. Например: на мерной линейке две риски находятся между цифрами 3 и 4, первая цифра отсчета будет 3; на барабане 60, вторая цифра - 6; единиц деления на барабане окулярного микрометра 7, третья цифра будет 7. Первый отсчет -367.

Затем перемещают крест нити по диагонали отпечатка и в конце диагонали фиксируют положение креста и берут второй отсчет. Например, второй отсчет 442. Величина перемещения креста нитей будет равна 442-367=75 (в делениях). Цена деления микрометра АМ9-2 при апертуре А=0,65 равна 0,3 мкм. Тогда измеренная длина диагонали отпечатка равна 75-0,3 =22,5 мкм.

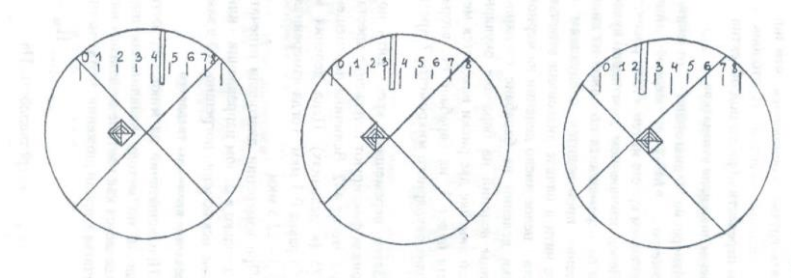


Рис. 7. Расположение креста нитей в тубусе прибора на отпечатке исследуемого элемента горной породы (*P* выражается в ньютонах, *d* в мкм).

При измерении диагонали отпечатка необходимо передвигать крест нитей только в одном направлении - или слева направо, или справа налево с целью исключения погрешностей в замерах из-за люфта винта.

Определение величины твердости

При испытании на микротвердость как при обычном испытании на твердость по методу вдавливания пирамиды величина микротвердости определяется как частное от деления нагрузки P на боковую поверхность F отпечатка в предположении, что углы отпечатка такие же, как у пирамиды

$$H_{м} = \frac{P}{F}\ , \qquad (1)$$

где $H_м$ - микротвердость, Па.

В свою очередь

$$F = \frac{d^2}{2\sin\frac{\alpha}{2}} \qquad (2)$$

где d - длина диагонали, мкм;

α - угол при вершине пирамиды Виккерса, равный 136°. В окончательном виде

$$H = \frac{1.854 \cdot 10^6 \cdot P}{d^2}\text{, МПа.} \qquad (3)$$

Для ускорения вычисления твердости приведены таблицы твердости 1, 2 и 3 для нагрузок 0,2; 0,5 и 1 Ньютон. При нагрузках в 10 раз больших или меньших эти таблицы

также применимы, соответственно число твердости необходимо уменьшить или увеличить в 10 раз.

2. Определение абразивности образцов горной породы методом Барона

Настоящие методики определения абразивности горных пород разработаны в институте горного дела им. А. А. Скочинского, Л. И. Бароном и А. В. Кузнецовым. Сущность ее заключается в истирании о поверхность образца горной породы торца вращающегося стержня из незакаленной стал и -серебрянки с последующим определением весового износа стержня во время опыта. За критерий абразивности принимается суммарная потеря в весе стержня за стандартное время опыта 10 минут. Опытное потирание стержня производится при осевой нагрузке 150 Н и скорости вращения 400 об/мин [5].

Испытания производятся на установке, выполненной на базе обычного сверлильного станка типа НС - 1 2 А.

Образец горной породы устанавливается в зажимном приспособлении таким образом, чтобы истираемая поверхность была перпендикулярна шпинделю станка. В патроне станка закрепляется эталонный стержень из инструментальной калиброванной стали-серебрянки У8А, диаметром 8 мм. Изготовление стержней производится на токарном станке, где пруток разрезается на части, длиной 70 мм. В одном из торцов каждого стержня высверливается центральное отверстие диаметром 4 мм и глубиной 12 мм.

Определение абразивности породы производят "Сверлением" образца породы эталонным стержнем, предварительно взвешенным на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Исследования производят по схеме парных опытов: сначала "сверление" осуществляется в течение 10 мин одним концом стержня, затем в течение 10 мин – другим.

После опыта стержень очищается и снова взвешивается на аналитических весах с точностью до 0,1 мг.

Коэффициент абразивности породы вычисляется на основании результатов исследований по формуле

$$A = \frac{\sum q_i}{2n_n}, \qquad (4)$$

где A - коэффициент абразивности, мг,

q_i - потеря массы эталонного стержня за каждый парный опыт, мг;

n_n - число парных опытов.

На каждом образце горной породы проводится 3-5 парных опытов, а в целом по пробе необходимо провести 9-15 таких опытов

Необходимое число единичных опытов определяется с учетом коэффициента вариации, зависящего от структуры горных пород, на основании величины отношения

$$a = \frac{K_{доп}}{K_{вар}} \qquad (5)$$

где $K_{доп}$ - допускаемое отклонение точности определения коэффициента абразивности;

$K_{вар}$ - коэффициент вариации, принимаемый согласно табл. 4

Согласно абсолютной величины a необходимо определить минимальное число единичных опытов, руководствуясь табл. 5.

Таблица 1

Определение чисел твердости в МПа при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° для нагрузки *P*, равной 0,2 Н

Диагональ от отпечатка, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	14840	10300	7560	5800	4580
10	3700	3060	2580	2200	1892	3648	1448	1284	1141	126
20	928	841	766	701	644	594	548	508	473	442
30	412	386	362	340	320	302	286	270	256	244
40	232	220	210	200	191,6	183,2	175,2	168,0	161	154,4
50	148,4	142,6	137,2	132	127,2	122,6	118,2	114,2	110,2	106,6
60	103,0	99,8	95,6	93,4	90,6	87,8	85,2	82,6	80,2	78,0
70	75,6	73,6	71,6	69,6	67,8	66,0	64,2	62,6	61,0	59,4
80	58,0	566	55,2	53,8	52,6	51,4	50,2	49,0	48,0	46,8
90	45,8	44,8	43,8	42,8	42,0	41,0	40,2	39,4	38,6	37,8
100	37,0	38,4	35,6	35,0	34,2	33,6	33,0	32,4	318	31,2
110	30,6	30,2	29,6	29,0	28,6	28,0	27,6	27,0	26,6	26,2
120	25,8	254	35,0	24,6	24,2	23,8	23,4	23,0	22,6	22,2
130	22,0	21,6	21,2	21,0	20,6	20,4	20,0	19,76	19,48	19,2
140	18,92	8,66	18,4	18,14	17,88	17,64	17,40	17,16	16,94	16,7
150	16,48	6,26	16,06	15,84	15,64	15,44	15,24	15,05	14,86	14,68
160	14,48	14,30	14,14	13,96	13,80	13,2	13,46	13,30	13,41	12,98

Таблица 2

Определение чисел твердости в МПа при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° для нагрузки *P*, равной 0,5 Н

Диагональ отпечатка, *d*, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	14840	25750	18900	14500	11540
10	9250	7650	6450	5500	4730	4120	3620	3210	2860	2570
20	2320	2100	1920	1750	1610	1480	1370	1270	1180	1105
30	1030	965	905	850	800	755	715	67,5	640	610
40	580	550	525	500	479	458	438	420	402,5	38,6
50	371	356	343	330	318	306,5	295,5	285,5	275,5	266,5
60	257,5	249	239	233,5	226,5	219,5	213	2065	200,5	195,0
70	189,0	184,0	179,0	174,0	169,5	165,0	160,5	56,5	152,5	148,5
80	145,0	141,5	138,0	134,5	131,5	128,5	125,5	122,5	120,0	117,0
90	114,5	112,0	109,5	107,0	105,0	102,5	100,5	985	96,5	94,5
100	92,5	91,0	89,0	87,5	85,5	84,0	82,5	81,0	79,5	78,0
МО	76,5	75,5	74,0	72,5	71,5	70,0	69,0	67,5	66,5	65,5
120	64,5	63,5	62,5	61,5	60,5	59,5	58,5	57,5	56,5	55,5
130	55,0	54,0	53,0	52,5	51,5	51,0	50,0	49,4	48,7	48,0
140	47,3	46,6	46,0	45,3	44,7	44,1	43,5	42,9	42,4	41,8
150	41,2	40,7	40,2	39,5	39,1	38.6	38,1	37,6	37,2	36,2
160	36,2	35,8	35,4	34,9	34,5	34,1	33,7	33,2	32,8	32,5

Таблица 3

Определение чисел твердости в МПа при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° для нагрузки *P*, равной 1 Н

Диагональ отпечатка, *d*, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	18500	15300	12900	11000	9460	8240	7240	6420	5720	5140
10	4640	4200	3830	3500	3220	2970	2740	2540	2360	2210
20	2060	1930	1810	1700	1600	1510	1430	1350	1280	1220
30	1160	1100	1050	1000	958	916	976	840	805	772
40	742	713	686	660	636	613	591	671	551	533
50	515	498	478	467	453	439	426	413	401	390
60	378	368	358	348	339	330	321	313	305	297
70	290	283	276	269	263	257	251	245	240	234
80-	229	224	219	214	210	205	201	197	193	189
90	185	182	178	175	171	168	165	162	159	156
100	153	151	148	145	143	140	138	135	133	130
110	129	127	125	123	121	119	117	115	113	111
120	110	108	106	105	103	102	100	988	974	960
130	946	933	920	907	894	882	870	858	847	935
140	824	813	803	792	782	772	762	752	743	734
150	724	715	707	698	690	681	673	665	657	649
160	642	634	627	620	673	606	599	592	585	579

Таблица 4

Определение коэффициента вариации $\kappa_{вар}$

Структура пород	Размер зерен, мм	$\kappa_{вар}$, %
Крупнозернистая	5	30
Среднезернистая	3-5	22
Мелкозернистая	0.3-0.2	19
Тонкозернистая с включениями	0.2	34

Таблица 5

Определение минимального числа единичных опытов

a	2,0	0,98	0,69	0,57	0,49	0,48
n	1	4	8	12	16	20

Запись результатов измерений и вычислений производится в таблице 6.

Таблица 6

Определение абразивности горных пород

№	Порода		Номер образца опыта	Масса стержня. $G_{1,2}$, мг		Потеря массы, мг	Абразивность. А, мг				Примечание
	шифр	название		до опыта	после опыта		по опыту	по образцу	среднее по пробе	коэф. вариац, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

3. Построение графиков и выводы результатов работы

Построение графиков по результатам измерений и вычислений настоящей лабораторной работы. Количественный и качественный анализ зависимостей $A = f\left(\frac{H_{м,\max}}{H_{м,\min}}\right)$ и $A = f\left(H_{м,\max}\right)$ а также степени зернистости (крупно-, средне-, мелко-, микрозернистости) исследуемых образцов горных пород.

Обосновать практическое значение полученных результатов лабораторных исследований и дать практические рекомендации.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Лабораторная работа № 1. Определение предела прочности горных пород при одноосном сжатии

Целью данной работы является определение предела прочности горных пород путем разрушения образцов правильной формы.

Задачей работы является освоение студентами методики определения предела прочности горных пород при одноосном статическом нагружении и изучение взаимосвязи указанного параметра с известными характеристиками крепости горных пород.

Величина критических сжимающих напряжений, при которых происходит разрушение породы, называется пределом прочности на сжатие Показатель сопротивления пород одноосному сжатию $\sigma_{сж}$ является наиболее распространенной оценкой прочностных свойств пород и определяется как частное от деления максимальной разрушающей силы Ртах, полученной при одноосном раздавливании образца горной породы, на начальную площадь поперечного сечения образца S:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{\max}}{S} \qquad (1)$$

Это условное разрушающее напряжение называют также прочностью при одновременном сжатии. Однако этот показатель может рассматриваться только как некоторая относительная характеристика, которая может быть использована для сравнения крепости различных пород. Показатель прочности горных пород зависит от ряда факторов, связанных с природным несовершенством строения и структурными особенностями горных пород, таких как:

- неоднородность петрографического состава,
- слоистость;
- наличие микротрещин.

Вместе с тем, прочность образцов в значительной степени зависит от условий и техники проведения испытаний:

- формы и размеров образца;
- соотношения между размерами образцов;
- скорости приложения нагрузки и др.

С учетом перечисленных факторов прочность горных пород на одноосное сжатие определяется по следующей методике [5, 6].

Рекомендуется использовать образцы цилиндрической формы с диаметром d=42 мм и отношением высоты к диаметру 1/d = 1. Отклонения этих величин для диаметра и высоты допускаются в пределах от 40 до 45 мм и до 5 % для отношения высоты к диаметру. Цилиндрические образцы получаются при разрезании кернов на части, причем торцевые поверхности должны быть строго параллельны друг другу и перпендикулярны к образующей цилиндра Отклонение от параллельности образцов по диаметру основания образца и отклонение от перпендикулярности торцов к образующей цилиндра должно быть не более 0,05 мм.

Подготовленный образец помещают между плитами пресса и доводят до разрушения. Значение максимальной нагрузки разрушения фиксируется, а прочность при сжатии определяется по формуле (1). В том случае, если образец имеет отношение высоты к диаметру отличное от 1, необходимо произвести пересчет по формуле:

$$\sigma_N = \frac{9\sigma_{сж}}{7 + 2\frac{d}{1}} \qquad (2)$$

где σ_N - прочность на сжатие, определенная на образце с иным соотношением $\frac{d}{1}$.

Как уже отмечалось выше, полученное значение прочности может быть использовано для сравнения крепости различных пород. Термин "крепость" применим как для характеристики горных пород в отношении сопротивления их разрушению при добывании, так и в отношении их устойчивости с точки зрения сохранности горных выработок. Он пригоден для характеристики любых видов разрушения и поэтому можно рассматривать крепость как сопротивление разрушению вообще. Мерой крепости горных пород является коэффициент крепости f, предложенный профессором Протодьяконовым М. М. (см. табл. 9 Приложения)

Определять коэффициент крепости породы проф. Протодьяконов предложил по величине предела прочности пород на одноосное сжатие

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{100 \cdot 10^5} \qquad (3)$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности пород на основе сжатия, Па.

Коэффициент крепости проф. Протодьяконова М. М. является величиной безразмерной и может иметь максимальное значение, равное 20. В процессе выполнения лабораторной работы студенты знакомятся с методикой оценки прочностных свойств горных пород, в частности, $\sigma_{сж}$, при статическом нагружении образцов на прессе и требованиями к подготовке исследуемых образцов После проведения исследований образцов горных пород на прессе рассчитываются значения предела прочности горных пород при одноосном сжатии - $\sigma_{сж}$, а результаты работы оформляются в виде таблицы В заключении даются анализ

полученных результатов исследований и практические рекомендации по их применению.

Содержание работы

Исследуемые виды горных работ выбираются, преимущественно, с различными прочностными свойствами. Количество образцов пород определяется руководителем и составляет 3-5 штук

Образцы горных пород, предназначенные для исследования студентами, могут быть приготовлены заранее.

Необходимым оборудованием и измерительными приборами для проведения исследований являются:

- пресс любой, например, марки П-50;
- камнерезный и шлифовальный станки,
- штангенциркуль;
- микрокалькулятор.

Лабораторная работа выполняется группой студентов в количестве 2-3 человека и рассчитана на 2 часа без подготовки образцов.

Выполнение настоящей работы производится в следующем порядке:

- подготавливают к работе пресс;
- измеряют площадь поперечного сечения образца и устанавливают его на нижнюю плиту;
- опускают верхнюю плиту до касания ею верхнего торца образца;
- включают двигатель маслонасоса,
- поворачивая ручку управления по часовой стрелке, осуществляют подачу масла в гидроцилиндр пресса;
- после разрушения образца сбрасывают давление масла и выключают двигатель;
- определяют по шкале нагрузок разрушающее усилие Рт» и рассчитывают по следующей формуле предел прочности породы одноосному сжатию:

$$\sigma_{сж} = \frac{4P_{\max}}{\pi d^2} \quad (4)$$

где d - диаметр образца.

При необходимости используется формула (2) эксперимента заносятся в таблицу.

Таблица

Результаты эксперимента

Номер образца	Испытуемая порода	S,м^2	$P_{\max}$, Н	$\sigma_{сж}$, Па	f

Обработка и анализ результатов исследований

По формуле (3) определяют коэффициент крепости породы по проф. Протодьяконову М. М. Затем дается руководителем задание рассчитать прочность породы на одноосное сжатие, если известен коэффициент крепости по шкале М. М. Протодьяконова (например, при f = 2, 5, 10, 15, 18) и определить коэффициент крепости f по данной шкале, если известны прочности пород на одноосное сжатие (полученные при проведении настоящих исследований или заданные руководителем произвольно). Дать практические выводы по результатам исследований прочностных свойств горных пород при статическом одноосном их нагружении.

Лабораторная работа № 2. Исследование процесса разрушения горных пород при воздействии динамических нагрузок

Целью работы является исследование энергозатрат при динамическом нагружении горных пород.

Задача работы состоит в изучении процесса динамического вдавливания в горную породу на копровой установке со свободно падающим ударником с породоразрушающим элементом. При этом исследуются

зависимости удельной объемной работы разрушения, глубины лунки h, объема разрушенной породы $V_л$ от кинетической энергии удара Т. Такие зависимости представляют большой практический интерес при любых технологических процессах, сопровождающихся разрушением горных пород при динамическом воздействии на них породоразрушающих элементов [3, 7].

Так, например, при бурении скважин имеют место исключительно динамические процессы. Поэтому с точки зрения бурения скважин представляет интерес динамическое приложение нагрузки со стороны элементов породоразрушающего инструмента к горной породе. При экспериментальном изучении динамического деформирования и разрушения пород используются принципы приближенного моделирования, которые реализуются на специальных установках [2].

В процессе выполнения работы студенты знакомятся с устройством копровой установки, на которой производится динамическое вдавливание в породу породоразрушающего элемента, и проводят серию исследований по установленной руководителем программе. Результатами работы являются произведенные студентами расчеты удельной объемной работы разрушения $A_у$, построенные графики зависимостей $A_y = f(T)$ и $V_л = f(T)$, а также практические рекомендации по кинетике разрушения горных пород в различных производственных процессах: в бурении, обработке камня, измельчении и диспергации горных пород.

Содержание работы

Исходными материалами для исследований являются образцы горных пород в форме цилиндров высотой 30-50 мм и диаметром 40-60 мм Количество испытуемых образцов горных пород определяется руководителем. Лабораторная работа выполняется группой (бригадой) по 3-4 человека в течение 2-х часов.

Опыты проводятся на вертикальном копре (рис. 1). Копер состоит из основания 6, направляющих 7, стойки 8, масштабной линейки 5, ударника 2, сменных грузов 1, плиты для крепления образцов горной породы 9, штанги 4. В штанге прессовой посадкой крепится цилиндрический штамп с плоским основанием.

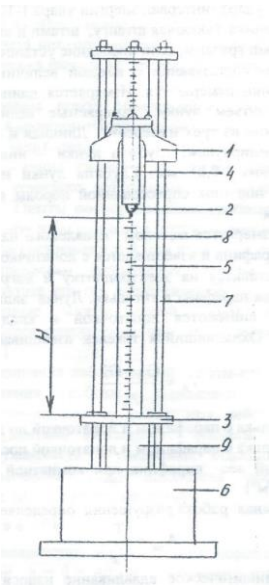


Рис. 1. Копровая установка со свободнопадающим ударником с породоразрушающим наконечником

Выполнение лабораторной работы и обработка результатов исследований проводятся в следующем порядке.

Исследуемый образец устанавливают на основании копра. Крепят плиту, завинчивая гайки "от руки". Гайки устанавливаются как над плитой, так и под плитой. Последние предохраняют штамп от разрушения в случае раскалывания образца. По заданной преподавателем

энергии удара определяется высота сбрасывания ударника по формуле:

$$H = \frac{T}{G} \qquad (1)$$

где H - высота сбрасывания;

T - энергия удара (интервал энергии удара 1-10 Дж);

G - вес ударника (включая штангу, штамп и шпильки со сменными грузами, если последние установлены).

Проводится три сбрасывания с каждой величиной энергии удара. Образовавшиеся лунки измеряются. Измеряется длинная и короткая ось лунки, глубина и объем лунки. Замеряемые величины берутся как среднеарифметические из трех измерений. Длинная и короткая оси лунки измеряются штангенциркулем, глубина лунки - индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм. Глубина лунки измеряется в самой глубокой части, но порошок спрессованной породы под штампом (ядро сжатия) не удаляется.

Объем лунки измеряется методом "плавленого парафина". В тигелек кладется кусочек парафина и взвешивается с лопаточкой на аналитических весах, после чего ставится на электроплитку и нагревается до 70° С - момент расплавления парафина в тигельке. Лунка заливается парафином. Избытки парафина снимаются лопаточкой и кладутся в тигелек с лопаточкой вместе. Охладившийся тигелек взвешивается. Объем лунки определяется так

$$V_{л} = \frac{G1 - G2}{\gamma_{п}} \qquad (2)$$

где $G1$ - вес тигелька с парафином и лопаточкой до заливки;

$G2$ - вес тигелька с парафином и лопаточкой после заливки;

$\gamma_п$ - удельный вес парафина при комнатной температуре (9200 Н/м^3) Удельная объемная работа разрушения определяется по формуле

$$A_{уд} = \frac{T}{V_л} \qquad (3)$$

Последующее динамическое вдавливание наносится на расстоянии двух диаметров лунки от предыдущего. Значение $A_{уд}$ для одной точки графика определится как среднеарифметическое из 3-х измерений.

По полученным данным построить графики зависимости $A_{уд} = f(T)$ и $V_л = f(T)$. Сделать выводы и практические рекомендации.

Техника безопасности при работе на копре

Сбрасывать груз только после того, как убедитесь, что руки товарищей убраны с поражающей штампом поверхности горной породы.

Лабораторная работа № 3. Определение дробимости и горных пород

Целью работы является определение характеристик разрушаемости горных пород под действием динамических нагрузок

Задачей работы является освоение студентами методики проведения исследований и расчета показателей разрушаемости и дробимости горных пород при динамических нагрузках, производимых на вертикальном копре при сбрасывании.

Дробимость горных пород определяется энергетической оценкой разрушения породы в сложном напряженном состоянии.

Это сложное напряженное состояние характеризуется тем, что деформации и напряжения сжатия трансформируются, превращаясь в трудноопределимый

комплекс деформаций и напряжений, вызывающих разрушение породы. Опыты по определению дробимости проводятся на породных образцах, при этом считается, что возникающее в этих образцах сложное напряженное состояние в той или иной мере приближает опыты к технологическим процессам разрушения породы на производстве Получаемые в результате опытов энергетические характеристики разных пород, сопоставленные между собой, дают представление об энергоемкости процесса разрушения при выполнении технологических горных работ [3, 5, 7].

В процессе выполнения лабораторной работы студенты знакомятся с методикой проведения работы, выполняют экспериментальные исследования разрушения горных пород при действии динамических нагрузок. Затем студентами выполняются расчеты и дается анализ характеристик разрушаемости исследуемых образцов горных пород: показателя разрушаемости V_{max}показателя дробимости $tg\alpha$ и коэффициента вариации их средних значений.

Содержание работы

Для испытания используют образцы горных пород правильной формы, диаметром и высотой h = d = 40 см. Допускается отклонение размеров ± 2мм. Количество образцов устанавливается руководителем. Разрушение образцов производят на обычном вертикальном копре - грузом массой 16 кг. Разрушенный материал подвергается ситовому анализу на ситах с диаметром отверстий 7,0; 3,0; 0,25 мм. Лабораторная работа выполняется группой студентов в количестве 2-3 человека.

Проведение эксперимента производится в следующем порядке.

Образцы породы взвешивают, затем разрушают грузом массой 16 кг, падающим с высоты 0,5 м.

Разрушенный материал подвергают ситовому анализу. По результатам ситового анализа определяют итоговые показатели. Основным показателем является суммарный выход фракций, крупностью (-7мм), выраженный в кубических сантиметрах.

Дополнительным показателем, характеризующим качество дробления, является $tg\alpha$, вычисленный по известной формуле:

$$tg\alpha = \frac{tgV_{\max} - \lg V_{\min}}{\lg d_{\max} - \lg d_{\min}} \quad (1)$$

где $V_{\max}$ и $V_{\min}$ - объемы фракций, см^3, прошедшие через сига с диаметром отверстий $d_{\max}$ = 7 мм и $d_{\min}$ = 0,25мм.

Показатели дробимости и разрушаемости горных пород определяют в соответствии с данными, приведенными в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Показатели разрушаемости горных пород

Класс	Характеристика	$V_{\max}$, см^3
I	В высшей степени трудно разрушаемые породы	менее 1,8
II	Весьма трудно разрушаемые	1,8÷2,7
III	Трудно разрушаемые	2,7÷4,0
IV	Породы средней разрушаемости	4,0÷6,0
V	Легко разрушаемые	6,0÷9,0
VI	Очень легко разрушаемые	свыше 9,0

Таблица 2

Показатели дробимости горных пород

Класс	Характеристика	tgα
I	Весьма трудно дробимые	менее 1,8
II	Трудно дробимые	0,9-0,7
III	Средней дробимости	0,7-0,5
IV	Легко дробимые 0,7×0,5	

Экспериментальные данные и результаты расчетов заносят в таблицу 3.

Таблица 3

Экспериментальные данные и расчеты

№ п/п	Порода	Плотность, г/см^3			Размеры образца			tgα	Классификация породы
		h, см	d, см	V, см^3	-7 мм	-3 мм	-0,25 мм		

Конечным результатом работы являются средние значения tgα и V_{max} коэффициенты вариации их средних значений и анализ полученных результатов исследований.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Лабораторная работа № 1. Исследование закономерностей изменения удельной поверхности порошков при диспергировании горных пород

Цель работы исследование кинетики измельчения твердых материалов во времени в зависимости от их физико-механических свойств (прочностных, деформационных, наличия дефектов в структуре, крупности исходного и конечного продукта и прочее).

Задача работы сводится к определению закономерностей изменения удельной поверхности различных сыпучих и твердых материалов (горные породы, цемент, различные композиционные материалы, например, ферритовые порошки и др.) в зависимости от продолжительности их диспергирования в измельчительной машине и от физико-механических свойств твердых материалов. В процессе выполнения данной лабораторной работы студент должен освоить методику определения удельной поверхности сыпучих материалов методом

воздухопроницаемости и получить практические навыки работы на приборе ПСХ-4, широко применяемом на производстве [1, 8].

Выполнение настоящей лабораторной работы включает в себя подготовку проб для определения удельной поверхности сыпучих твердых материалов путем их диспергирования в различных трех-пяти временных режимах различных материалов трех-четырех видов на центробежной мельнице МКЦ-3. Затем проводится определение удельной поверхности выбранных для исследования проб из приготовленных порошков твердых материалов. По результатам измерений лабораторной работы строятся графики $S_{уд} = f(t)$ и $S_{уд} = f(\sigma)$ (где $S_{уд}$ - удельная поверхность, м^2/г; t - время измельчения, с; σ - прочность твердых материалов, Па). Дается качественная и количественная оценка кинетики измельчения твердых материалов в зависимости от их физико-механических свойств.

Содержание работы

Исходные материалы: цементы различных марок, горные породы, шлаки, композиционные материалы и др. крупностью не более 5 мм. Лабораторная работа выполняется группой (бригадой) по 3-4 человека и рассчитана на 4 часа: 2 часа на изучение методики исследования и подготовку проб (в количестве 6-8 штук) и 2 часа - на работу на приборе ПСХ-4 по определению удельной поверхности порошковых проб, обработку результатов исследований и написание отчета. При выполнении работы студенты обеспечиваются следующими приборами и оборудованием:

1. Мельница для сверхтонкого сухого измельчения твердых материалов (типа каскадной центробежной мельницы МКЦ-3).

2. Прибор для определения удельной поверхности порошков ПСХ-4 (в комплекте с лабораторным гидравлическим прессом до 1,5 МПа).
3. Лабораторные весы.
4. Секундомер.

Перед началом работы руководитель формулирует задание и выдает каждой группе (бригаде) студентов различные виды твердых материалов для проведения выше указанных исследований и решает вопрос о количестве исследуемых проб. После приготовления проб в центробежной мельнице МКЦ-3 студенты знакомятся с устройством и методикой проведения измерений на приборе ПСХ-4.

Назначение прибора

Прибор ПСХ-4 предназначен для определения дисперсности порошкообразных материалов по величине удельной поверхности, которая связана со средним размером частиц соотношением:

$$d_{ср} = \frac{60000}{S_{уд}} \qquad (1)$$

где $S_{уд}$ - удельная поверхность, см^2/г;

$d_{ср}$ - средний размер частиц в микронах;

γ - удельный вес, г/см^3.

Принцип действия прибора основан на соотношении Козени-Кармана, устанавливающем зависимость между дисперсностью частиц, пористостью слоя и его проницаемостью.

Устройство прибора

Схема прибора ПСХ-4 показана на рис 1. Прибор состоит из кюветы 1, соединительных трубок 2 и 3, верхнего резервуара 4, манометра жидкостного (с контрольными рисками 1,2 и 3, 4, 0), нижнего резервуара 6,

крана 7 и резиновой груши 8 с обратным клапаном. Стеклянная часть ПСХ-4 смонтирована на панели, прикрепленной к внутренней стенке прибора.

Кювета 1 предназначена для укладки в ней слоя испытуемого порошка. Она представляет собой (рис. 2) металлическую камеру 1, перегороженную на некоторой высоте диском с высверленными в нем отверстиями. Часть камеры, ограниченная диском и дном кюветы, с помощью штуцера и гибкой резиновой трубки присоединена к жидкостному манометру. На внешней поверхности кюветы нанесена миллиметровая шкала 2. Плунжер 3 (рис. 2), посредством которого производится уплотнение слоя материала в кювете, выполнен в виде цилиндра с упорным диском. В теле плунжера просверлен канал и отверстия 4 для прохождения воздуха Цилиндр подогнан к кювете с просветом 0,15 мм. К вырезу упорного диска прикреплена планка с нониусом, которая со шкалой 2 на внешней поверхности кюветы позволяет измерить толщину слоя испытуемого материала.

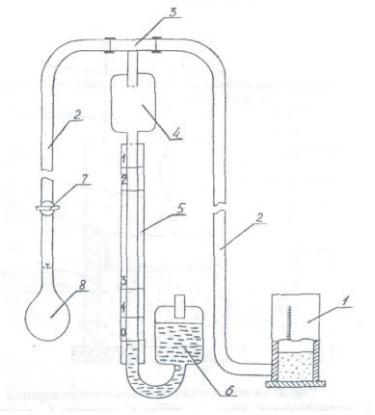


Рис. 1. Общая схема прибора ПСХ-4:

1 - кювета, 2, 3 - соединительные трубки; 4 - верхний резервуар; 5 - манометр жидкостный; 6 - нижний резервуар; 7 - кран; 8 - резиновая груша с обратным клапаном.

В устройстве прибора ПСХ-1 резиновая груша с клапанами служит для создания разрежения под слоем испытываемого материала. Манометр 5 предназначен для определения давления под слоем испытуемого материала и в сочетании с секундомером используется для определения воздухопроницаемости слоя испытуемого материала. Прибор снабжен стеклянным одноколейным манометром длиной около 300 мм, заполненным подкрашенной водой.

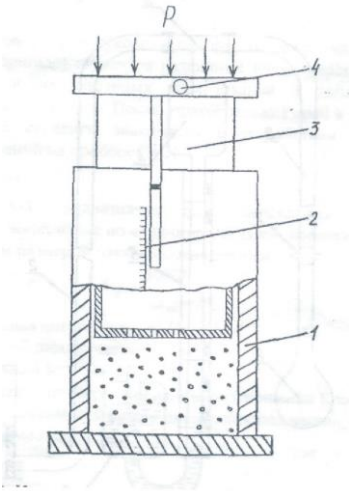


Рис. 2. Кювета для укладки испытуемого порошка:

1 - металлическая камера; 2 - шкала; 3 - плунжер, 4 - отверстие для прохождения воздуха.

В комплект прибора входят гидравлический пресс, секундомер, аптекарские весы и разновесы.

Проведение анализа

Для определения величины удельной поверхности необходимо:

1. Высушить материал до воздушносухого состояния в течение 2-х часов при температуре 105-110 ° (известь-кипелку и цемент высушивать не следует).

2. Для определения удельной поверхности необходимо рассчитать вес пробы в граммах по формуле Q=3,33 γ, где γ - удельный вес в г/см^3. В табл.1 приведен вес пробы для некоторых материалов.

Таблица 1

Перечень материалов и величины навесок для определения удельной поверхности на приборе ПСХ-4

№	Наименование материала	Удельный вес материала	Навеска материала
1.	Известь-пушенка	2,20	7,32
2.	Пегматит	2,38	7,86
3.	Пемза	2,40	7,99
4.	Белая сажа	2,45	8,16
5.	Песок	2,65	8,83
6	Кирпичный бой	2,66	8,86
7.	Стекольная шихта	2,70	9,00
8.	Ферросилицит	2,70	9,00
9.	Опока	2.73	9,09
10.	Асбестовая галька	2,79	9,32
11.	Известь - кипелка	2,80	9,32
12.	Шлак	2,80	9,32
13.	Известняк	2,80	9,32
14.	Доломит	2,90	9,73
15.	Цемент	3,00	10,00
16.	Зола	3,00	10,00
17.	Клинкер	3,00	10,00
18.	Очажные остатки	3,00	10,00
19	Силикатная глыба	3,00	10,00
20.	Карборунд	3,20	10,66
21.	Корунд искусственный	3,96	13,20
22.	Двуокись титана	4,00	13,32
23.	Титановый концентрат	4,30	14,30
24.	Гематит	5,10	17,00
25.	Хром. Руда	3,95	13,15
26.	Окалина		17,50

Пробу охладить до комнатной температуры и взвесить с точностью до 0,01 г. В тех случаях, когда

определению подлежит смесь материалов, приведенных в табл. 1, величина навески вычисляется по формуле:

$$Q = 3{,}33(A/\gamma_1 + B/\gamma_2 + C/\gamma_3)^{-1} \qquad (2)$$

где A, B, C - выраженное в весовых долях содержание компонентов в смеси, г;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ соответственно их удельный вес, г/см^1.

3. Удельный вес порошка определяют следующим образом. Мерную колбу с 2гмя метками заполняют дистиллированной водой до нижней метки при температуре 20° С. От высушенной навески 60 г, взятой с точностью ± 0,01 г, порошок небольшими порциями засыпают в мерную колбу (волюмометр) до тех пор, пока уровень жидкости не достигнет второй метки при сохранении температуры 20° С. Остаток навески Q_0 взвешивают и по разности находят вес порошка в колбе $Q_k = 60 - Q_0$,

Удельный вес γ рассчитывают по формуле:

$$\gamma = \frac{Q_k}{V}, \text{ г/см}^3 \qquad (3)$$

где V - объем жидкости в колбе между метками, см^3; Q_k - вес порошка в колбе, г.

4. Навеску порошка $Q = 3{,}33\gamma$, взятую с точностью до 0,0] г, помещают в кювету прибора, в которую предварительно вложен кружок фильтровальной бумаги.

5. Легким постукиванием разравнивают слой, накрывают порошок сверху вторым кружком фильтровальной бумаги и уплотняют плунжером с помощью пресса при давлении Р=100 кг/см^2. Давление по манометру рассчитывается по формуле

$$P = \frac{100 D_1^2}{D_2^2},$$

где D_1 -диаметр плунжера, D_2 - диаметр поршня пресса.

6. С помощью нониуса и шкалы измеряют высоту слоя материала Н, вычитая из нее толщину двух кружков фильтровальной бумаги, равную 0,02 мм.

7. Удаляют плунжер из кюветы, открывают кран и посредством груши создают разрежение под слоем порошка. Разрежение должно быть таким, чтобы жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбочки.

8. Закрывают кран и измеряют по секундомеру время Т прохождения мениска жидкости в манометре между рисками 1-2 или 3-4. Время Т берется среднее из 3-х определений.

9. Фиксируют температуру воздуха на градуснике t°, установленном на приборе.

10. По измеренной температуре воздуха t° и высоте слоя порошка в кювете h находят в табл. 2 значение параметра М.

Вычисления

Для расчета величины удельной поверхности следует:

1. По измеренным значениям высоты слоя *h* и температуре воздуха *t*° найти в табл. 2 величину параметра М.

2. Произвести вычисление удельной поверхности по формуле:

$$S_{уд} = K \frac{M\sqrt{T}}{P} \qquad (4)$$

где $S_{уд}$ - удельная поверхность порошка, см^2/г;

K - постоянная прибора для той пары рисок, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время *T* (значение *K* содержится в паспорте прибора);

P - величина навески, г.

Проверка исправности прибора

1. Количество жидкости в манометре должно быть таким, чтобы ее уровень приходился против нижней риски Уровень жидкости проверяется при пустой и открытой кювете.

2. Прибор должен быть герметичен. Для проверки герметичности кювета плотно закрывается пробкой.

В приборе, как описано выше, создается разрежение и наблюдается положение уровня жидкости в манометре. Если прибор герметичен, этот уровень не опускается.

3. Опустить плунжер в кювету, в которую положено два слоя фильтровальной бумаги, и проверить совпадение нулевых делений нониуса и шкалы. Если имеется какое-либо несоответствие (нулевые деления не совпадают), то его следует учитывать при измерении высоты слоя испытуемого материала

Проверка и определение постоянной прибора *к:*

Для проверки и определения постоянной прибора *к* может применяться порошок с известной величиной удельной поверхности. С этим порошком производится такой же опыт, как и при определении удельной поверхности, и постоянная *к* вычисляется по формуле:

$$к = \frac{S_{уд} Q}{\sqrt{TM}} \qquad (5)$$

где $S_{уд}$ - известная величина удельной поверхности, см^2/г; *Q, M, T* - определяются из опыта.

Величина *к* зависит от объекта системы, поэтому изменять длину резиновой трубки или заменять ее трубкой другого сечения также, как и заменять другие детали

прибора, запрещается. После каждого ремонта прибора следует проверять постоянную *к*.

Определение удельной поверхности грубодисперсных порошков

Для определения удельной поверхности грубодисперсных порошков (с удельной поверхностью менее 1500 $см^2/г$) следует брать навеску, численно равную удесятеренному удельному весу (см. табл. 1) и измерять время падения столба манометра между рисками 3 и 4.

Величина М в этом случае определяется по табл. 2 (приложение 2) для одной трети измеренной высоты слоя, а расчет удельной поверхности производится по формуле:

$$S_{уд} = 1{,}73k\frac{M\sqrt{T}}{Q} \qquad (6)$$

При окончании эксперимента студенты строят график, характеризующий процесс кинетики тонкого и сверхтонкого диспергирования твердых материалов. Анализируются результаты исследований и даются рекомендации по режимам измельчения твердых риалов, в зависимости от их физико-механических свойств и тонкости помола.

Лабораторная работа № 2. Исследование влияния среды на процесс разрушения и диспергирования горных пород

Цель работы - исследование влияния изменения удельной поверхностной энергии на энергозатраты при разрушении и диспергации горных пород.

Задача работы сводится к определению энергозатрат при взаимодействии ПАВ с горной породой на ее разрушение и диспергирование.

При этом студенты должны изучить теоретические основы настоящей лабораторной работы (приложение 3),

исследовать процесс снижения прочностных свойств горных пород при взаимодействии их с ПАВ, подобрать виды ПАВ, наиболее эффективно снижающие удельную поверхностную энергию пород, и сделать практические выводы- По данным лабораторных исследований необходимо построить график

$$l_{уд} = f(c),$$

где $l_{уд}$ - удельные энергозатраты на измельчение горной породы, (Вт·ч)/м^2;

c - содержание ПАВ в пробе при сухом измельчении. Конечным итогом исследований является подбор типа ПАВ и разработка рецептуры его использования для наиболее эффективного снижения энергозатрат при разрушении и диспергации исследуемых горных пород.

Содержание работы

Объектом исследования являются:

- различные горные породы;
- цементы;
- шлаки;
- композиционные материалы и др.

Лабораторная работа выполняется группой (бригадой) по 3-4 человека в течение 4-х часов. Из них: 2 часа на подготовку проб для исследования, выбор ПАВ, изучение теоретических основ и методики проведения исследований (приложение 3). При выполнении работы студенты обеспечиваются следующими приборами и оборудованием:

1. Мельница для сверхтонкого сухого измельчения твердых материалов (тип каскадной центробежной мельницы МКЦ-3).
2. Прибор для измерения активной мощности на лабораторной измельчительной установке типа электроизмерительного комплекта К-540.
3. Лабораторные весы.

4. Секундомер.

5. Прибор для определения удельной поверхности порошков ПСХ-4 (в комплекте с лабораторным гидравлическим прессом до 1,2 МПа).

Перед началом работы руководитель формулирует задание и выдает каждой группе (бригаде) студентов различные виды твердых материалов для проведения вышеуказанных исследований и решает вопрос о количестве проведения экспериментов с выбранной пробой. После изучения методик проведения исследований и теоретического материала по данной работе выбираются типы ПАВ и количество содержания ПАВ в пробе каждого эксперимента.

Затем исследуют процесс разрушения твердых материалов на мельнице МКЦ-3 с применением ПАВ до различной степени дисперсности, измеряя и рассчитывая при этом полезную мощность $W_п$ расходуемую на измельчение материала на электроизмерительном комплекте К-540: удельную поверхность измельченного продукта на приборе ПСХ-4 и удельные энергозатраты $l_{уд}$ на его разрушение.

По полученным данным в ходе эксперимента строят график $1_{уд}=f$ (c), определяют оптимальную рецептуру применения ПАВ в качестве понизителя твердости для конкретно исследуемой горной породы или другого твердого тела и дают практические выводы о влиянии среды на процесс разрушения горных пород в области технологии бурения скважин, измельчения или обработки камня в зависимости от физико-механических свойств исследуемых пород.

4. КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ СОРНЫХ ПОРОД

Задачи комплексного исследования физико-механических свойств горных пород

Задачей исследования является определение в лабораторных условиях кафедры техники и технологии разведки МПИ физико-механических свойств (ФМС) горных пород, влияющих на процесс их механического разрушения алмазным породоразрушающим инструментом.

Основное влияние на процесс разрушения алмазным инструментом оказывают прочностные, абразивные и упругие свойства Поэтому для определения свойств, влияющих на процесс разрушения, необходимо выполнить:

- лабораторную работу по определению физико-механических параметров, характеризующих динамическую прочность и абразивность горных пород;
- лабораторную работу по определению упругих свойств горных

пород.

Для установления влияния ФМС горных пород на процесс механического разрушения выполняются:

- лабораторная работа по определению энергоемкости процесса резания алмазным диском;
- лабораторная работа по исследованию акустического спектра резания алмазным диском.

Лабораторная работа №1. Определение физико-механических параметров скальных горных порол

Для оценки прочностных свойств горных пород определяются коэффициент динамической прочности (крепости и дробимости) $F_д$, а для оценки абразивных свойств - коэффициент абразивности - $К_{абр}$.

Методика разработана в ЦНИГРИ под руководством Н. И. Любимова и рекомендована для исследований ФМС скальных горных пород [9].

Отбор н подготовка образцов горных пород

Отбор образцов горных пород производится, как правило, из керна. Можно также отбирать образцы произвольной формы соответствующего размера.

Размеры образцов из керна: длина 20-25 см при бурении коронками диаметром 46-59 мм и 15-18 см при бурении коронками диаметром 76-92 мм.

Подготовка проб из образцов осуществляется в следующем порядке:

- исследуемый образец породы разбивается на куски изометрической формы без острых углов размером 1,5-2,0 см в поперечнике;
- набираются две пробы: каждая проба состоит из 25 кусков и разделяется на пять частей по пять кусков.

Оборудование и материалы, необходимые для исследований

При определении прочностных и абразивных свойств горных пород по методике ЦНИГРИ применяются:

- прибор ПОК для определения динамической прочности (крепости) горных пород;
- прибор ПОАП-2М для определения абразивности горных пород;
- весы типа ВЛКТ-100 г / 5-3

Прибор ПОК состоит из трубчатой ступы (рис.1а) и объемомера (рис.1б). Составными частями трубчатой ступы являются: загрузочный стакан 1, направляющая труба 2, удерживающий шплинт 3, гиря 4, упор 5, шнур 6 и рукоятка 7.

Объемомер состоит из стакана 1 и поршня со шкалой 2.

Прибор ПОАП-2м, схема которого приведена на рис. 2, состоит из электродвигателя АОЛБ 22-4 мощностью 0,18 кВт с числом оборотов 1420 об/мин., двух рабочих органов с загрузочными камерами и пульта управления со счетчиком оборотов двигателя.

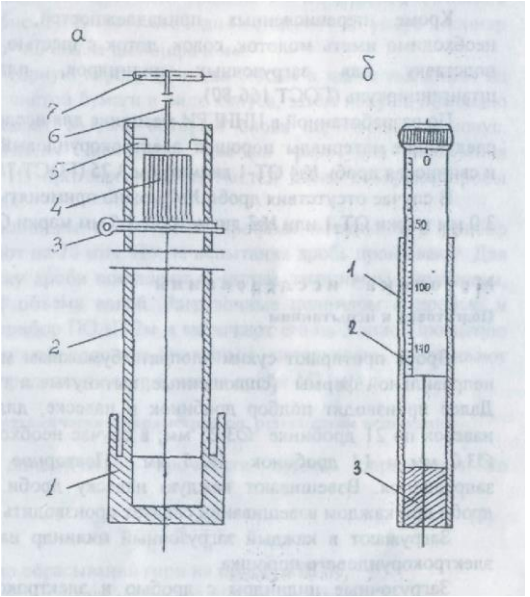


Рис. 1. Прибор ПОК для определения динамической прочности горных пород:

а – трубчатая ступа: 1 – загрузочный стакан; 2 – направляющая труба; 3 – шплинт удерживающий; 4 – гиря; 5 – упор; 6 – шнур; 7 – рукоятка; б – объемомер: 1 – стакан; 2 – поршень со шкалой; 3 – дно.

В приборе ПОАП-2м рабочий орган представляет собой жесткое сварное соединение 8, трех загрузочных камер 4, шатуна 7 и эксцентрикового вала 2, совершающего колебательно-вращательное движение в шариковых подшипниках 10.

Опорой рабочего органа служат маятниковые шатуны 3, которые с помощью шариковых подшипников 6 шарнирно связывают рабочий орган с плитой прибора.

Загрузочные цилиндры вставляются в камеры 4 прямоугольной формы и закрываются крышками 5 при помощи натяжных замков.

Привод рабочего органа прибора осуществляется от электродвигателя 1 через эксцентриковый вал 2 с насаженным на него маховиком 9. При помощи вала 2 загрузочные камеры совершают возвратно-поступательное движение, обеспечивающее интенсивное перемешивание помещенного в них материала.

Механический редуктор-счетчик оборотов 12, который присоединяется к валу электромотора при помощи двух шкивов и приводного ремня, позволяет контролировать число колебаний рабочего органа.

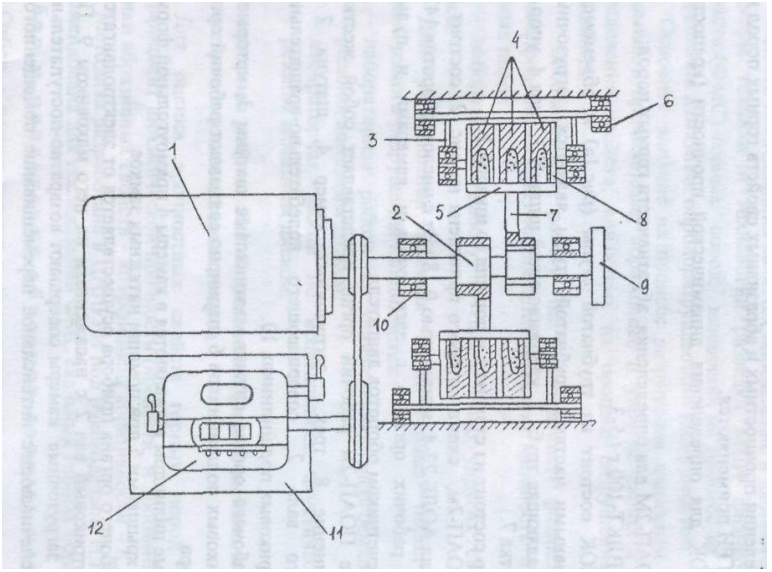


Рис. 2. Схема прибора ПОАП-2М для определения абразивности горных пород:

1 – электродвигатель; 2 – эксцентриковый вал; 3 – шатуны; 4 – загрузочные цилиндры; 5 – крышка; 6 – опоры; 7 – шатун; 8 – рабочие органы; 9 – маховик; 10 – подшипники; 11 – пульт управления; 12 – счетчик.

Весы типа ВЛКТ-100г/5-3 предназначены для определения потери веса эталонного материала при определении абразивности пород с требуемой точностью

Для исследований на приборах ПОК и ПОАП-2м используются:

- загрузочные цилиндры из стекла органического СОЛ (ГОСТ 15809-70) - 18 шт. (6 для проведения опыта, 6 - для промывки дроби после опыта, 6 - запасные);
- сито из сетки №5 (ГОСТ 3826-66),
- мерка емкостью 1 $см^3$.

Кроме перечисленных принадлежностей, учтенных в ОСТе, необходимо иметь молоток, совок, лоток с шестью ячейками для дроби, подставку для загрузочных цилиндров, пластинку, лопаточку, штангенциркуль (ГОСТ 166-80).

По разработанной в ЦНИГРИ методике для исследований необходимы следующие материалы: порошок электрокорундовый №12 (ГОСТ 3647-80) и свинцовая дробь №4 ОТ-1 диаметром 3.25 (ГОСТ 7837-76).

В случае отсутствия дроби №4 можно применять дробь №5 диаметром 3.0 мм марки ОТ-1 или №3 диаметром 3.5 мм марки ОТ-П.

Методика исследований

Подготовка к испытаниям

Дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом. Дробинки неправильной формы (сплющенные, вытянутые и т.п.) отбраковываются. Далее производят подбор дробинок в навеске, для чего заготовляют 6 навесок по 21 дробинке Ø 3,25 мм; в случае необходимости 26 дробинок Ø 3,0 мм и 14 дробинок Ø 3,5 мм Повторное использование дроби запрещается. Взвешивают каждую навеску дроби. Определение массы дроби при каждом взвешивании следует производить с точностью до 5 мг.

Загружают в каждый загрузочный цилиндр навеску дроби и 1 см электрокорундового порошка.

Загрузочные цилиндры с дробью и электрокорундовым порошком помещают в прибор и включают его на 20 минут, при этом электродвигатель

должен совершить 28 тыс. оборотов, которые контролируются счетчиком прибора.

Каждую навеску дроби после указанного опыта помещают в сосуд с водой и после перемешивания (всполаскивания) извлекают и протирают насухо чистым хлопчатобумажным материалом.

Промытую дробь взвешивают. Потеря массы дроби в каждой пробирке должна быть 200±10 мг. В случае отклонения потери массы дроби от указанного необходимо изменить количество дробинок в навеске и повторить тарировочные работы вновь.

Проведение испытаний

Каждую часть пробы, состоящую из 5 кусков, помещают в стакан прибора ПОК и производят 10 сбрасываний гири массой 2,4 кг с высоты 600 мм (груз поднимается до упора). Продукт разрушения всех пяти частей каждой пробы породы просеивается через сито с размером стороны ячейки а свету 0,5 мм. Прошедшую через сито фракцию 0,5 мм и менее ссыпают в трубу объемомера (рис. 2). В трубу свободно вставляют до упора цилиндр и снимают отсчет "h" по шкале цилиндра в мм

Раздробленную горную породу фракции 0,5 мм и менее высыпают из объемомера на лист чистой бумаги в виде конуса, затем конус с помощью пластинки развертывают в диск, который снова пересыпают в конус. Процесс перемешивания повторяют два-три раза для получения однородной среды. Из противоположных частей диска отбирают пробы объемом 1 $см^3$ каждая.

Загрузочные цилиндры с дробью и пробами помещают в прибор ПОАП-2м и включают на 20 мин. После испытания дробь промывают. Для этого каждую навеску дроби помещают в чистые загрузочные цилиндры, заполненные на 2/3 объема водой. Загрузочные цилиндры с дробью и водой помещают в прибор ПОАП-2м и включают его на 3 мин. Промытую дробь протирают сухим

хлопчатобумажным материалом, взвешивают каждую навеску и определяют потерю массы дроби ΔQ (мг).

Определение физико-механических параметров по результатам испытаний

Коэффициент динамической прочности породы определяет по формуле:

$$F_д = \frac{20n}{h} = \frac{200}{h}, \quad (1)$$

где n=10 - число сбрасываний гири на приборе ПОК;

h - отсчет по шкале цилиндра объемомера в мм.

Коэффициент абразивности исследуемой породы определяют по формуле:

$$K_{абр} = \frac{\Delta Q}{100} \quad (2)$$

где ΔQ - потеря массы дроби, мг.

Коэффициенты динамической прочности и абразивности определяются по двум пробам.

За средние значения $F_д$ или $K_{абр}$ принимаются среднеарифметические двух определений при условии:

$$Z = \frac{X_1 - X_2}{(X_1 + X_2)/2} \cdot 100 \langle 25\% \quad (3)$$

где X_1 и X_2 - значения двух определений $F_д$ и $K_{абр}$.

В случае отклонения от приведенного условия проводятся дополнительные определения. Из полученных значений $F_д$ и $K_{абр}$ выбираются те два, для которых выполняется условие (3).

На основании определенных опытным путем значений динамической прочности $F_д$ и коэффициента абразивности $K_{абр}$ можно определить объединенный комплексный показатель бурности $\rho_м$ по формуле:

$$\rho_м = 3F_д^{0.8} \cdot K_{абр} \quad (4)$$

Лабораторная работа № 2. Определение параметров упругости

Параметры упругости скальных горных пород наиболее целесообразно определять динамическим способом, измеряя скорость прохождения в образцах продольных волн υ_p ультразвуковых колебаний (УЗК). При этом используются известные соотношения между модулем продольной упругости Е (модуль Юнга), коэффициентом Пуассона ν, плотностью ρ и скоростью прохождения продольных волн υ_p УЗК, установленные в теории упругости для горных пород.

Формулы, характеризующие эти взаимосвязи, имеют следующий вид:

в неограниченной упругой среде - массиве горной породы

$$\upsilon_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}; \qquad (1)$$

в образце горной породы, имеющем форму стержня

$$\upsilon_{pCC.} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; \qquad (2)$$

в образце горной породы, имеющем форму тонкой пластины

$$\upsilon_{pПП} = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu)^2}}; \qquad (3)$$

Где υ_p - скорость продольных волн УЗК, м/с;

Е - модуль продольной упругости, Па;

ν - коэффициент Пуассона;

ρ - плотность, кгс/м^3.

Подготовка образцов горных пород для измерения скорости прохождения продольных волн

Образцы горных пород должны иметь прямоугольную форму стержня или пластины. Торцы образцов, прижимаемые к пьезодатчикам ультразвукового генератора колебаний, должны быть строго параллельны и хорошо отполированы.

Длина образца должна быть не менее половины длины продольной волны источника УЗК Расчет длины волны λ УЗК используемого измерительного прибора производится по формуле:

$$\lambda = \frac{\upsilon_p}{f_{рез}}, \qquad (4)$$

где λ - длина волны, м;

υ_p - скорость прохождения продольных волн, м/с;

$f_{рез}$ - резонансная частота кристалла датчика колебаний прибора, l/c (берется из паспорта прибора)

Например, при частоте 25 кГц и скорости продольных волн 2500 м/с длина волны составит 0,1 м.

Оборудование для измерения скорости продольных волн в образце горной породы

Для исследований упругих свойств горных пород динамическим методом используется дефектоскоп ДУК-20. Принцип измерения скорости прохождения УЗК через образец горной породы следующий (рис. 3). К одной из граней образца прижимают пьезоэлектрический датчик УЗК, а к противоположной - пьезоприемник. Датчик и приемник УЗК сделаны из кристаллов сегнетовой соли. Генератор УЗК 1 посылает к датчику 2 электрические импульсы длительностью 1-2 мкс через каждые 0,04 с. Эти импульсы кристаллом пьезоэлектрика в датчике 2 преобразуются в механические колебания с резонансной частотой кристалла $f_{рез}$ =*25* кГц и в виде продольной волны

проходят через образец 3, преобразуются приемником 4 в электрическое колебание с частотой $f_{рез}$. Далее электрические импульсы через усилитель поступают на вход осциллографа 5 ждущей разверткой, где можно снять время задержки импульса, прошедшего через датчик и образец, от момента выхода импульса из генератора (рис. 4).

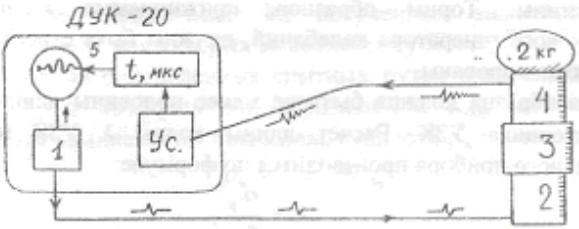


Рис. 3. Схема измерения скорости продольных волн УЗК в образцах горных пород:

1 - генератор УЗК; 2 - датчик; 3 - образец; 4 - приемник; 5 – осциллограф.

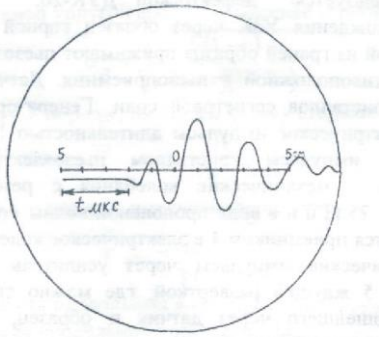


Рис. 4. Вид на экране осциллографа трассы УЗК.

Методика измерения скорости продольных волн в образце горной породы на приборе ДУК-20

Измеряется длина образца штангенциркулем с точностью до 0,01 мм. Измерения скорости продольных колебаний на ДУК-20 необходимо проводить в следующей последовательности.

1. Включить дефектоскоп. Ручками "смешение х", "смещение у" установить начало развертки луча осциллографа в левую часть экрана. Ручками "задержка мкс", "развертка" установить масштаб развертки сигнала на экране.

2. Совместить приемник и датчик, определить время задержки УЗК в датчиках $1_{дат}$.

3. Смазать торцевые грани образца вязкой смазкой (солидол, вазелин и т.п.).

4. Поместить образец между датчиками в вертикальном положении и придавить грузом.

5. Снять 4-6 раз время задержки УЗК в образце датчика t (рис А).

6. Определить время задержки в образце $t_{обр}$ по результатам 4-6 наблюдений t из условия:

$$t_{обр} = t - t_{дат} \qquad (5)$$

7. Провести расчет скорости продольных колебаний в образце по формуле:

$$\upsilon_p = \left(\frac{1}{\bar{t}_{обр}} \right) \cdot 10^3 \qquad (6)$$

где υ_p - скорость продольных колебаний, м/с;

l - длина образца, мм;

$\bar{t}_{обр}$ - время прохождения в образце продольной волны, как среднее арифметическое 4-6 наблюдений, мкс.

Для оценки достоверности измерений на ДУК-20 рассчитать коэффициент вариации измерения 1 из условия:

$$K_{вар} = \frac{S}{\bar{x}} 100 \quad (7)$$

где $K_{вар}$ - коэффициент вариации, %;

$\bar{x}(\bar{t}_{обр})$ - среднее арифметическое значение измеряемого параметра, мкс;

S - среднее квадратическое отклонение результата наблюдения.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

где n - количество наблюдений.

Для оценки точности вычисления определяется величина стандартной ошибки среднего арифметического:

Результаты наблюдений и расчетов заносятся в табл.1.

Таблица 1

Результаты наблюдений

Наблюдения $t_{обр}$ и расчетные параметры	Обр. 1 l_1, мм	Обр. 2 l_2, мм	Обр. 3 l_3, мм	Обр. 4 l_3, мм
1 … 6				
t, мкс				
$K_{вар}$, %				
S_x, мкс				
Скорость волны V_p, м/с				

Методика определения плотности образца горной породы

Плотность породы определяется методом прямых измерений массы и объема образца. Для этого измеряются линейные размеры образца в мм и вычисляется объем

образца в см^3. Затем образец взвешивают с точностью до 0,1 г. Плотность образца вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (10)$$

где ρ - плотность, г/см^3;

m - масса образца, г;

V - объем образца, см^3.

Результаты измерений и расчетов параметров образца заносятся в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений при определении ρ

Параметры	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4
Масса образца m, г				
Объем образца V, см^3				
Плотность ρ, г/см^3				

Методика расчета параметров, характеризующих упругие свойства горных пород

Расчетные формулы для определения модуля продольной упругости (модуля Юнга) согласно (1), (2), (3) имеют следующий вид:

В неограниченной среде

$$E = \upsilon_p^2 \rho \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}, \qquad (11)$$

В образце, имеющем форму стержня

$$E = \upsilon_{pCm.}^2 \rho, \qquad (12)$$

В образце, имеющем форму тонкой пластины

$$E = 0{,}56\upsilon_{pn\rho}^2\rho \qquad (13)$$

где E - модуль упругости, Па;

υ_p - скорость прохождения упругих волн, м/с;

ρ - плотность, г/см^3;

ν - коэффициент Пуассона.

Коэффициент Пуассона для большинства упругих горных пород составляет 0,22-0,28. Для упрощения в расчетах по (II) его можно принять равным 0,25 или использовать данные из справочной литературы. При выводе формул (12) и (13) коэффициент Пуассона принят равным 0,25.

Лабораторная работа №3. Определение энергоемкости процесса распиловки горных пород алмазным диском

Распиловка является начальной операцией в обработке каменного сырья. Для распиловки горных пород используют несколько типов алмазных пил и станков, конструкция которых зависит от размеров камней и конкретной цели распиловки.

Процесс распиловки можно контролировать по показаниям электроприборов, которые устанавливаются в системе электропривода для измерения силы тока, напряжения и потребляемой мощности.

Оценка процесса распиловки возможна по удельным затратам электроэнергии на единицу площади распиливания, которая зависит от ФМС горных пород, параметров режущего инструмента и технологических параметров распиливания,

Задачей исследования является определение энергоемкости процесса распиливания горных пород с различными ФМС на камнерезном станке.

Технические средства для определения энергоемкости процесса распиловки

В качестве распиловочного механизма используется серийный камнерезный станок ПТ-44, оснащенный алмазным отрезным диском

Техническая характеристика камнерезного полуавтомата ПТ-44

Наибольшая высота обрабатываемой заготовки, мм	150
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм	160
Частота вращения шпинделя, об/мин	1500
Инструмент: круг отрезной, 2726-0272 ГОСТ 10110-78 диаметр, мм толщина, мм	1000 450 2,4
Скорость подачи (продольное перемещение салазок), мм/мин при модуле червячной передачи m = 1 m = 2	 5,4-31,5 10,8-63
Питающая эл. сеть: род тока частота тока, Гц напряжение, В	 Переменный 50 220, 380
Электродвигатель тип мощность, кВт частота вращения, об/мин Габариты, мм, не более Масса, кг, не более	 4А80В (АИР90В) 1,5 (2,2) 1500 1240 890 940 350

Принцип работы камнерезного полуавтомата ПТ-44

Привод станка осуществляется от электродвигателя 1 (рис. 5) Вращение от двигателя передается через клиноременную передачу на шпиндель 2, на котором закреплен алмазный круг 10. Вращение шпинделя двухскоростное, т.к. шкив шпинделя имеет два ручья с разными диаметрами.

При распиловке заготовок продольная подача заготовки 11 производится механически от двигателя 1

через клиноременную передачу, червячную передачу 7, передачу "винт-гайка", гайка 8 которой является разъемной. При разомкнутом положении гайки механическая подача на заготовку не происходит. Заготовка при распиловке надежно закрепляется в зажимном устройстве 9, которое имеет возможность продольного перемещения по направляющим 4. Скорость продольной подачи во время распиловки регулируется бесступенчатым вариатором 6. При переводе рычага влево подача замедляется, вправо - ускоряется

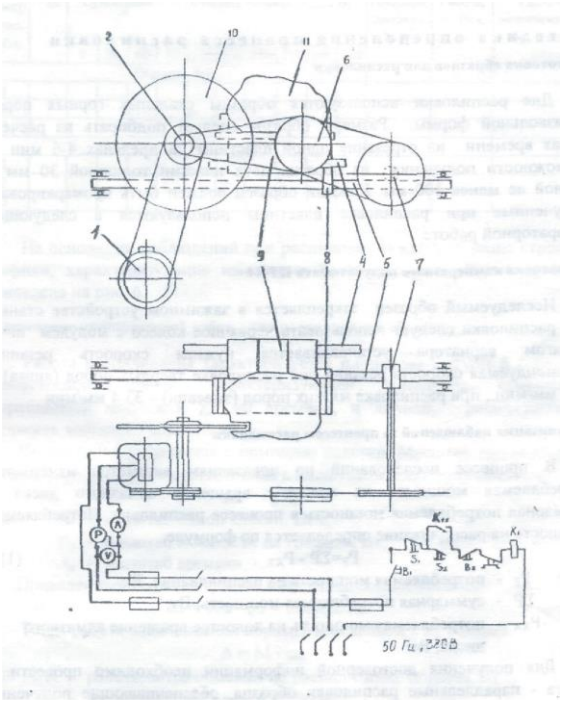


Рис. 5. Электромеханическая схема ПТ-44

Приборы для контроля процесса распиловки

Для контроля процесса распиловки камнерезный полуавтомат ПТ-44 имеет электрический щит, оборудованный вольтметром с ценой деления 20В в

диапазоне 500В, амперметром с ценой деления 0,5А в диапазоне ЮЛ и ваттметром с ценой деления 0,5 кВт в диапазоне 1,4 кВт.

Для проведения исследований необходимо иметь секундомер.

Методика определения процесса распиловки

Подготовка образцов для распиловки

Для распиловки используются образцы скальных горных пород произвольной формы. Размеры образца следует подбирать из расчета затрат времени на отрезание одной пластины в пределах 4-6 мин. и возможности получения из образца двух пластин толщиной 30 мм и длиной не менее 100 мм. Каждый образец должен быть промаркирован Полученные при распиловке пластины используются в следующей лабораторной работе.

Подготовка камнерезного полуавтомата ПТ-44

Исследуемый образец закрепляется в зажимном устройстве станка. Для распиловки следует использовать червячное колесо с модулем m=1, Рычагом вариатора устанавливается нужная скорость резания. Рекомендуемая скорость резания при распиловке твердых пород (яшма) - 23,4 мм/мин., при распиловке мягких пород (змеевик) – 33,4 мм/мин.

Организация наблюдений за процессом распиловки

В процессе исследований по показаниям ваттметра измеряется потребляемая мощность на холостое вращение алмазного диска и суммарная потребляемая мощность в процессе распиловки. Потребляемая мощность на распиливание определяется по формуле:

$$P_p = \sum P - P_{xx} \qquad (1)$$

где P_p - потребляемая мощность на распиливание, Вт;

$\sum P$ - суммарная потребляемая мощность, Вт;

P_{xx} - потребляемая мощность на холостое вращение алмазного диска, Вт.

Для получения достоверной информации необходимо провести 3 опыта - параллельные распиловки образца, обеспечивающие получение двух пластин.

Каждый опыт начинается с регистрации потребляемой суммарной мощности в момент начала распиловки. Затем суммарная потребляемая мощность регистрируется с помощью секундомера через каждые 30с до окончания распиловки.

Результаты наблюдений и обработки заносятся в таблицу.

Таблица

Регистрация результатов наблюдения и расчетов

Номер парал. набл.	P_{xx}	Суммарная потребляемая мощность $\sum P$, Вт										Площадь распила, S,м^2	Работа, А, Вт-с	Удельная энергоемкость, W, Вт·с/м^2
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270			
Образец №1														
1														
2														
3														
Образец №2														
1														
2														
3														

На основании наблюдений при распиловке каждого образца строятся графики, характеризующие изменение P_P во времени. Форма графика приведена на рис. 6.

Определение произведенной работы для распиливания образца

Работа распиливания характеризуется площадью фигуры 5 (рис. 6), ограниченной кривой, характеризующей изменение суммарной потребляемой мощности $\sum P$ во времени, и линией, ограничивающей мощность холостого вращения P_{xx}.

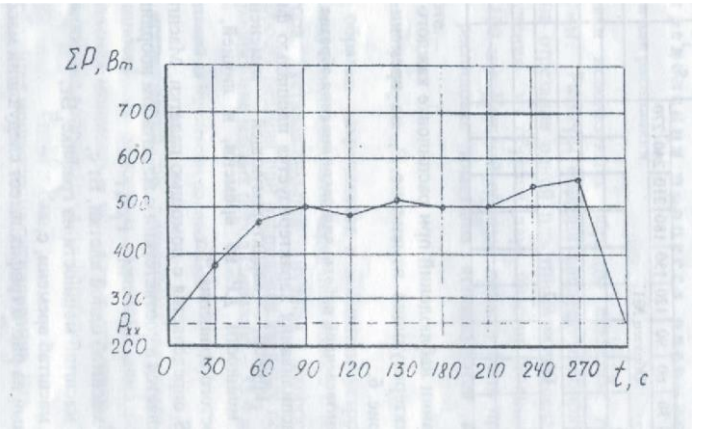


Рис. 6. График изменения потребляемой мощности во времени при распиловке яшмы технической.

Площадь 3 определяется с помощью палетки. Масштаб одной клетки палетки определяется в соответствии с масштабом координат графика

$$M = P_p t_н , \qquad (2)$$

где M - масштаб одной клетки, Вт·с;

P_p - масштаб мощности на графике, Вт;

$t_н$ - масштаб времени, с. Приведенный на рис. 6 график имеет следующий масштаб:

M = 100·30 = 3000, Вт·с.

Тогда работа распиливания образца определяется из условия:

$$A = Mm, \quad (3)$$

где A - работа, затрачиваемая на распиливание образца, Вт·с;

M - масштаб одной клетки, 3000 Вт·с;

m - количество расчетных клеток палетки в пределах площади, ограниченной кривой изменения РР во времени, шт.

Для определения количества расчетных клеток под кривой методом палетки подсчитывается количество полных клеток n_1 и количество неполных клеток n_2. Затем приближенно определяется общее количество расчетных клеток из условия:

$$M=(n_1+n_2)/2 \quad (4)$$

Определение площади распила

Площадь поверхности распила образца горной породы определяется так же по палетке. В качестве палетки может быть использован лист миллиметровки или разлинованный в клетку тетрадный лист. На палетку накладывается распиленный образец горной породы, и фиксируется площадь распила. Масштаб палетки принимается равным

$$M= 1 \text{ см}^2 = 0{,}0001 \text{ м}^2$$

Площадь распила рассчитывается из условия:

$$S=Mm, \quad (5)$$

где S - площадь распила, м^2;

M - масштаб палетки, м^2;

m - количество расчетных клеток палетки, шт.

Определение удельной энергоемкости процесса распиливания

Удельная энергоемкость распиливания на единицу площади горной породы рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{A}{S} \quad (6)$$

где W - удельная энергоемкость распиливания, Вт·с/м^2;

A - работа, Вт·с,

S - площадь распила, м^2.

Методика статистической обработки результатов наблюдений

Обобщающими результатами наблюдений, характеризующих энергоемкость процесса распиловки, являются удельные затраты мощности на единицу площади распиловки W_1, W_2, W_3, …, W_n, которые получены при проведении параллельных опытов при распиловке образца определенной горной породы.

Энергоемкость процесса распиловки образца горной породы характеризуется удельными затратами мощности, которые определяются как среднее арифметическое значение удельных затрат мощности при проведении параллельных опытов по формуле:

$$\overline{W} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_i \quad (7)$$

Дисперсия удельных затрат мощности параллельных опытов, характеризуются степень разброса вокруг среднего значения, рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{1}{1-n}\sum_{i=1}^{n} (W_i - \overline{W})^2 \quad (8)$$

Среднее квадратическое отклонение результата каждого опыта как абсолютный показатель изменчивости удельных затрат мощности определяется из выражения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{1-n}\sum_{i=1}^{n} (W_i - \overline{W})^2} \quad (9)$$

Отдельным показателем изменчивости удельных затрат мощности параллельных опытов является коэффициент вариации, который рассчитывается по формуле:

$$K_{вар} = \frac{S}{W}100\% \qquad (10)$$

Лабораторная работа № 4. Исследование акустического спектра резания горной породы алмазным диском

Отбор и подготовка образцов

Для исследований необходимо использовать образцы горных пород с известными параметрами динамической прочности, абразивности и модуля продольной упругости Образец должен иметь форму пластины толщиной 30 мм. Рекомендуется использовать пластины, полученные при выполнении лабораторной работы № 3 данного раздела. Каждый образец должен иметь свою маркировку.

Технические средства для регистрации акустического спектра

Для исследования акустического спектра резания горных пород алмазным диском используется анализатор спектра АС-1.

Акустический спектр регистрируется анализатором спектра АС-1 в пределах звуковых колебаний 16 Гц-20 кГц при распиловке образца горной породы на камнерезном станке ПТ-44, оснащенном алмазным отрезным диском АС-50 315/250 50 М. Для контроля процесса резания станок оснащен ваттметром, вольтметром и амперметром.

Техническая характеристика анализатора спектра АС-1

Прибор состоит из измерительного блока и двух микрофонов МД 52 Измерительный блок предназначен для

- усиления сигналов, поступающих от микрофонов;
- выделения из шумового спектра основных гармонических составляющих;
- измерения частоты звуковых колебаний в трех диапазонах (I–20-200Гц, II - 200-2000 Гц, III - 2-16 кГц);
- измерения уровня звукового давления акустического спектра ре, с помощью микроамперметра.

Расположение приборов и регуляторов на лицевой панели измерительного блока показано на рис. 7, Функциональная схема АС-1 представлена на рис. 8. На схеме показаны:

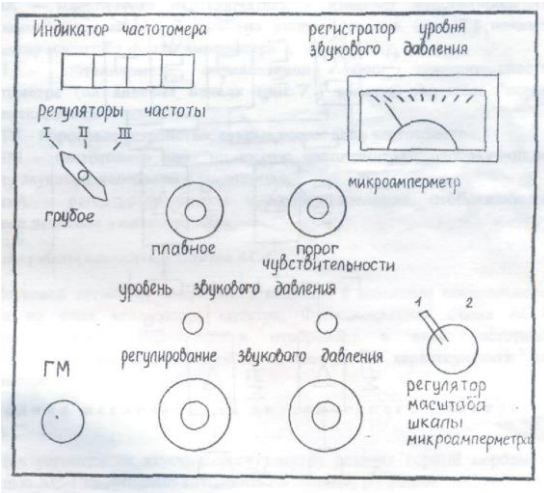


Рис. 7. Схема лицевой панели АС-1

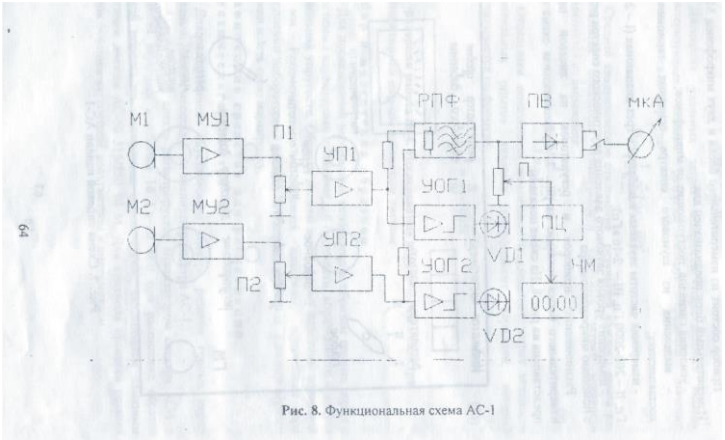


Рис. 8. Функциональная схема АС-1

Рис. 8 . Функциональная схема АС-1

МУ1, МУ2 -микрофонные усилители 1 и 2 каналов;

П1, П2 - потенциометры установки уровня сигналов с микрофонных усилителей (ручки потенциометров П1 и П2 выведены на лицевую панель (рис. 7) и обозначены "регулирование звукового давления 1 канал и 2 канал"),

УП1, УП2 - предварительные усилители;

УОГ1, УОГ2 - усилители-ограничители шумового сигнала с выходом на светоиды VD1, VD2 (на лицевой панели (рис. 7) светоиды обозначены "уровень звукового давления");

РПФ - режекторный полосовой фильтр с высокой добротностью, (перестройка частоты фильтра осуществляется ручками (рис. 7) "регуляторы частоты грубое, плавное", расположенными на лицевой панели);

ПВ - прецезионный выпрямитель выделяет положительную полуволну первой гармоники шумового сигнала;

SA - масштабный переключатель - изменяет чувствительность микроамперметра мкА в 2 раза (на лицевой панели (рис. 7) показан "регулятор масштаба шкалы амперметра");

П - потенциометр, определяющий порог чувствительности частотометра (на лицевой панели (рис. 7) имеется указатель "порог чувствительности");

ПУ - пороговое устройство, открывающее вход частотометра;

ЧМ - частотометр или "индикатор частотометра", отображающий частоту звуковых колебаний в килогерцах;

мкА - регистратор уровня звукового давления, отображающий звуковое давление в микроамперах.

Принцип работы анализатора спектра АС-1

Звуковой сигнал от микрофонов подается с помощью специального кабеля на вход анализатора спектра. Функциональная схема АС-1 усиливает сигнал, фильтрует и отображает в виде частотной характеристики на частотометре и амплитудной характеристики на амперметре.

Методика исследования акустического спектра на АС-1

Для регистрации акустического спектра резания горной породы с помощью АС-1 необходимо выполнить следующие операции.

1. Установить микрофоны в непосредственной близости от режущего инструмента, обеспечив условия предотвращения попадания влаги на микрофоны

2. Подключить микрофоны к гнезду ГМ прибора.

3. Подключить прибор к сети 220 В.

4. Установить ручки управления прибора в положение, соответствующее готовности прибора к работе. Для этого необходимо выполнить следующие операции.

4.1. Ручки потенциометров "регулирование звукового давления" (П1 и П2) установить в крайнее левое положение (повернуть против часовой стрелки до упора);

4.2. Переключатель "регуляторы частоты грубое, плавное" установить в крайнее левое положение;

4.3. Ручку "порог чувствительности" установить в крайнее левое положение, при этом индикатор частотометра должен показывать 00.00;

4.4. Переключатель 3А "регулятор масштаба шкалы микроамперметра" установить в крайнее левое положение, при этом стрелочный индикатор мкА должен быть на нуле.

5. Включить камнерезный станок, установить режим подачи с помощью вариатора в зависимости от физико-механических свойств распиливаемого образца и обеспечить работу станка в установившемся режиме резания горной породы.

6. Медленно поворачивать ручки потенциометров П1 и П2 "регулирование звукового давления" по часовой стрелке до включения светоидов УВ1 и УО2. После включения светоидов повернуть ручки П1 и П2 против часовой стрелки, стараясь уловить положение регуляторов уровня сигнала, соответствующее моменту затухания светоидов.

7. Произвести измерения параметров акустического спектра, выполняя последовательно следующие операции.

7.1. Поворачивая ручку "регуляторы частоты плавное" по часовой стрелке установить по микроамперметру на положение ручки, соответствующее максимальному уровню сигнала в выбранном частотном диапазоне. Точнее можно найти положение ручки, поворачивая ее по или против часовой стрелки.

7.2. Повернуть ручку "порог чувствительности" до включения частотометра в режим счета частоты. Рекомендуется поворачивать ручку не плавно, а дискретно, изменяя угол поворота в связи с некоторым запаздыванием включения счетного устройства.

7.3. Показания частотометра и стрелочного индикатора занести в таблицу. При необходимости взять еще 1-2 отсчета на этом же частотном диапазоне, стремясь отыскать локальный максимум.

7.4. Повернуть ручку "порог чувствительности" против часовой стрелки до сброса показаний индикатора частотометра (до установки 00.00).

7.5. Повернуть ручку "регуляторы частоты плавное" в крайнее левое положение и перейти на следующий частотный диапазон, переключив переключатель «регуляторы частоты грубое» по часовой стрелке в следующее положение.

7.6. Повторить измерения на вновь избранном диапазоне частоты, выполнив пункты 7.1-7.3 Результаты измерений занести в таблицу.

7.7. Выполнив пункты 7.4. и 7.5. и перейти на третий диапазон частот, установив переключатель "регуляторы частоты грубое" в положение III (крайнее правое).

7.8. Повторить измерения на III диапазоне частот, выполнив пункты 7.1. - 7.3. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица

Результаты измерений исследования акустического спектра резания горной породы алмазным диском

Диапазон	I			II			III		
Уровень звукового давления, мкА									
Частота звуковых колебаний, кГц									

Примечания.

1. После выполнения пункта 7.3. положение ручки "регулирование звукового давления" нельзя изменять до окончания работы, в противном случае достоверность характера спектрограммы будет нарушена.

2. В некоторых случаях на одном или двух диапазонах частот могут отсутствовать ярко выраженные основные максимумы, в этом случае рекомендуется ограничиться регистрацией локальных максимумов, стараясь как можно точнее устанавливать порог чувствительности

порогового устройства частотомера ручкой "порог чувствительности".

3. Если при измерении локальных максимумов показания стрелочного измерительного прибора весьма малы и отсчет взять затруднительно, можно перевести переключатель SA "регулятор масштаба шкалы микроамперметра" в крайнее правое положение. В этом случае в таблицу следует заносить численное значение, равное 1/2 от показания прибора.

Методика обработки результатов наблюдения

Графическое построение измеренных спектров производится на полулогарифмической бумаге для того, чтобы весь диапазон измеряемых частот умещался в размерах одного листа формата А4 и при этом масштаб был бы читаемым. Построение спектрограммы (рис. 9), характеризующей процесс резания, производится по следующей методике.

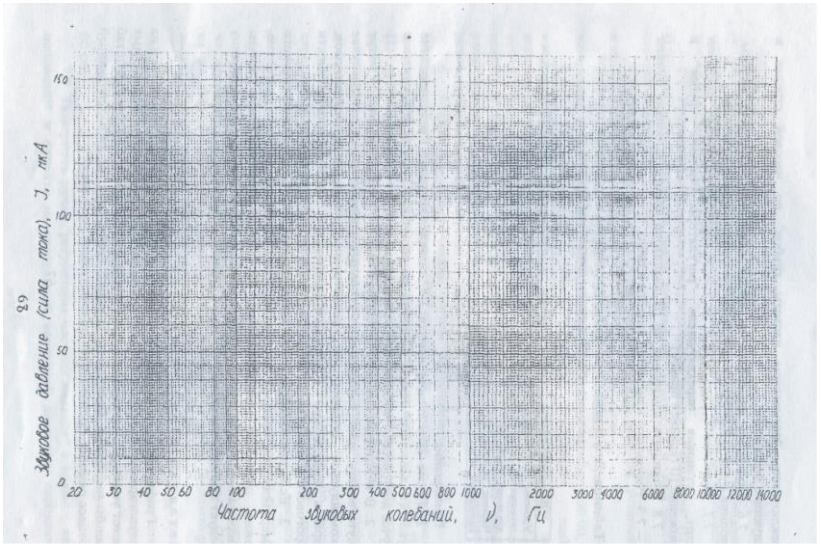


Рис. 9. Спектрограмма звуковых колебаний процесса резания.

1. На логарифмической шкале абсцисс, соответствующей трем диапазонам АС-1, откладываются частоты в герцах, на линейной шкале ординат – уровни звукового давления акустического спектра резания в микроамперах.
2. На спектрограмме находится уровень звукового давления, соответствующий зарегистрированному максимуму длины полуволны акустического спектра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спивак А. И., Попов А. Н. Разрушение горных пород при бурении скважин: Учебник для вузов. – 4-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. 208 с.
2. Ямщиков В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982.
3. Ржевский В. В., Новик г. Я. Основы физики горных пород: Учебник для вузов – 5 изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. 359 с.
4. Инструкция по применению прибора ПСХ-4 для определения удельной поверхности измельченных материалов. Издание Госкомитета по промышленности строительных материалов при Госстрое СССР. – М.: 1964. 14 с.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Л. И. Кралина, Ф. П. Сердюков, Г. А. Усов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В БУРЕНИИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по профилирующим дисциплинам
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
21.05.02 Прикладная геология
очного обучения

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено в помощь преподавателям и студентам при проведении занятий по бурению скважин, а также для подготовки курсовых и квалификационных работ по профилирующим дисциплинам. Сборник выполнен для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки и 21.05.02 Прикладная геология. При выполнении работ используются справочные материалы, которые приведены в таблицах каждого расчета. Большинство работ рассчитано на выполнение и оформление непосредственно на занятиях. Если работа не закончена, то с разрешения преподавателя она может быть оформлена и сдана к следующему занятию.

В конце приводится список литературы, использованной при написании данного учебно-методического пособия.

Расчет №1
Расчет предельного значения кернопотерь

1. Расчет предельного значения кернопотерь

$$B_k^{\min}=F(\text{НП, И},[m_k]).$$

При НП, И $[m_k]$ табличные значения (см. таблицу) расчет по формуле для реального (различного) B_k и по данным лабораторных анализов P, $P_к$, $P_{сред}$

$$B_k^{\min} = \frac{(\text{НП}-1)*\text{И}}{(\text{НП}-1)*\text{И}+m_k^{доп}} * 100\ \%$$

где $B_k^{\min}$- выход керна минимальный, %;
НП- неоднородность оруденения, %;
И- избирательность кернопотерь, %;
$m_k^{доп}$ - погрешность опробования, %.

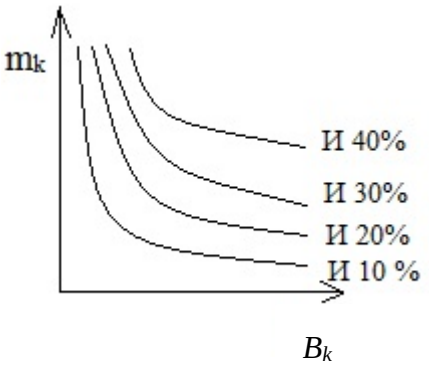
Группировка месторождений по значениям НП и И

Группы и типы руд	Примеры руд и месторождений	Характерные значения	
		НП, %	И
I. Сплошные массивные			
I.1. Мономинеральные	Сплошные мартитовые, магнетитовые, гидромагнетитовые и другие богатые железные руды криворожского типа, сплошные мономинеральные руды каменной соли, бокситы Боксонского месторождения, тальк Алгуйского месторождения и т. п.	1,2±10	40±15
I.2. Полиминеральные	Сплошные колчеданные медные и медно-цинковые месторождения ураль-ского типа, сплошные полиметаллические руды Горевского, Риддер-Сокольного и других месторождений. Апатиты Ошурковского месторождения и т. п.	4±10 2,5±10	15±10 20±10
II. Вкрапленные			
II. 1. В массивных изверженных и осадочных породах	Вкрапленные руды полиметаллических месторождений Садовое, Миргалимсай. медные руды Алмалыка, редкометал-льных месторождений Белозиминское, Африкандское и т. п.	6,5±10	7± 5
II. 2. В жилах и дайках	Руды жильных золоторудных месторождений Средней Азии, Забайкалья, Якутии, оловянных и вольфрамовых месторождений Приморья, Якутии и др.	16±5	5±4
III. Прожилково- и слоисто-вкрапленные			
III. 1. Руды штокверковых месторождений	Руды вольфрамовых, молибденовых, медно-молибденовых месторождений Забайкалья, Казахстана и Средней Азии	6,5±5	10±8
III. 2. В линейно-вытянутых зонах трещиноватости	Руды полиметаллических месторождений Алтая, Средней Азии, Прибайкалья, оловорудных месторождений Комсомольского района, ртутных месторождений Терлиг-Хая и частично Никитовки и т. п.	8,3±6	10±8
IV.Прожилковые, слоистые и переливающиеся			
IV. 1. Прожилковые	Медные руды месторождения Дальнего: никель-кобальтовые руды Тувинской АССР, асбестовое месторождение Молодежное; оловянные - Тарбальджей, Иигода, Хрустальное; золотые - Советское, Коммунар и др.	3,3±15	25±15
IV. 2. Переслаивающиеся и полосчатые	Железистые кварциты Кольского полуострова, Кривого Рога, сферосидериты Дагестана	1,7±10	30±15
V. Прожилково-гнездовые			
V. Прожилково-гнездовые	Руды ртутных месторождений Средней Азии (Хайдаркан, Акташ, Чувай), отдельных участков Никитовки и др. Мусковит Луговского, Чуйского и Согдиондонского месторождений	20±10 6,5±5	4±3 8±5

2. Изучение влияния выхода керна на погрешность опробования для различных сортов руд (для бакалаврской работы)

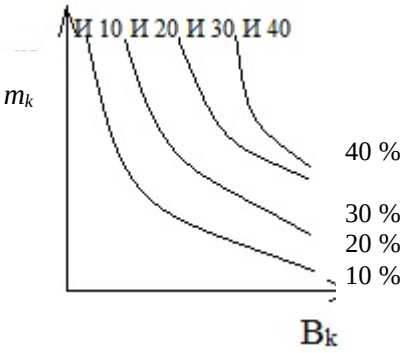
Слабонеоднородные руды **НП=2**

m_k\И	10 %	20 %	30 %	40 %
5 %	B_k^{1-1}	B_k^{1-2}	…	…
10 %	…	B_k		B_k^{2-4}
15 %	B_k^{3-1}			
20 %	…			B_k^{4-4}
25 %	B_k^{5-1}	…	…	B_k^{5-4}

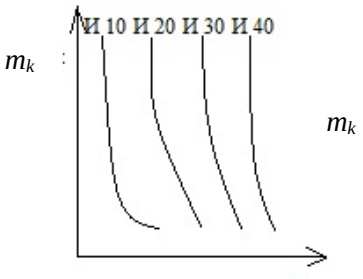


Средненеоднородные руды **НП=6**

m_k\И	10 %	20 %	30 %	40 %
5 %	B_k^{1-1}	B_k^{1-2}	…	…
10 %	…	B_k		B_k^{2-4}
15 %	B_k^{3-1}			
20 %	…			B_k^{4-4}
25 %	B_k^{5-1}	…	…	B_k^{5-4}



Сильнонеоднородные руды **НП=15**



m_k\И	10 %	20 %	30 %	40 %
5 %	B_k^{1-1}	B_k^{1-2}	…	…
10 %	…	B_k		B_k^{2-4}
15 %	B_k^{3-1}			
20 %	…			B_k^{4-4}
25 %	B_k^{5-1}	…	…	B_k^{5-4}

3. Основные аналитические задачи:

3.1. Для каких руд избирательность истирания более всего влияет на погрешность опробования?

3.2. При какой избирательности и в каких сортах руд наибольший эффект дают мероприятия по повышению выхода керна?

3.3. Постройте таблицу нормативных значений минимального выхода керна, при допустимой погрешности m_k=5 % (10 %, 15 %, 20 %, 25 %) для всех сортов руд (для всех табличных комбинаций НП и И).

Расчет №2

Определение рациональной частоты вращения бурового снаряда при твердосплавном бурении, рад/с

$$n = \frac{60*0,105\omega_0}{\pi*D_0} \approx \frac{2*\omega_0}{D_0};$$

$$n = \frac{60*\omega_0}{\pi*D_0} \approx \frac{20*\omega_0}{D_0}.$$

Таблица исходных данных

Обозначение	Наименование	Ед.изм	Пределы изменения		Примечание
			от	до	
ω_0	Окружная скорость движения резцов	м/с	1,0 крепкие породы (YI-YIII кат.)	3,0 мягкие породы (II-IYкат.)	Ограничивается сверхнормативным износом
D_0	Средний диаметр коронки	м	$46*10^{-3}$	$223*10^{-3}$	Стандарт
n_0	Частота вращения	Рад/с об/мин	9,3 93	65 500	Ограничение техническими условиями бурения

Расчет №3

Минимальная (критическая) частота вращения шнекового снаряда, рад/с

$$n_{\min} = \frac{30}{\pi} * \frac{\sqrt{g*(\tan a + f)}}{f' * R * (1 - f * \tan a)}.$$

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Единица измерения	Пределы измерения	
			от	до
R	Радиус вала шнека	м	$50*10^{-3}$	$89*10^{-3}$
a	Угол подъема винтовой ленты	град	10	30
f	Коэффициент трения породы о шнек	-	0,25	1,4
f'	Коэффициент трения породы о породу	-	0,2	1,5
g	Ускорение силы тяжести	м/с^2	9,8	

Основные аналитические задачи

1.1. Оцените влияние коэффициента трения породы о шнек и породы о породы на $n_{\min}$. Постройте графики зависимости $n_{\min}$ от f и f' для различных значений R и a.

1.2. Оцените влияние конструктивных параметров шнека (R и a) на $n_{\min}$ для вязких (f'=1,5; F=0,25). Постройте графики.

Расчет №4

Определение критической скорости восходящего потока и расхода очистного агента по предельным нормативным характеристикам (для воды малоглинистых растворов)

1. Критическая скорость восходящего потока очистного агента, м/с:

$$U_{kp} = K_{\text{ф}}\sqrt{\frac{d_u(\gamma_{\text{п}}-\gamma_{\text{р}})}{\gamma_{\text{р}}}}.$$

2. Рациональная скорость восходящего потока, м/с:

$$U_{\text{р}} = U_{\text{кр}} + U\ .$$

3. Расход промывочной жидкости, обеспечивающий рациональную скорость движения восходящего потока, м^3/с:

$$Q_{\text{кр}} = U_{\text{р}} * \frac{\pi(D_{\text{скв}}^2 - d_{\text{бур.тр.}}^2)}{4}.$$

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
$K_{\text{ф}}$	Коэффициент формы частиц шлама	-	2,5 (плоские)	5,11 (ид. шар)
d_u	Диаметр (средний размер) частиц	м	$0{,}1*10^3$	$1{,}5*10^3$
$\gamma_{\text{п}}$	Удельный вес горной породы, руды	т/м^3	2,0	5,5
$\gamma_{\text{р}}$	Удельный вес раствора	т/м^3	1	1,15
U	Желательная скорость движения шлама вверх	м/с	0,1	0,3
$d_{\text{бур.тр.}}$	Диаметр бурильной колонны, номинальный (без учета износа)	м	$32*10^{-3}$	$73*10^{-3}$
$d'_{\text{бур.тр.}}$	Диаметр бурильной колонны, с учетом износа	м	$30*10^{-3}$	$70*10^{-3}$
$D_{\text{скв}}$	Диаметр скважины, номинальный	м	$46*10^{-3}$	$225*10^{-3}$
$D'_{\text{скв}}$	Диаметр скважины, с учетом разработки ствола	м	$47*10^{-3}$ $230*10^{-3}$	$50*10^{-3}$ $250*10^{-3}$
$D''_{\text{скв}}$	Диаметр скважины, с учетом каверн	м	По геолого-геофизическим и гидрогеологическим данным $D_{\text{скв}}$ $500*10^{-3}$	
Q	Расход очистного агента	м^3/с л/мин	0,0002 10,0	0,003 160

Расчет №5

Критический расход глинистого раствора с учетом реологии раствора

$$Q_{\text{кр}} = 0{,}392 * \text{ŋ} * \frac{D+d}{\gamma}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{2*10^{-3}*\gamma*t_0*(D-d)^2}{3*\text{ŋ}}}\right]$$

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы измерения		Примечания
			от	до	
D	Диаметр долота	мм	46	225	
d	Диаметр колонны	мм	32	73	
ŋ	Пластическая вязкость	Пуаз (Па*с)	0,05	0,4	В зависимости от содержания глины в качестве раствора
γ	Уд. вес раствора	г/см^3	1,01	1,2	
t_0	Динамическое напряжение сдвига	Дин/ см^2	50	600	
Q	Расход глинистого раствора Критическая скорость восходящего потока	л/с м/с	0,1	5,0	В зависимости от диаметра скважины

Расчет №6

Расчет осевой нагрузки при твердосплавном бурении, кН

$$P = \frac{b^2 * m}{\eta \sqrt{\frac{2\omega * \mu_К * D_Н * n * K * \tan a}{b * P_Ш}}}.$$

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
b	Ширина резца	м	$3*10^3$	$30*10^3$
K	Количество резцов на ширине кольца	шт	2 (М-1)	4 (СТ-2)
m	Количество основных резцов	шт	8 (М-1)	30 (СА-3)
$\boldsymbol{\mu_к}$	Коэффициент резцов о породу	-	0,2	1,0
$\boldsymbol{\omega}$	Удельный износ резца	$м^3/Н*м$	2	60
$D_н$	Наружный диаметр коронки	М	$46*10^3$	$225*10^3$
n	Частота вращения снаряда	рад/с	60	360
a	Угол приострения резца	град	45	90
η	Коэффициент угла приострения	-	0,97	0,9
$P_ш$	Твердость породы по штампу	Па	$1*10^6$	$70*10^3$

Расчет №7

Определение механической скорости (интенсивности) углубки скважины при твердосплавном бурении, м/ч

$$V_м = V_0 * e^{-\gamma t} = V_0 * (\frac{1}{e})^{\gamma t}.$$

Если $V_0 = 60 * n * h_0 * K * m$,

то $V_м = 60 * n * h_0 * K * m * e^{-\gamma t}$.

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
n	Частота вращения снаряда	об/мин	40	600
h_0	Торцовый вылет основных резцов	М	$0{,}1*10^{-3}$	$5*10^{-3}$
m	Количество резцов	шт	4	20
K	Коэффициент включения резцов	-	0,3	0,5
e	Основание натуральных логарифмов	1/град	2,71	2,71
γ	Декремент затухания	-	0,1	1
t	Текущее время (длительность рейса)	Ч	0,5	6
$V_м$	Интенсивность углубки (механическая скорость)	м/ч	0,15	25
V_0	Начальная механическая скорость	м/ч		

Здесь $V_м$ - величина приращения глубины скважины в единицу времени на данный момент (интенсивности углубки). Выражается показательной функцией постепенного замедления от максимального начального значения V_0 в соответствии с γ.

V_0 и γ зависят от технологических условий: прочности пород, абразивности, характеристик инструмента, параметров бурения $\{P_ш, K_{абр}, X_и, P_б\}$.

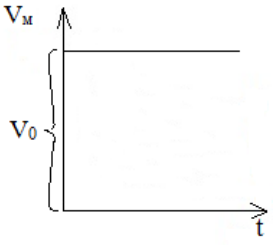
Чем легче условия бурения и лучше инструмент, тем больше V_0 (↑) и меньше γ (↓) - долго не замедляется бурение.

Чем интенсивнее режим бурения (максимальные параметры), тем больше V_0 (↑) и γ (↑) - вначале углубка идет быстро, но очень быстро замедляется - на малой глубине приемлемо.

Чем слабее режим бурения, тем меньше V_0 , но и тем медленнее затухание $V_м$ (см. рисунок).

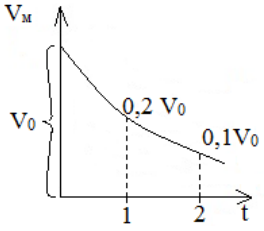
γ =0; $V_м$=V_0

Незатупл. инструмент



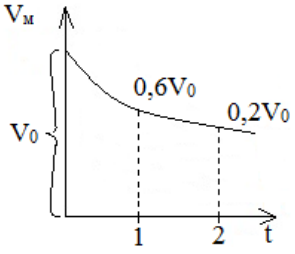
γ =1; $V_м$=V_0*$\left(\frac{1}{2,7}\right)^t$

Интенсивное затупление



γ =0,5; $V_м$=V_0*$\left(\frac{1}{2,7}\right)^t$

Интенсивное затупление



Графики изменения механической скорости
от декремента затухания

Расчет №8

Определение механической скорости бурения на основе физико-механических свойств пород при алмазном бурении, м/ч

$$V_{\text{м}} = L * F_{\text{д}}^{-a} * K_{\text{абр}}^{-a} .$$

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			однослойные алмазные коронки	импрегнированные алмазные коронки
$F_{\text{д}}$	Коэффициент динамической прочности	-	10-15	15-30
$K_{\text{абр}}$	Коэффициент абразивности пород	-	1,1-2,0	2,1-2,6
L	Коэффициент конструктивности коронки	-	5,9	0,14
$-a$	Коэффициент влияния прочности пород	-	0,36	0,2
-β	Коэффициент влияния абразивности пород	-	0,5	0,2
$V_{\text{м}}$	Механическая скорость бурения	м/ч	1,8-1,9	0,15-0,12

Расчет №9

Расчет шпинделя бурового станка

Шпиндель испытывает осевую нагрузку от механизма подачи и крутящий момент.

1. Напряжение от осевой нагрузки, Н/м^2:

$$\sigma = \frac{4Q}{\pi*(D^2-d^2)}.$$

2. Крутящий момент на шпинделе, Н·м:

$$M = 9750\frac{N^{max}}{n}.$$

$$N_{\max} = N_g * \eta * \lambda \text{, кВт}$$

3. Касательные напряжения от крутящего момента, снимаемого со шпинделя, Н/м^2:

$$\tau = \frac{M}{2W};$$

$$W = \frac{\pi}{16} * \frac{D^4-d^4}{D} \text{, м}^3.$$

4. Полное приведенное напряжение в теле шпинделя, Н/м^2:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma^2 - \tau^2}.$$

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
Q	Усилие подачи станка	Н	40000	50000
D	Наружный диаметр шпинделя	м	$51*10^{-3}$	$61*10^{-3}$
d	Внутренний диаметр шпинделя	м	$43*10^{-3}$	$53*10^{-3}$
$N_{\max}$	Мощность, передаваемая на шпиндель	кВт	-	-
n	Число оборотов шпинделя	-	80	1500
N_g	Номинальная мощность шпинделя	-	0,8	
η	КПД передачи от вала двигателя до шпинделя	-		
λ	Коэффициент возможной перегрузки: - электродвигатель -двигатель внутреннего сгорания	 - -	 1,5 1,1	 2,0 1,15

Расчет №10

Расчет механического зажимного патрона

Расчет патрона приведен для двух плашек, управляемых двумя болтами.

1. Допустимое осевое усилие по болту из условий его прочности на сжатие, Н:

$$P = F[\sigma_{сж}] .$$

2. Допустимое осевое давление, развиваемое болтом, Н:

$$P' = \frac{\pi*(d^2-d_t^2)*I*P}{4t} .$$

3. Сила трения, при закреплении ведущей трубы в двух патронах, Н:

$$T = 4P' * f.$$

4. Окружное усилие, передаваемое патроном, Н:

$$P_0 = \sqrt{T_0^2 - Q^2}$$

5. Передаваемая мощность патронами, кВт:

$$N = \frac{P_v*V}{75} .$$

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
F	Площадь поперечного сечения	м^2	0,04	0,06
$[\sigma_{сж}]$	Допустимое напряжение сжатия	Н/м^2	1000*10^5	1400*10^5
d	Наружный диаметр резьбы болта	м	0,03	0,5
d_1	Внутренний диаметр резьбы болта	м	0,025	0,4
I	Длина резьбы болта	м	0,03	0,5
P	Наибольшее удельное давление болта	Н/м^2	65*10^5	75*10^5
t	Шаг резьбы болта	м	0,003	0,004
f	Коэффициент трения между плашками и бурильной трубой	-	0,35	0,4
Q	Осевое усилие	Н	40000	120000
V	Окружная скорость	м/с	0,2	0,85

Расчет №11

Расчет фрикционной лебедки

1. Скорость вращения подъемного вала лебедки, мин$^{-1}$:

$$n_2 = n_1 \frac{d_1}{d_2} \varphi.$$

2. Скорость навивки каната на барабан, м/с:

$$V = \frac{(D+d)n_2}{60}.$$

3. Окружная скорость на ободе большого фрикционного колеса, м/с:

$$V_1 = \frac{\pi * d_2 * n_2}{60}.$$

4. Окружное усилие на ободе барабана, Н:

$$P = \frac{75 * N * \eta}{V}.$$

5. Окружное усилие на ободе фрикционного колеса, Н:

$$P_ф = \frac{75 * N * \eta}{V_1}.$$

6. Необходимое усилие нажатия фрикционных колес друг на друга, Н:

$$Q = \frac{k * P_ф * \sin \alpha}{f}$$

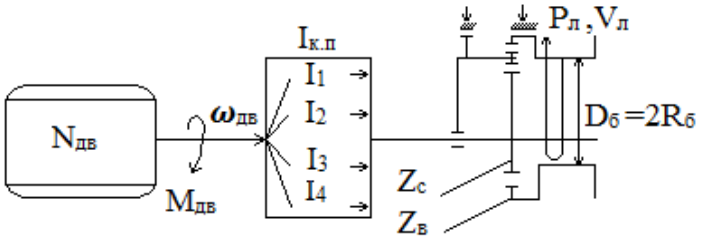
Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
n_1	Число оборотов приводного вала станка	мин$^{-1}$	80	
d_1	Диаметр малого фрикционного колеса	м	0,15	
d_2	Диаметр большого фрикционного колеса	м	0,8	
φ	Коэффициент скольжения при фрикционной передаче	-	0,98	
D	Диаметр барабана	м	0,22	
d	Диаметр каната	м	0,12	
N	Мощность электродвигателя станка	кВт	11	
η	КПД передачи от двигателя до барабана	-	0,8	
k	Коэффициент запаса	-	1,5	
α	Угол наклона боковых поверхностей клиньев	град	12	15
f	Коэффициент трения чугуна по стали	-	0,2	

Расчет №12

Анализ взаимосвязи мощности привода, конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик планетарной лебедки бурового станка

1. Принципиальная расчетная схема



2. Основные расчетные формулы:

$$N_{\text{дв}} = 713 * M_{\text{дв}} * \omega_{\text{дв}}(\text{л.с.}) = 973 * M_{\text{дв}} * \omega_{\text{дв}}, \text{кВт}$$

$$M_{\text{Б}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} * i_{\text{к.п.}} * \frac{Z_{\text{с}}}{Z_{\text{В}}}, \text{Н*м};$$

$$\text{Р}_{\text{л}} = \frac{M_{\text{Б}}}{R_{\text{Б}}}, \text{Н};$$

$$\omega_{\text{Б}} = \frac{N_{\text{ДВ}}}{M_{\text{Б}}} * \frac{i}{i_{\text{К.П.}}} * \frac{Z_{\text{В}}}{Z_{\text{С}}}, \text{об/мин};$$

$$V_{\text{Л}} = \omega_{\text{Б}} * 2\pi * R_{\text{Б}}, \text{м/мин}.$$

Таблица основных исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
$N_{\text{дв}}$	Мощность двигателя	кВт л.с.	10 15	150 220
$\omega_{\text{дв}}$	Число оборотов двигателя	об/мин	1200	5000
$I_{\text{к.п.}}$	Передаточное число коробки перемены передач	-	1 (прямая передача)	10 (высшая передача)
$D_{\text{б}}$	Диаметр барабана лебедки	м	0,2	0,7
$Z_{\text{с}}$	Число зубьев солнечной шестерни лебедки	шт	50	150
$Z_{\text{в}}$	Число зубьев венца лебедки	шт	250	1500

3. Основные эксплуатационные характеристики лебедки

$P_{\text{л}}$ – рабочее усилие (грузоподъемность на прямом канате, кГс, Тс, кН, даН) на конкретной передаче ($P_{\text{л}1}$, $P_{\text{л}2}$, $P_{\text{л}3}$, …);
$V_{\text{л}}$ – скорость подъема груза (на прямом канате, м/мин) на конкретной передаче ($V_{\text{л}1}$, $V_{\text{л}2}$, $V_{\text{л}3}$, …).

4. Основное задание

4.1. Рассчитать и построить графики зависимости эксплуатационных характеристик лебедки ($V_{\text{л}}$, $P_{\text{л}}$) от конкретных параметров бурового станка: $Z_{\text{с}}$ и $Z_{\text{в}}$, $D_{\text{б}}$, i_{i}.

4.2. Рассчитать и построить графики зависимости мощности и механической характеристики ($\omega_{\text{дв}}$=F($N_{\text{дв}}$)) двигателя.

Расчет №13

Расчет талевой системы

1. Натяжение на струне талевой системы, Н:

$$P_m = \frac{P_л}{\beta^m}.$$

2. Натяжение каната наматываемого на барабан лебедки, Н:

$$P_л = Q * \frac{\beta^m(\beta-1)}{\beta^m-1}.$$

3. Натяжение закрепленного конца каната, Н:

$$P_m = Q * \frac{\beta-1}{\beta(\beta^m-1)}.$$

4. КПД талевой системы, Н:

$$\eta = \frac{1}{m} * \frac{(\beta^m-1)}{\beta^m*(\beta-1)}.$$

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
β	Коэффициент сопротивления узла одного ролика	-	1,03	1,04
m	Число струн талевой системы	шт	1	6
Q	Нагрузка на крюке	Н	15000	55000

Расчет №14

Расчет колонны бурильных труб на прочность

Сечение I-I

1. Напряжение растяжения, Н/м^2:

$$\sigma_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{кр}}}{F}.$$

2. Напряжение кручения, Н/м^2:

$$\tau = \frac{M_{\text{б}}}{W_{\text{р}}}.$$

3. Крутящий момент при бурении, Н*м:

$$M_{\text{б}} = \frac{N_{\text{б}}}{\omega}.$$

4. Мощность, затрачиваемая на бурение, кВт:

$$N_{\text{б}} = N_{\text{тр}} + N.$$

5. Первый момент сопротивления, м^3:

$$W_{\text{р}} = 0{,}1 * \frac{d_{\text{н}}^4 - d_{\text{в}}^4}{d_{\text{н}}}.$$

6. Суммарное напряжение в сечение I-I:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{р}}^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma_g].$$

Сечение II-II

7. Напряжение сжатия, Н/м^2:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{ос}}}{F}.$$

8. Напряжение изгиба, Н/м^2:

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{\pi^2 * E * D * f}{2 * 1^2}.$$

9. Напряжения кручения, Н/м^2:

$$\tau = \frac{M_{\text{б}}}{W_{\text{р}}}.$$

10. Мощность, затрачиваемая на бурение, кВт:

$$N_{\text{б}} = 1{,}5 * N_{\text{з}}.$$

11. Суммарное напряжение в сечение II-II, Н/м^2:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}})^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma_g].$$

12. Запас статической прочности колонны:

$$n = \frac{\sigma_г}{\sigma_\Sigma} \geq 1{,}7 .$$

13. Запас прочности по нормальным напряжениям:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{из} * k_g} .$$

14. Запас прочности по касательным напряжениям:

$$n_\tau = \frac{\tau_г}{\tau} .$$

15. Суммарный запас прочности:

$$n_\Sigma = \frac{n_\sigma * n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 * n_\tau^2}} .$$

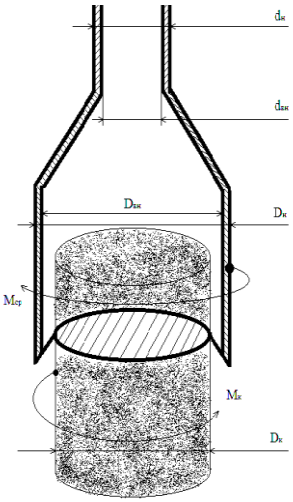
Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
$Q_{кр}$	Нагрузка на крюке	Н	0	55000
F	Площадь опасного сечения	м^2	2,16*10^{-4}	7,06*10^{-4}
$M_б$	Крутящий момент при бурении	Н*м	70	6500
$W_р$	Полярный момент сопротивления	м^3	5,4*10^{-6}	10,6*10^{-6}
$N_б$	Мощность, затрачиваемая на бурение	кВт	1,5	70
$d_н$	Наружный диаметр бурильных труб	м	42	54
$d_в$	Внутренний диаметр бурильных труб	м	22	40
$P_{ос}$	Осевая нагрузка на забой	Н	0	120000
E	Модуль упругости	Н/м^2	0,7*10^{11}	2,1*10^{11}
D	Диаметр скважины	м	0,037	0,133
f	Стрела прогиба	м	0,01	0,025
I	Длина полуволны	м	5	30
$\boldsymbol{\omega}$	Угловая скорость вращения снаряда	с$^{-1}$	8,3	156
$N_{гр}$	Затраты мощности на вращение колонны бурильных труб	кВт	12	40
$N_з$	Затраты мощности на разрушение забоя	кВт	1,2	2,5
$[\sigma_g]$	Предел прочности материала, из которого изготовлены бурильные трубы	Н/м^2	230*10^5	683*10^5

Расчет №15

Сопоставление конструктивных характеристик бурового снаряда и параметров керна при срыве вращением

1. Принципиальная схема и таблица исходных расчетных данных



Пара-метр	Наименова-ние	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
$d_н$	Наружный диаметр бурильных труб	м	$32*10^{-3}$	$73*10^{-3}$
$d_{вн}$	Внутренний диаметр бурильных труб	м	$22*10^{-3}$	$59*10^{-3}$
$D_н$	Наружный диаметр колонковой трубы	м	$34*10^{-3}$	$219*10^{-3}$
$D_{вн}$	Внутренний диаметр колонковой трубы	м	$27*10^{-3}$	$203*10^{-3}$
$D_к$	Диаметр керна	м	$23*10^{-3}$	$199*10^{-3}$
$[\tau_{тр}]$	Прочность материала труб при кручении	МПа	162	284
$[\tau_к]$	Прочность горных пород при кручении	МПа	1,5	56,0

2. Основные аналитические зависимости.

Момент срыва керна $M_{ср}$ равен моменту реакции керна $M_к$, Н*м :

$$M_{ср} = [\tau_{тр}] * W_{тр} = [\tau_к] * W_к = M_к$$

где $W_{тр}$- момент сопротивления поперечного сечения труб, м^3:

а) бурильных труб:

$$W_{тр}^{б.тр} = \frac{\pi}{16} * \frac{d_н^4 - d_{вн}^4}{d};$$

б) колонковых труб:

$$W_{тр}^{к} = \frac{\pi}{16} * \frac{D_{н.к.т.}^4 - D_{вн.к.т}^4}{D_{н.к.т}};$$

$W_к$- момент сопротивления поперечного сечения керна, м^3:

$$W_к = \frac{\pi * D_к^4}{32}.$$

3. Основные аналитические задачи

3.1. Задайте некоторое значение прочности горной породы и материала труб. Постройте графики зависимости минимальных значений наружного диаметра бурильных труб (при постоянной толщине стенок) от диаметра керна.

3.2. При тех же условиях постройте график зависимости диаметра колонковой трубы от диаметра срываемого керна.

3.3. Задайте некоторый постоянный диаметр керна и материала труб. Постройте графики зависимости минимального диаметра бурильных труб от прочности горной породы.

3.4. При тех же условиях постройте график зависимости диаметра колонковой трубы от прочности горной породы.

3.5. Задайте диаметры труб и керна, постройте график зависимости необходимой прочности труб от диаметра срываемого керна.

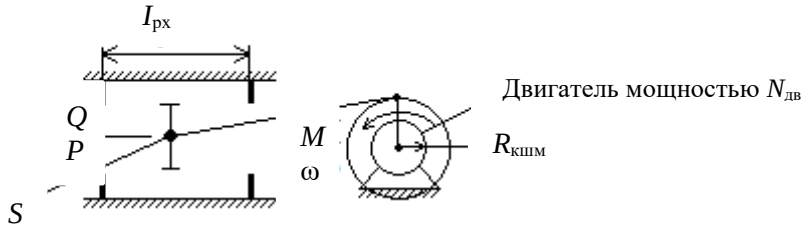
3.6. Задайте диаметры труб, прочность горной породы и постройте график зависимости необходимой прочности труб от диаметра срываемого керна.

3.7. Повторите расчеты 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 при измененных начальных условиях.

Расчет №16

Анализ взаимосвязи мощности привода, конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик бурового промывочного насоса

1. Принципиальная расчетная схема



2. Основные расчетные формулы

$$N_{дв} = K_i * M * \beta ,$$

где М – крутящий момент, кГс*м;
ω- частота вращения, об/мин;
$N_{дв}$- мощность двигателя (при K_1=973 кВт, а при K_2=713 л. с.).

$$Q = S * I_{рх} * \omega;$$

$$P = \frac{M}{R_{кшм}} * \frac{1}{S};$$

$$I_{рх} = 2 * R_{кшм} ,$$

где Q – расход промывочной жидкости, м^3/мин;
S – площадь поршня, м^2;
$I_{рх}$ – ход поршня, м;
P – рабочее давление в напорной магистрали, кГс/м^2
$R_{кшм}$ – радиус кривошипа, м.

3. Расчетно-аналитические задачи

3.1. При постоянной мощности асинхронного двигателя:
- Как влияет площадь поршня S на эксплуатационные характеристики насоса (построить графики $P=f_1(S)$ и $Q=f_2(S)$ для N=10, … 50 кВт).
- Как влияет радиус кривошипа и величина рабочего хода поршня на эксплуатационные характеристики насоса.

3.2. С изменяемой мощностью:
- До какой глубины возможно применение насоса с приводом 10, 20, …50 кВт, если гидросопротивления на каждые 100 м скважины при алмазном бурении (Q=300 л/мин) составляют 10 атмосфер, при твердосплавном бурении (Q=60 л/мин) 7 атмосфер, при шарошечном бурении (Q=100 л/мин) 15 атмосфер.

Расчет №17

Расчет эрлифта для откачки воды из скважины

Условия откачки:

- Проектный дебит откачки Q, м^3/ч.
- Глубина статического уровня в скважине h_0, м.
- Проектное понижение уровня воды при откачке $h_п$, м.
- Мощность водоносного горизонта m, м.
- Глубина залегания водоносного горизонта L, м.
- Конструкция эрлифта с расположением эрлифтных труб по схеме «рядом».

Расчетная схема представлена на рисунке.

1. Расчет глубины погружения смесителя

1.1 Определяется проектный динамический уровень воды в скважине, при откачке воды относительно излива:

$$h_g = h_0 + h_п + h_и ,$$

где h_g – проектный динамический уровень, м;

h_0– статический уровень, м;

$h_п$– проектное понижение уровня, при откачке ($h_п \leq 0{,}4\ m$), м;

m – мощность водоносного горизонта, м;

$h_и$ – высота расположения излива относительно устья скважины (0,5 м), м.

1.2. Определяется глубина погружения смесителя относительно уровня излива, при проектном динамическом уровне воды в скважине:

$$H = K + h_g ,$$

где H- погружение смесителя относительно уровня излива, м;

h_g- динамический уровень относительно излива, м;

K- коэффициент погружения смесителя.

Абсолютная величина коэффициента погружения смесителя K в зависимости от динамического уровня определяется опытным путем и поэтому принимается при расчетах согласно табл.1.

Таблица 1

Зависимость коэффициента погружения смесителя эрлифта от динамического уровня

h_g	70-40	60-20	30-10
K	1,4-1,6	1,7-2	2,5-3

2. Расчет расхода и давления воздуха, нагнетаемого в эрлифтную систему

2.1. Определяется удельный расход воздуха для откачки из скважины 1 м^3 воды:

$$W_0 = \frac{h_g}{C_0 * \log_{10} \frac{h_g * (K-1) + 10}{10}} ,$$

где W_0 – удельный расход воздуха, приводимый к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин;

h_g– динамический уровень воды в скважине, м;

K – принятый коэффициент погружения смесителя;

C_0 – опытный коэффициент, зависящий от коэффициента погружения смесителя, принимается согласно табл. 2.

Таблица 2

Зависимость коэффициента C_0 от K

K	4	3,35	2,85	2,5	2,2	2	1,8	1,7	1,55
C_0	14,3	13,9	13,6	13,1	12,4	11,5	10	9	8

При расчете удельного расхода воздуха для откачки из скважины жидкостей, имеющих удельный вес больше единицы ($\gamma_ж > 1$), г/см^3, необходимо W_0 умножить на $\gamma_ж$.

2.2. Определяется полный расход воздуха для откачки воды из скважины с проектной производительностью Q, м^3/ч:

$$\sum W_0 = \frac{Q * W_0}{60},$$

где $\sum W_0$ – суммарный полный расход воздуха, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин;
Q – проектный дебит откачки, м^3/мин
W_0 – удельный расход воздух, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин.

3. Расчет необходимого давления и производительности для выбора компрессора

3.1. Определение необходимого давления сжатого воздуха, при спуске компрессора:

$$P_п = 0{,}01 * \left(K * (h_g - h_0\right) + P_1),$$

где $P_п$ – пусковое давление компрессора, МПа;
K – принятый коэффициент погружения смесителя;
h_g – динамический уровень воды в скважине, м;
h_0 – статический уровень воды в скважине, м;
P_0 – потери напора в воздухопроводах, при спуске компрессора: $P_1 = 1$ м. вод. ст.

3.2. Определение рабочего давления компрессора в процессе откачки воды из скважины:

$$P_р = 0{,}01 * (h_g * (K - 1) + P_2,$$

где $P_р$ – рабочее давление компрессора, МПа;
h_g – динамический уровень воды в скважине, м;
K – принятый коэффициент погружения смесителя;
$P_р$ – потери напора в воздухопроводах, при процессе откачки.

3.3.Определение рабочего расхода сжатого воздуха в процессе откачки воды из скважины с проектной производительностью Q, м^3/ч:

$$W_р = \sum W_0 * \frac{P_0}{P_p},$$

где $W_р$ – рабочий расход промывочной жидкости, м^3/мин;
$\sum W_0$ – полный расход воздуха, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин;
P_0 – атмосферное давление воздуха, P_0=0,1 МПа;

$P_р$ – рабочее давление сжатого воздуха, МПа.

3.4. Выбор компрессора для оборудования эрлифта.

Для откачки воды из скважины м проектной производительностью Q давление компрессора $P_к$ и производительностью компрессора $q_к$ выбирается согласно следующим условиям:

$$Р_к \geq Р_п; \quad P_к \geq Р_р; \quad q_к \geq W_р.$$

4. Расчет внутренних диаметров эрлифтных колон

4.1. Выбор скоростей движения потоков воздуха и аэрированной воды в эрлифтных колоннах труб.

Для устойчивой и эффективной работы эрлифта необходимо обеспечить следующие скорости движения потоков воздуха и аэрировонной воды в эрлифтных колоннах труб:

$V_в$ – скорость потока в воздухопроводной колонне труб:

$$V_в=10 \text{ м/с};$$

$V_с$ – скорость потока аэрированной воды в водоподъемной колонне труб над смесителем

$$V_с=(2\text{-}4) \text{ м/с};$$

$V_н$ – скорость потока аэрированной воды в водоподъемной колонне труб, перед изливом

$$V_н=(6\text{-}12) \text{ м/с}.$$

$V_с$ и $V_н$ зависят от h_g (чем больше h_g, тем больше $V_с$ и $V_н$).

4.2. Расчет площади сечения потока воздуха в воздухопроводной колонне:

$$\omega_в = \frac{W_р}{60 * V_в},$$

где $\omega_в$ – площадь сечения потока воздуха в воздухопроводной колонне, м^2;

$W_р$ – рабочий расход сжатого воздуха, м^3/мин;

$V_р$ – скорость потока воздуха в воздухопроводной колонне, м/с.

4.3. Расчет площади потока аэрированной воды в водоподъемной колонне

4.3.1. Определение расхода воды над смесителем:

$$q_c = \frac{Q}{360} + \frac{W_p}{60},$$

где $q_с$– расход аэрированной воды над смесителем, м^3/с;

Q – проектный дебит откачки, м^3/ч;

$W_р$ – рабочий расход сжатого воздуха, м^3/мин.

4.3.2. Расчет площади сечения потока аэрированной воды над смесителем:

$$\omega_с = \frac{q_с}{V_с},$$

где $\omega_с$ – площадь сечения потока над смесителем, м^2;

$q_с$ – расход потока над смесителем, м^3/ч;

$V_с$ – скорость потока над смесителем, м/с.

4.3.3. Определение расхода аэрированной воды перед изливом:

$$q_н = \frac{Q}{3600} + \frac{\sum W_0}{60},$$

где $q_н$ – расход аэрированной воды перед изливом, м^3/ч;

Q – проектный дебит откачки, м^3/ч;

$\sum W_0$– суммарный полный расход воздуха, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин.

4.3.4. Расчет площади сечения аэрированного воды перед изливом:

$$\omega_{н} = \frac{q_{н}}{V_{н}},$$

где $\omega_{н}$ – площадь потока перед изливом, м^3;

$q_{н}$ – расход потока перед изливом, м^3/ч;

$V_{н}$ – скорость потока перед изливом, м/с.

4.4. Расчет внутренних диаметров внутренних эрлифтных колонн

Внутренние диаметры эрлифтных колонн определяются на основании площадей сечений потоков воздуха в воздухопроводной колонне и аэрированной воды в водоподъемной колонне по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4\omega_{н}}{\pi}},$$

где d- внутренний диаметр трубы, м;

$\omega_{н}$- площадь сечения потока в трубе, м^2.

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
L	Глубина залегания водоносного горизонта	м	50	150
h_0	Статический уровень воды	м	8	26
$h_{н}$	Понижение уровня воды	м	1	5
Q	Дебит	м^3/ч	10	130
m	Мощность водоносного горизонта	м	2	14

Расчет №18

Цементирование скважин

Основная цель цементирования – получение прочного водогазонефте непроницаемого, концентрично расположенного в затрубном пространстве кольца цементного камня, который по всей высоте обеспечивал бы разобщение и надежную изоляцию вскрытых скважиной продуктивных горизонтов и зон осложнений.

Способ цементирования выбирается в зависимости от температуры в ее стволе, опасности поглощения при заданной высоте подъема цементного раствора и возникновения затрубных проявлений в период ОЗЦ для каждой конкретной скважины.

Расчет цементирования сводится к определению:

- потребного количества сухого цемента, воды, промывочной жидкости;
- конечного давления при цементировании и выбора типа и потребного количества цементировочных агрегатов и цементно-смесительных машин;
- продолжительности цементирования.

1. Определение потребного количества сухого цемента, воды, продавочной жидкости при цементировании обсадной колонны

1.1. Определение потребного количества цементного раствора, м^3:

$$V_{\text{п.р.}} = \frac{\pi}{4}\left[(k^2 \cdot D^2 - d^2) \cdot h_{\text{ц}} + h_0 \cdot d_{\text{в}}^2\right],$$

где k – коэффициент увеличения ствола скважины (k = 1,1÷1,25).

1.2. Определение удельного веса цементного раствора, г/с^3:

$$\gamma_{\text{ц.р}} = \frac{\gamma_{\text{ц}} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot (1+m)}{m \cdot \gamma_{\text{ц}} + \gamma_{\text{в}}},$$

где $\gamma_{\text{ц}}$, $\gamma_{\text{в}}$ - соответственно удельный вес сухого цемента и воды ($\gamma_{\text{ц}}$ = 3,15 г/см^3, $\gamma_{\text{в}}$ =1,0 г/см^3);

m – цементное отношение.

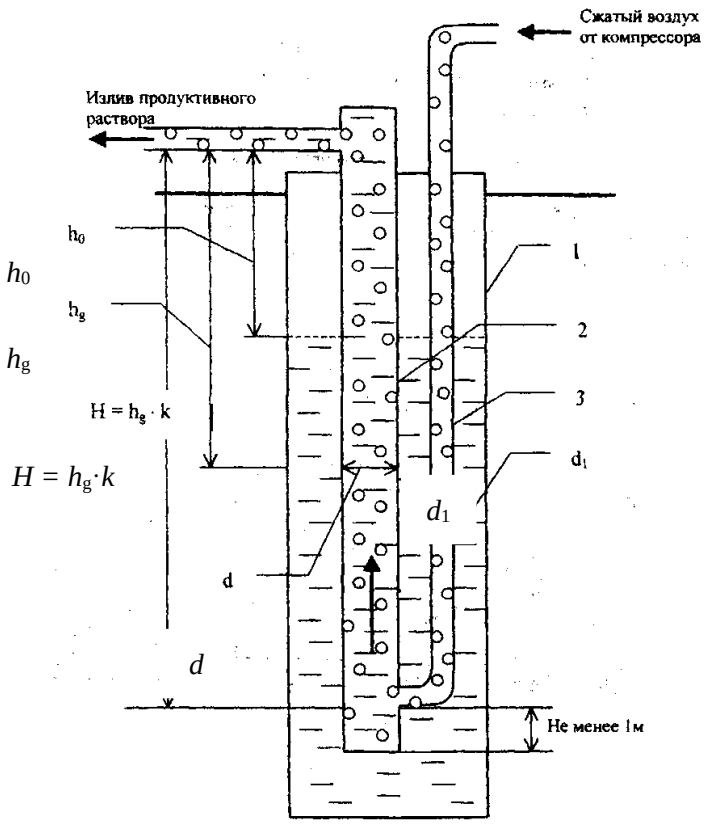


Схема эрлифта с расположением труб «рядом»:

1 – обсадные трубы; 2 – водоподъемные трубы; 3 – воздухопроводные трубы

1.3. Определение потребного количества сухого цемента, т:

$$Q_{\text{ц}} = e \cdot \frac{1}{1+m} \cdot \gamma_{\text{ц.р}} \cdot V_{\text{ц.р}} ,$$

где e – коэффициент, учитывающий потери сухого цемента при транспортировке и затворении (e = 1,03÷1,05).

1.4. Определение потребного количества воды для затворения цемента, м^3:

$$V_{\text{в}} = m \cdot Q_{\text{ц}} .$$

1.5. Определение объема продавочной жидкости, м^3:

$$V_{\text{пр}} = \Delta \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2_{\text{вн.ср}} \cdot (L - h_0) ,$$

где Δ - коэффициент, учитывающий сжатие жидкости (Δ = 1,03 ÷ 1,05).

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы измерений		Примечание
			от	до	
D	Диаметр долота	м	161	445	D (161, 172, 190, 214, 243, 269, 295, 320, 346, 370, 394, 445)
d	Диаметр обсадных труб	м	114	340	d (114, 127, 146, 168, 178, 194, 219, 245, 273, 299, 324, 340, 508)
δ	Толщина стенки обсадных труб	мм	6,5	12	
$d_{\text{вн.ср}}$	Средний внутренний диаметр обсадных труб	м	$(d-\delta)$		
$h_{\text{ц}}$	Высота подъема цементного раствора за колонной	м	50	4000	
h_0	Высота цементного стакана в колонне	м	20	20	
L	Глубина спуска обсадных труб	м	50	4000	

2. Определение конечного давления при цементировании

2.1 Определение давления в цементировочной головке в конце цементирования, атм:

$$P_{\max} = P_{\text{гидр}} + 0{,}1 \cdot \left[\left(L - h_{\text{ц}}\right)\gamma_{\text{г.р}} + \left(h_{\text{ц}} - h_0\right)\gamma_{\text{г.р}} - (L - h_0)\gamma_{\text{пр.ж}}\right] + (15 \div 20),$$

где $P_{\text{гидр}}$ – гидравлические сопротивления, атм.:

$$P_{\text{гидр}} = 0{,}01L + 8, (V_{\text{восх}} \leq 1 \text{ м/с и 1 агрегатом}),$$

$$P_{\text{гидр}} = 0{,}02L + 16, (V_{\text{восх}} > (1 \div 2)\text{м/с});$$

L – длина эксплуатационной колонны, м;

$h_{\text{ц}}$ - высота цементирования, м;

h_0 - высота цементного стакана, м;

$\gamma_{\text{г.р}}$ - плотность глинистого раствора, г/см^3;

$\gamma_{\text{п}}$ – плотность продавочной жидкости, г/см^3.

$(15 \div 20)$ - скачок давления на манометре в момент посадки продавочной пробки на упорное кольцо, атм.

Выбор ЦА $P_{\text{агр}} \geq P_{\max}$(выписываем характеристику ЦА – P и q).

2.2. Определение производительности цементировочного кольца агрегата в конце цементировочного агрегата в конце цементирования, м^3/с:

$$\sum q = \frac{\pi}{4} \cdot (K^2 \cdot D^2 - d^2) \cdot V_{\text{восх,}}$$

где K – коэффициент кавернозности;

$V_{\text{восх}}$ - скорость восходящего потока, м/с.

2.3. Определение необходимого количества цементировоч-ных агрегатов по скорости, шт:

$$n = \frac{\sum q}{q^{\text{v}}} + 1,$$

где $\sum q$ – необходимый расход для обеспечения заданной скорости поднятия цементного раствора за эксплуатационную колонну, м^3/с;

q^v – производительность выбранного агрегата на высшей скорости, л/с.

Характеристика 3ЦА-400

Скорость	Число двойных ходов поршня насоса в 1мин	*d* = 100 мм		*d* = 115 мм		*d* = 127 мм	
		подача, л/с	давление, атм	подача, л/с	давление, атм	подача, л/с	давление, атм
I	53,2	6,5	400	8,6	305	11,25	232
II	76,2	9,6	270	12,7	205	16,10	163
III	112,5	14,2	182	18,7	138	23,8	110
IV	156,0	19,7	131	26,0	100	33,0	79

Характеристика ЦА-320М

Режим работы	Скорость	Число двойных ходов поршня насоса в 1мин	*d* = 90 мм		*d* = 100 мм		*d* = 115 мм		*d* = 127 мм	
			подача, л/с	подача, л/с	давление, атм	давление, атм	давление, атм	давление, атм	давление, атм	давление, атм
Максимальная производительность	I	28	2,4	390	3,0	305	4,1	225	5,1	182
	II	54	4,5	202	5,8	159	7,9	117	9,9	95
	III	97	8,3	113	10,4	88	14,2	65	17,6	52
	IV	125	10,6	87	13,5	69	18,3	50	22,8	40
Максимальное давление	I	27	2,3	400	2,9	320	3,9	230	4,9	185
	II	41	3,5	231	4,4	182	6,0	134	7,5	109
	III	73	6,2	130	7,8	103	10,7	75	13,3	61
	IV	94	8,0	102	10,1	80	13,8	59	17,1	47

2.4. Определение количества цементно-смесительных машин, шт:

$$i = \frac{Q_{\text{ц}}}{20},$$

где $Q_{\text{ц}}$ - количество цемента, необходимое для цементирования эксплуатационной колонны, т.

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы измерений	
			от	до
D	Диаметр долота	м	161	445
d	Диаметр обсадных труб	м	114	340
L	Глубина спуска обсадной колонны	м	50	4000
$h_{\text{ц}}$	Высота подъема цементного раствора за колонной	м	50	4000
h_0	Высота цементного стакана в колонне	м	20	20
$\gamma_{\text{г.р}}$	Удельный вес глинистого раствора	г/см^3	1,2÷1,25÷ 1,3	
$\gamma_{\text{ц.р}}$	Удельный вес цементного раствора	г/см^3	1,9÷ 1,85 ÷ 1,8	
$\gamma_{\text{п}}$	Удельный вес продавочной жидкости	г/см^3	1,0÷ 1,25	
$V_{\text{восх.}}$	Скорость подъема восходящего потока цементного раствора в затрубном пространстве: - для кондукторов и технических колонн - для эксплуатационных колонн	м/с	 (0,6÷ 0,8) (1,2÷1,5)	
k	Коэффициент увеличения диаметра ствола скважины	-	1,1	1,25

3. Определение продолжительности цементирования обсадной колонны

Возможность начала закачки определяется следующим условием:

$$P^V > P_г,$$

где P^V – максимальное давление, развиваемое ЦА на наивысшей скорости, атм;
$P_г$ - давление на преодоление в скважине в скважине гидравлических сопротивлений, атм.

$$P_г = 0{,}01L + 8 \text{ (при } V_{восх} \leq 1 \text{ м/с)};$$

$$P_г = 0{,}02L + 16 \text{ (при } V_{восх} \leq 2 \text{ м/с)}.$$

Если условие не выполняется, выбираем ближайшую скорость, на которой

$$P_{агр} > P_г.$$

3.1. Определяем, сколько цементного раствора будет закачано на этих скоростях:

$$h_{ц.р}^{IV} = \frac{10(P_г - P^V)}{(\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р})},$$

где $h_{ц.р}^{IV}$ - высота столба цементного раствора, который необходимо закачать на IV скорости, м;

P^V – давление, создаваемое насосом агрегата на V скорости.

Определяем объем раствора, закачанного на IV скорости, м^3:

$$V_{ц.р}^{IV} = \frac{\pi \cdot d_{вн.ср}^2}{4} \cdot h_{ц.р}^{IV},$$

Определяем объем цементного раствора, закачанного на V скорости, м^3:

$$V_{ц.р}^{V} = V_{ц.р} - V_{ц.р}^{IV}.$$

3.2. Определение высоты столба продавочной жидкости в колонне при работе агрегата на V скорости, м:

$$I_i^V == \frac{L \cdot (d_{вн}^2 + k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2) + (k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2) \cdot \frac{10(P_н^V - P_г)}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}} - \frac{4V_{ц.р}}{\pi}}{(k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2)\frac{\gamma_{ц.р} - \gamma_{пр.ж}}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}} + d_{вн}^2}.$$

Определяем постоянные элементы для данной формулы:

$$a = L \cdot (d_{вн}^2 + k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2);$$

$$b=(k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2);$$

$$c = \frac{\gamma_{ц.р} - \gamma_{пр.ж}}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}};$$

$$Z = \frac{4V_{ц.р}}{\pi};$$

$$I_1^V = \frac{a + b \cdot \frac{10(P_н^V - P_г)}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}} - Z}{b \cdot c + d_{вн}^2}.$$

3.3. Определение высоты подъема цементного раствора за колонной на V скорости агрегата, м:

$$I_2^V = \frac{a + b \cdot \frac{10(P_{\text{н}}^V - P_{\text{г}})}{\gamma_{\text{ц.р}} - \gamma_{\text{гл.р}}} - Z}{b \cdot c + d_{\text{вн}}^2},$$

т. е.

$$I_2^v = \frac{Z - d^2(L - I_1^v)}{b}.$$

3.4. Высота столба продавочной жидкости на IV скорости агрегата, м:

$$I_1^{IV} = \frac{a + b \cdot \frac{10(P^{IV} - P^V)}{\gamma_{\text{ц.р}} - \gamma_{\text{гл.р}}} - Z}{b \cdot c + d_{вн}^2}.$$

3.5. Высота подъема цементного раствора за колонной на IV скорости агрегата, м:

$$I_2^{IV} = \frac{Z - d^2(L - I_1^{IV})}{b}.$$

3.6. Высота столба продавочной жидкости на III скорости агрегата, м:

$$I_2^{III} = \frac{a + b \cdot \frac{10(P^{III} - P^{IV})}{\gamma_{\text{ц.р}} - \gamma_{\text{гл.р}}} - Z}{b \cdot c + d_{\text{вн}}^2}.$$

3.7. Высота подъема цементного раствора за колонной, на III скорости агрегата, м:

$$I_2^{III} = \frac{Z - d^2(L - I_1^{III})}{b}.$$

3.8. Определяем количество продавочной жидкости, закачиваемой на различных скоростях агрегата, м^3:

$$V_{\text{пр}}^V = e \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot I_1^V;$$

$$V_{\text{пр}}^{IV} = e \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot (I_1^{IV} - I_1^V);$$

$$V_{\text{пр}}^{III} = e \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot (I_1^{III} - I_1^{IV});$$

$$V_{\text{пр}}^{II} = V_{\text{пр}} - V_{\text{пр}}^I - V_{\text{пр}}^{III} - V_{\text{пр}}^{IV} - V_{\text{пр}}^V;$$

$$V_{\text{пр}}^I = 2.$$

3.9. Определяем время работы одним агрегатом на разных скоростях, мин:

$$t^{\text{V}} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^V + V_{\text{пр}}^V)}{q^V \cdot 60};$$

$$t^{IV} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{IV} + V_{\text{пр}}^{IV})}{q^{IV} \cdot 60};$$

$$t^{III} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{III} + V_{\text{пр}}^{III})}{q^{III} \cdot 60};$$

$$t^{II} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{II} + V_{\text{пр}}^{II})}{q^{II} \cdot 60};$$

$$t^{I} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{I} + V_{\text{пр}}^{I})}{q^{I} \cdot 60}.$$

3.10. Общее время цементирования, мин:

$$T' = t^{\text{I}} + t^{\text{II}} + t^{\text{III}} + t^{\text{IV}} + t^{\text{V}}.$$

С учетом подготовительно-заключительных работ

$$T_{\text{ц}} = T' + 15 \text{ мин.}$$

3.11. Определяем температуру на забое скважины, ℃:

$$t_{\text{заб}} = t_{\text{ср}} + 0{,}025L,$$

где $t_{\text{ср}}$ – среднегодовая температура воздуха, ℃,

L – глубина скважины, м.

3.12. Определяем количество агрегатов, шт:

По времени схватывания

$$n_{ЦА} = \frac{T}{0{,}75T_{\text{скв}}} + 1,$$

по скорости

$$n = \frac{\sum q}{q^{\text{v}}} + 1,$$

где $\sum q$ – необходимый расход для обеспечения заданной скорости поднятия цементного раствора за эксплуатационную колонну, л/с;

q^{v} – производительность выбранного агрегата на высшей скорости, л/с.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Технология бурения разведочных скважин / А. Г. Калинин, В. И. Власюк, О. В. Ошкордин, Р. М. Скрябин. - М.: Техника, ТУМА ГРУПП, 2004. - 528 с.
2. Башкатов Д. Н., Кривошеев В. В., Соловьев Н. В. Бурение разведочных скважин: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2007.
3. Гусман А. М., Порожский К. П. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование. – Екатеринбург, 2002. - 592 с.

Дополнительная:

1. Ошкордин О. В. Технологическое проектирование в разведочном бурении на твердые полезные ископаемые: учебное пособие. – Екатеринбург: УГГГА, 1994.
2. Калинин А. Г., Ошкордин О. В. Разведочное бурение. – М.: Недра, 2000.
3. Михайлова Н. Д. Техническое проектирование колонкового бурения. – М.: Недра, 1985.
4. Ганджумян Р. А. Практическое расчеты в разведочном бурении. – М.: Недра, 1986.
5. Поляков Г. Д., Булгаков Е. С. Проектирование, расчет и эксплуатация буровых установок. – М.: Недра, 1983.
6. Кирсанов А. Н., Зиненко В. П., Кардыш В. Г. Буровые машины и механизмы. –М.: Недра, 1986.
7. Элияшевский И. В., Орсуляк А. М. Типовые задачи и расчеты в бурении. – М.: Недра, 1974.
8. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду /под общей ред. В. В. Дубровского – Второе издание, перераб. и доп. – М.: Недра, 1972.
9. Справочник по бурению скважин на воду / под общей ред. Д. Н. Башкатова. – М.: Недра, 1979.
10. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин /авторский колл.; гл. ред. проф. Е. А. Козловский. – СПб, 2000.

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Г.А. Усов, Л.И. Кралина, Ф.П. Сердюков

Методические указания
по выполнению курсового проекта
по дисциплине «*Бурение скважин*»

для студентов специальности

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 3 Технология и техника разведки МПИ

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……...3

Занятие 1. Разработка конструкции скважины……..4

Занятие 2. Выбор типа породоразрушающего инструмента и расчет параметров режима вращательного бурения…….…..5

Занятие 3. Выбор типа породоразрушающего инструмента для канатно-ударного бурения и расчет параметров режима бурения……9

Список литературы……11

Приложение 1 Исходные данные для составления конструкции скважины…….....12

Приложение 2. Рекомендуемый диаметр керна по полезному ископаемому…….……..…13

Приложение 3. Графическое оформление конструкции скважины……13

Приложение 4. Значения рекомендуемых нагрузок на один основной резец твердосплавной коронки (даН)……...…14

Приложение 5. Удельный расход промывочной жидкости (10^{-3} м^3/с) на 1м диаметра коронки ……14

Приложение 6. Рекомендуемые значения удельной осевой нагрузки для алмазных коронок, 10^4 даН/м^2……14

Приложение 7. Значения удельных нагрузок, окружной скорости вращения долота и скорости восходящего потока промывочной жидкости для бескернового бурения ……..…….....15

Приложение 8. Исходные данные для расчета режимных параметров канатно-ударного бурения……..…….....16

Приложение 9. Удельный расход промывочной жидкости…….……16

ВВЕДЕНИЕ

Успех разведочного бурения во многом зависит от правильного выбора конструкции скважины, которая должна обеспечить ее безаварийную проходку при соответствующем качестве буровых работ.

При бурении разведочных скважин применяется различный породоразрушающий инструмент: твердосплавные и алмазные коронки. При бескерновом бурении – лопастные, шарошечные и алмазные долота. При канатно-ударном бурении – плоские, двутавровые, крестовые и округляющие долота. Применение того или иного вида породоразрушающего инструмента зависит от физико-механических свойств горных пород и назначения скважины. Рациональный выбор породоразрушающего инструмента и параметров режима бурения определяют производительность бурения и его экономическую эффективность.

Занятие 1

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИНЫ

Задание: Разработать конструкцию скважины согласно геологического разреза, приведенного в приложении 1, и дать спецификацию бурового инструмента для спуска обсадных труб.

Цель занятия: изучить типы обсадных труб и буровой инструмент для спуска их в скважину. Освоить методику составления конструкции скважины.

1.1. Назначение обсадных труб.

Обсадные трубы служат для крепления стенок скважин в следующих случаях:

1) для закрепления устья скважины с целью предохранения его от размыва и отвода промывочной жидкости;
2) для закрепления (кондуктором) залегающих сверху наносов и других неустойчивых пород;
3) для перекрытия зон разрушенных и раздробленных пород, которые не закрепляются глинистым раствором, а после проходки не могут быть затампонированы быстросхватывающими смесями;
4) для перекрытия зон интенсивных и катастрофических поглощений промывочных жидкостей;
5) перед пересечением полезного ископаемого (рыхлые руды, бокситы), над которыми залегают неустойчивые породы, дающие осыпи;
6) перед переходом с промывки глинистым раствором на промывку технической водой.

1.2. Требования к конструкции скважины.

Конструкция скважины – это схема изменения диаметров бурения, обсадных труб и их глубин, обеспечивающих безаварийную проходку скважины и выполнение геофизических и гидрогеологических исследований при соответствующем качестве бурения.

Конструкция скважины должна быть наиболее простой – малоступенчатой. В этом случае облегчается бурение, сокращается набор бурового инструмента и расход обсадных труб, снижается стоимость работ. Простота конструкции достигается правильным применением качественных промывочных жидкостей и закреплением маломощных зон осложнений без применения обсадных труб. Конструкция скважины должна обеспечивать получение диаметра керна в соответствии с геологическими требованиями и применения форсированных режимов бурения.

1.3. Выбор конструкции скважины

В основу составления конструкции скважины положены следующие факторы: конечный диаметр бурения, определяемый целевым назначением скважины (диаметр бурения по полезному ископаемому, диаметр фильтра для скважины на нефть и газ), устойчивостью пород геологического разреза и необходимостью их закрепления обсадными трубами (смотри пункт 1.1).

Поэтому конструкция скважины составляется по методу снизу вверх. Вначале определяется конечный диаметр скважины, исходя из требований минимально допустимого диаметра керна по полезному ископаемому (см. приложение 2). Дальше диаметр скважины будет определяться устойчивостью выше залегающих пород и необходимостью их закрепления обсадными трубами.

Для обеспечения нормального спуска обсадных колонн, перекрывающих валунно–галечные отложения или значительные мощности песчано-глинистых пород, а также колонн, подлежащих цементированию, необходимо предусмотреть диаметр скважины на один диаметр больше диаметра колонны. После разработки конструкции скважины

приводится ее описание сверху вниз с обоснованием смены диаметра и установки обсадных колонн.

Конструкция скважины выполняется графически с соблюдением вертикального масштаба. Прилагается спецификация бурового инструмента для спуска обсадных труб в скважину.

Занятие 2

ВЫБОР ТИПА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Задание. Выбрать тип породоразрушающего инструмента для вращательного бурения в соответствии с физико-механическими свойствами горных пород (приложение 3), подобрать состав бурового снаряда (компановка колонкового набора, тип и диаметр бурильных труб) и определить параметры режима бурения.

Цель занятия: изучить типы твердосплавных, алмазных коронок и долот для бескернового бурения, а также технологический буровой инструмент: бурильные и утяжеленные трубы, колонковые трубы, переходники, расширители, кернорватели; освоить методику выбора параметров режима бурения.

2.1 Породоразрушающий инструмент для бурения разведочных скважин вращательным способом и область его применения.

Тип породоразрушающего инструмента выбирается с учетом физико-механических свойств горных пород и целевого назначения скважины.

Твердосплавные коронки применяются для бурения горных пород от I до VIII категории по буримости и по конструктивному исполнению подразделяются на ребристые, резцовые и самозатачивающиеся.

Таблица 1

Область применения твердосплавных коронок

Группа коронок	Тип коронок	Категория пород по буримости								Характеристика пород
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Ребристые	М1, М2, М5	х	х	х	х					Мягкие с прослоями пород средней твердости
Резцовые	СМ-4					х	х	х		Монолитные и перемежающиеся породы. Монолитные и трещиноватые
	СМ-5					х	х			
	СМ-6						х	х		
	СТ-2				х	х	х			
Самозатачивающиеся	СА1						х	х	х	Плотные, тонко и мелкозернистые. Слаботрещиноватые. Перемежающиеся по твердости
	СА2						х	х	х	
	СА4						х	х	х	
	СА5						х	х	х	
	СА6						х	х	х	

Алмазные коронки применяются для бурения твердых и крепких абразивных пород VI-XII категории по буримости.

В настоящее время в зависимости от расположения объемных алмазов выпускаются следующие коронки:

а) однослойные – с расположением объемных алмазов в один слой;

б) импрегнированные – объемные алмазы расположены без определенного порядка, т.е. перемешаны с материалом матрицы;

в) зубчатые – режущая кромка зуба армируется по поверхности крупными полированными алмазами, кроме того, вершина каждого зуба армирована по всему объему импрегнированными алмазами с зернистостью 120-200 шт./карат.

Зубчатые алмазные коронки целесообразно использовать в породах VI-VII категории по буримости.

Однослойные коронки дают наилучшие результаты в плотных, монолитных малоабразивных породах VIII-IX категории по буримости.

Импрегнированные коронки рекомендуют использовать в твердых, трещиноватых и абразивных породах X-XII категории по буримости.

Бурение скважин сплошным забоем осуществляется при детальной разведке, по хорошо изученным вмещающим породам. Для бурения применяются лопастные, шарошечные и алмазные долота.

Таблица 2

Область применения долот при бескерновом бурении

Тип долота	Категория пород по буримости									Характеристика пород
	I-IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Лопастные долота	x									Мягкие и пластичные породы
2Д	x									
3Л	x									
ИР		x	x	x						
ИРГ		x	x							
Пикобуры	x	x								
Шарошечные										Мягкие с пропластками пород средней твердости. Средней твердости. Твердые породы
МС	x									
С		x	x	x						
Т				x	x	x				
ТК						x	x			С пропластками крепких пород. Крепкие. Весьма крепкие. Малоабразивные твердые
К							x	x		
ОК								x	x	
ДДА				x	x	x				
Дисковое долото		x	x							Средней твердости
Алмазные долота										Плотные, монолитные породы. Крепкие, абразивные породы
08А3 и										
09А3				x	x	x				
08И3							x	x	x	

Шарошечные долота имеют различную конструкцию. Конструктивные особенности долота указываются в его шифре. Первые цифры в шифре долота указывают количество шарошек (I, II, III), после дефиса указывается диаметр, тип долота, а после второго дефиса – система промывки (Ц – центральная, Г – гидромониторная) и тип опоры (А – с двумя подшипниками скольжения, В – с подшипником качения).

Например, долото II-132 М-ГВ

Долото двухшарошечное, диаметр 132 мм, тип М, с гидромониторной промывкой, опора на подшипнике качения.

2.2. Компоновка бурового снаряда

Колонковый набор – часть бурового снаряда, предназначенная для разрушения горной породы, приема и сохранения керна. Простейший колонковый набор состоит из породоразрушающего инструмента, колонковой трубы и переходника. В колонковый набор могут также входить расширитель (при алмазном бурении), кернорватель и шламовая труба.

При бурении сплошным забоем в зависимости от диаметра бурения могут применяться различные компоновки бурового снаряда. При бурении скважин небольшого диаметра (76-112 мм) компоновка бурового снаряда состоит из долота, утяжеленных бурильных труб (УБТ) и бурильных труб. При бурении скважин диаметром более 151 мм в состав бурового снаряда включают долото, направляющую трубу, УБТ. При бурении хрупких пород большим диаметром буровой снаряд состоит из долота, шламовой трубы закрытого типа, УБТ. Шламовая труба служит для сбора шлама, который не может быть вынесен потоком промывочной жидкости на поверхность.

2.3. Проектирование параметров режима бурения.

При вращательном бурении параметрами режима бурения являются: осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент, частота вращения и расход промывочной жидкости.

2.3.1. Твердосплавное бурение

Осевую нагрузку на твердосплавную коронку определяют, исходя из рекомендуемой нагрузки на один резец (объемный), обеспечивающий объемный процесс разрушения породы, и рассчитывают по формуле

$$P = p_0 * m \quad (2.1)$$

где P – осевая нагрузка на коронку, даН;

p_0 – рекомендуемая нагрузка на один основной резец, даН;

m – число основных резцов в коронке, шт;

При бурении трещиноватых или переслаивающихся пород с резким различием по твердости следует уменьшать рекомендуемую нагрузку на 30-50%.

Частота вращения коронки рассчитывается: исходя из рекомендуемых значений окружной скорости вращения коронки, которые применяются тем больше, чем меньше диаметр коронки.

Частота вращения коронки в об/мин рассчитывается по формуле

$$n = \frac{v_0 * 60}{\pi * D_{\text{ср}}} \quad (2.2)$$

где v_0 – окружная скорость коронки, м/с;

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр коронки, м;

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{н}} + D_{\text{вн}}}{2}$$

где $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр коронки, м;

$D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр коронки, м.

Рекомендуемые окружные скорости для твердосплавных коронок приведены ниже:

Коронки	Ребристые	Резцовые	Самозатачивающиеся
v_0, м/с	0,7-1,5	1-2,5	0,7-1,5

При бурении трещиноватых пород и неоднородных по твердости рекомендуется снижать частоту вращения коронки на 20-30%. При увеличении глубины скважины частота вращения должна уменьшаться, так как возрастают затраты мощности на холостое вращение бурового снаряда.

Количество промывочной жидкости выбирается в зависимости от физико-механических свойств горных пород, диаметра бурения. Расход промывочной жидкости можно определить по формуле

$$Q = k * D \quad (2.3)$$

где Q – расход промывочной жидкости, м^3/с

k – удельный расход промывочной жидкости на 1 м диаметра коронки, м^3/с

D – наружный диаметр коронки, м

2.3.2. Алмазное бурение

Экспериментальными исследованиями установлено и практикой бурения доказано, что наибольшее влияние на механическую скорость алмазного бурения оказывает частота вращения. В связи с этим алмазное бурение целесообразно вести при возможно высокой частоте вращения коронки, допускаемой состоянием бурового снаряда, а также характером разбуриваемых пород и при отсутствии вибрации или возможном ее снижении.

Осевая нагрузка на коронку определяется с учетом физико-механических свойств горных пород и заданной частоты вращения коронки. Оптимальная осевая нагрузка может быть рассчитана на основании значений удельной нагрузки на 1 м рабочей площади торца алмазной коронки рекомендуемой для различных категорий пород по формуле

$$P = p_0 * S \quad (2.4)$$

где P – осевая нагрузка на коронку, даН;

p_0 – удельная нагрузка на 1 м^2 площади торца коронки, даН/м^2;

S – площадь торца алмазной коронки (за вычетом площади промывочных каналов), м^2;

Частота вращения коронки рассчитывается по формуле (2.2)

Рекомендуемые значения окружной скорости коронки, м/с

Для пород VIII-IX категории	3-4
Для пород X-XI категории	2-3
Для пород XII категории	1,5-2

Расход промывочной жидкости можно определить по формуле (2.3). Рекомендуемые значения удельного расхода промывочной жидкости для различных типов алмазных коронок приведены в приложении 9.

2.3.3. Бескерновое бурение

Осевая нагрузка при бурении сплошным забоем оказывает существенное влияние на механическую скорость бурения. При увеличении диаметра бурения и крепости пород осевую нагрузку необходимо повышать. Осевую нагрузку на долото можно рассчитать по формуле

$$P = p_0 * D \quad (2.5)$$

где P – осевая нагрузка на долото, даН;

p_0 – удельная нагрузка на 1 м диаметра долота, даН;

D – диаметр долота, м;

При больших значениях осевой нагрузки, рассчитанной по формуле (2.5), могут использоваться УБТ, которые передают большую часть осевой нагрузки на долото за счет своего веса, создают направление скважине и улучшают условия работы бурильных труб. В данном случае длина УБТ рассчитывается по формуле

$$L = \frac{k*P}{q*g\left(1-\frac{\gamma_р}{\gamma}\right)*Cos\theta} \quad (2.6)$$

где L – длина УБТ, м;

k – коэффициент увеличения веса УБТ относительно осевой нагрузки (принимается);

g – ускорение силы тяжести, м/с^2;

q – вес 1 метра УБТ, даН;

γ - удельный вес материала УБТ, кг/м^3;

$\gamma_р$ – удельный вес промывочной жидкости, кг/м^3;

θ – зенитный угол, …°

Число труб в колонне УБТ определяется по формуле

$$n = \frac{L}{l}$$

где L – длина УБТ, м;

l – длина одной трубы, м;

Частоту вращения долота (в об/мин.) можно рассчитать по формуле

$$n = \frac{60v_0}{\pi D} \quad (2.7)$$

где v_0 – окружная скорость долота, м/с;

D – диаметр долота, м.

Расход промывочной жидкости определяется, исходя из скорости восходящего потока промывочной жидкости и площади кольцевого пространства скважины

$$Q = 0{,}785 * (D^2 - d^2) * v \quad (2.8)$$

где Q – расход промывочной жидкости, м^3/с;

D – диаметр долота, м;

d – наружный диаметр бурильных труб, м;

v – скорость восходящего потока промывочной жидкости, м/с;

При оформлении задания дать обоснование выбора типа породоразрушающего инструмента, типа колонкового набора и колонны бурильных труб. Дать эскиз компоновки бурового снаряда, с указанием назначения каждого из его элементов.

Занятие 3

ВЫБОР ТИПА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ КАНАТНО-УДАРНОГО БУРЕНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ

Задание. Выбрать тип долота и состав бурового снаряда для канатно-ударного бурения в соответствии с физико-механическими свойствами горных пород и рассчитать параметры режима бурения.

Цель задания – изучить типы долот для канатно-ударного бурения и область их применения, а также состав и конструкцию бурового снаряда. Освоить методику расчета параметров режима бурения.

3.1. Область применения канатно-ударного бурения

Канатно-ударное бурение применяется при:

1) сооружении разведочных и эксплуатационных скважин на воду;
2) разведке россыпных месторождений и мелковкрапленных руд;
3) бурение технических скважин: для замораживания водоносных пород, водопонижения, вентиляции подземных выработок и т.д.;
4) бурение взрывных скважин при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Буровой снаряд при канатно-ударном бурении состоит из долота, ударной штанги, раздвижной штанги, канатного замка. Для чистки скважины от шлама применяют желонки.

При бурении скважин применяют плоские долота, двутавровые, округляющие и крестовые долота. В зависимости от крепости пород угол заострения лезвия долота меняется от 70 до 130° (чем тверже порода, тем больше должен быть этот угол).

Плоские долота служат для бурения в мягких породах. Двутавровые долота применяют при бурении в вязких породах средней твердости. Округляющие долота используют для бурения в твердых породах, а также в трещиноватых породах и валунно-галечных отложениях. Крестовыми долотами бурят в трещиноватых породах.

3.2. Расчет параметров режима бурения

Производительность ударно-канатного бурения зависит от правильно подобранных параметров режима бурения: массы ударного снаряда, высоты его подъема над забоем или высоты сбрасывания, частоты ударов и количества подливаемой воды в скважину.

Вес рабочей части снаряда (в даН) определяется по формуле

$$M_p = D * m_o \quad (3.1.)$$

где D – длина лезвия долота, см;

m_o – относительный вес (даН/см), приходящийся на 1 см лезвия долота, даН/см;

Величина относительного веса бурового снаряда выбирается, исходя из крепости горных пород:

1) по мягким породам (I-III категории по буримости) 15-25 даН/см;
2) по породам средней твердости (IV-V категории буримости) 30-40 даН/см;
3) по твердым породам (VI категории буримости) 40-50 даН/см;
4) по весьма твердым породам (VIII категории буримости) 60-80 даН/см.

Необходимый вес ударной штанги определяется по формулам:

$$M_2 = M_\text{р} - (M_1 + 0{,}5M_3), \text{ даН} \quad (3.2)$$

при работе без раздвижной штанги

$$M_2 = M_\text{р} - (M_1 + M_4), \text{ даН} \quad (3.3)$$

где M_1 – вес долота, даН;

M_2 – вес ударной штанги, даН;

M_3 – вес раздвижной штанги, даН;

M_4 – вес канатного замка, даН

Современные буровые станки канатно-ударного бурения обеспечивают высоту подъема снаряда над забоем на 0,35 – 1 м и частоту ударов от 40 до 60 в 1 мин. В зависимости от характера пород и глубины скважины задаются высотой сбрасывания снарядов, после чего определяют частоту ударов (уд/мин)

$$n_y = 21\sqrt{\frac{b}{S}} \quad (3.4)$$

где b – ускорение падения снаряда в шламовой среде, м/с^2;

S – высота сбрасывания снаряда, м.

При бурении по глинистым породам принимают b=4,5-5 м/с^2, по твердым породам b=6-6,5 м/с^2.

Высота сбрасывания снаряда увеличивается при бурении по твердым монолитным породам, а частота ударов снижается. При бурении пород сильно - трещиноватых или слоистых, перемежающихся по твердости следует увеличивать частоту ударов, уменьшать высоту сбрасывания снаряда. С ростом глубины бурения высоту сбрасывания снаряда нужно увеличивать, а частоту ударов снижать.

При бурении мягких пород рекомендуется на каждый рейс подливать в скважину 35-40 л. воды, а при бурении твердых пород – 10-15 л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.С., Долгов Б.П. Вращательное бурение разведочных скважин.-М.: Недра, 1988, 318с.
2. Волков А.С., Буровой геологоразведочный инструмент.-М.: Недра, 1979, 285с.
3. Володин Ю.И. Руководство к практическим занятиям и сборник задач по бурению скважин.-М.: Недра, 1987, 204с.
4. Михайлова Н.Д. Техническое проектирование колонкового бурения.-М.: Недра, 1985, 197с.
5. Шамшев Ф.А., Тараканов С.Н., Кудряшов Б.В. Технология и техника разведочного бурения.-М.: Недра, 1983, 564 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1.1

Исходные данные для составления конструкции скважины

Геологический разрез	Категория пород	Номера вариантов и мощность слоя, м									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Почвенно-растительный слой	II	2	3	1	1,5	4	2,5	3,5	5	4,5	5
		3	4	2	5	6	4,5	5,5	6	5,5	7
Суглинки	III	5	6	7	8	10	15	20	30	40	50
		8	10	9	12	15	20	30	40	50	60
Песок среднезернистый	II	3	4	5	6	8	9	10	12	14	16
		4	6	7	9	10	12	14	16	18	20
Известняк трещиноватый (зона поглощения)	V	10	15	20	30	40	50	60	70	25	35
		20	30	40	50	60	70	80	90	45	45
Мергель	VI	30	50	60	80	40	25	15	35	45	70
		40	60	70	90	50	30	25	55	60	65
Песок разнозернистый	I	15	40	35	50	45	30	25	55	18	42
		20	25	45	35	60	50	55	65	28	65
Глины плотные	IV	40	50	60	70	65	70	65	75	80	85
		25	35	45	50	60	30	45	55	90	100
Бокситы	VI	1	2	3	2,5	3,5	5	5,5	2,6	2	1,5
		2	3	4	3,5	4,5	6	6,5	3	2,5	4
Глины углистые	IV	1	1,5	2	1,4	1,8	3,4	4,2	2	1,4	2,5
		2,2	2,5	3	1,6	2,2	4,4	5,2	1,8	3	1,6

Таблица П.1.2

Исходные данные для составления конструкции скважины

Геологический разрез	Категория пород	Номера вариантов и мощность слоя, м											
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Суглинок	III	3	5	4	2	3,5	4,6	5	6	7	8	9	5
		4	6	8	3	5,5	7	9	5,5	4	6	7	9
Кварцево-хлоритовый сланец, трещиноватый	V	10	15	20	30	40	25	35	45	50	60	70	80
		15	20	25	23	37	48	52	65	49	86	67	58
Серпентинит сильно трещиноватый	VI	30	40	60	35	55	65	75	35	45	40	38	28
		40	50	70	45	65	80	36	58	26	46	68	84
Метасоматит хлористокарбонатный	VIII	60	80	58	65	76	48	34	28	62	54	58	86
		48	54	68	52	78	86	46	34	62	78	96	100
Туфопесчаник	IX	50	70	80	65	45	38	26	48	54	66	87	96
		34	65	82	54	86	68	76	56	42	75	62	96
Медный колчедан	VII	2	4	3	6	8	10	5	12	8	14	16	3
		3	5	2,5	7	6	8	4	9	4	6	4	2
Альбитофир	XI	4	1	5	6	8	12	14	5	7	9	4	15
		6	12	15	4	10	8	6	4	11	18	6	8

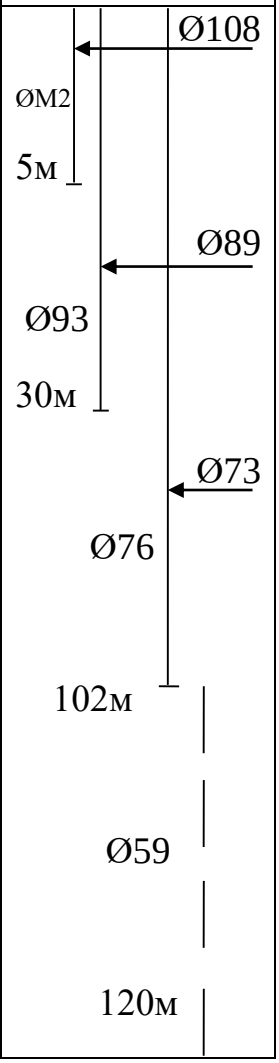
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Рекомендуемый диаметр керна по полезному ископаемому

Тип полезного ископаемого	Минимальный диаметр керна, мм	Диаметр скважины, мм
Железный кварцит	32	46
Титаномагнетит	32	46
Медно-никелевые руды	32	46
Медно-колчеданные руды	32	46
Медистый песчаник	22	36
Медно-порфировые руды		59
Бокситы	32-42	46-59
Свинцово-цинковые руды	22-42	46-59
Вольфрамо-молибденовые руды	32-42	46-76
Золотоносные шляпы	32	46
Оловянные руды	32-42	46-59
Редкометальные	42-60	59-76
Уголь	60	76

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Графическое оформление конструкции скважины

Геологический разрез	Можность слоя, м	Конструкция скважины
Почвенно-растительный слой	3	
Суглинки	10	
Песок среднезернистый	16	
Глины плотные	20	
Мергель сильнотрещиноватый (поглощение)	30	
Песок	10	
Глины	20	
Бокситы	5	
Глины углистые	6	

Примечание: Ø - обозначение диаметра;
Вертикальный масштаб
М 1:10 или М 1:20

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Значения рекомендуемых нагрузок на один основной резец твердосплавной коронки (даН)

Группа и тип коронки	Категория пород по буримости				
	I-II	III-IV	V	VI	VII-VIII
Ребристые					
М1	30-50	50-60	-	-	-
М2	-	60-80	-	-	-
М5	-	40-60	-	-	-
Резцовые					
СМ3	-	40-50	50-80	80-100	-
СМ4	-	-	50-60	60-80	-
СМ5	-	-	40-50	50-60	-
СМ6	-	-	-	-	60-70
СТ2	-	40-60	60-80	80-100	-
Самозатачивающиеся					
СА-1	-	-	30-50	40-80	50-100
СА-2	-	-	-	40-60	50-80
СА-4	-	-	-	40-60	50-80
СА-5	-	-	-	40-60	50-80
СА-6	-	-	-	40-60	50-80

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Удельный расход промывочной жидкости (10^{-3} м^3/с) на 1м диаметра коронки

Группа коронок	Категория пород по буримости				
	I-II	III-IV	V	VI	VII-VIII
Ребристые	17-20	20-27	-	-	-
Резцовые	-	-	20-23	17-20	15-17
Самозатачивающиеся	-	-	-	17-20	15-17

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Рекомендуемые значения удельной осевой нагрузки для алмазных коронок, 10^{-4} даН/м^2

Тип коронки	Категория пород по буримости			
	VII	VIII-IX	IX-X	XI-XII
Однослойные	60	60-75	-	-
Импрегнированные	-	-	75-90	100-170

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Значения удельных нагрузок, окружной скорости вращения долота и скорости восходящего потока промывочной жидкости для бескернового бурения

Тип долота	$P * 10^3$ даН/м	v_0, м/с	v, м/с
Лопастные			
2Л	6-7,5	0,8-2,0	0,6-1
3Л	8-12	0,8-1,5	
ИР	8-15	0,8-1,2	
Пикобуры	4,5-9,5	0,8-1,4	
Шарошечные долота			
М	15-25	0,8-1,2	0,6-1 (вода)
С	20-35	0,8-1,4	0,4-0,8 (гл.раствор)
Т	20-40	0,6-1,2	
ТК	20-45	0,6-1,0	
К и ОК	20-30	0,6-0,8	
Дисковые долота	20-30	1,0-1,6	
ДДА	30-40	0,75-1,5	
Алмазные долота			
08А3 и 09А3	24-32	0,8-1,7	0,5-0,8 (вода)
08И3	25-35	1,0-2,0	0,4-0,8 (гл.раствор)

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Исходные данные для расчета режимных параметров канатно-ударного бурения

№ задания		Глубина бурения, м		Описание пород	Диаметр скважины, мм	
				Дресьва III категории	495	445
3	4	80	120	Известняк IV категории	345	148
5	6	100	150	Конгломерат V -"-	248	198
7	8	90	200	Мрамор IV -"-	298	148
9	10	60	150	Мергель IV -"-	395	198
11	12	30	50	Суглинок II -"-	495	445
13	14	10	30	Глина III -"-	345	395
15	16	180	250	Опока IV -"-	198	148
17	18	120	190	Сланец глинистый V -"-	248	148
19	20	250	300	Порфирит VI -"-	198	148
21	22	200	280	Туф VII -"-	248	198
23	24	40	50	Сланец кремнистый V -"-	345	445
25	26	80	100	Серпентинит V -"-	248	198
27	28	50	60	Порфирит VI -"-	345	298
29	30	25	45	Глина III -"-	248	445
31	32	160	280	Песчаник VI -"-	198	148
33	34	100	120	Альбит IV -"-	298	198
35	36	30	40	Галечно-щебенистые отложения IV -"-	495	445
37	38	10	20	Галечник крупный V -"-	345	298
39	40	20	35	Гранит выветренный IV -"-	298	248
41	42	80	120	Гнейс VI -"-	248	148
43	44	110	150	Гранит VII -"-	198	148
45	46	150	230	Диабаз VI -"-	248	198
47	48	200	300	Габбро VI -"-	198	148
49	50	60	130	Песчаник трещиноватый IV категории	298	345

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Удельный расход промывочной жидкости при алмазном бурении ($10^{-3}м^3/с$)

Коронки	Характеристика горных пород	Удельный расход жидкости, $10^{-3}м^3/с$
Однослойные	Малоабразивные	12-17
	Абразивные	13-20
Импрегнированные	Малоабразивные	5-10
	Абразивные	8-13

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

В.Н. Калашников, Г.А. Усов,
Л.И. Кралина, Ф.П. Сердюков

Методические указания

по выполнению практических занятий
по дисциплинам «*Бурение скважин*»,
«*Техника разведки*»,
«*Сооружение нефтяных, газовых и геотехнологических скважин*»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
Специализация № 3 Технология и техника разведки МПИ
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в разведочном колонковом бурении достигнуты значительные успехи по улучшению качества и совершенствовании составов промывочных жидкостей. Этому в большой степени способствовало применение прогрессивных способов бурения малыми диаметрами и увеличение глубин скважин.

При бурении разведочных скважин стали широко применяться малоглинистые и безглинистые промывочные жидкости, аэрированные растворы, активные промывочные жидкости с улучшенными смазочными свойствами. Значительное внимание стало уделяться реологии промывочных жидкостей.

В связи с этим расширился ассортимент приборов для оценки качества промывочных жидкостей и были разработаны новые методы их определения.

Настоящие методические разработки имеют цель ознакомить студентов со всеми приборами и методами оценки структурно-механических, реологических и смазочных свойств промывочных жидкостей, применяемых в разведочном бурении.

В соответствии с ГОСТ 8.002-71 все средства измерений должны пройти государственную или ведомственную поверку. На пригодный к измерениям прибор выдается свидетельство или наносится клеймо с указанием даты поверки.

Приборы и методы оценки структурно-механических свойств промывочных жидкостей

Основными структурно-механическими свойствами промывочных жидкостей являются:

1) удельный вес, г/см^3;
2) условная вязкость, с ;
3) водоотдача, см3 за 30 мин;
4) содержание песка, %;
5) стабильность, г/см3;

6) суточный отстой, %;
7) статическое напряжение сдвига, Па ;
8) динамическое напряжение сдвига, Па ;
9) пластическая или структурная вязкость, Па . с;
10) эффективная вязкость, Па · с.

Первые шесть параметров определяются непосредственно на буровых вышках с помощью приборов и лабораторной посуды, входящих в комплект переносной лаборатории ЛРГ-3. Приборы и лабораторная посуда размещены в специальном деревянном ящике с гнездами и креплениями для каждого предмета, входящего в комплект лаборатории.

Статическое и динамическое напряжение сдвига, а также пластическая и эффективная вязкость определяются в стационарных лабораториях геологоразведочных партий и экспедиций с помощью приборов СНС-2 и ВСН-3.

АРЕОМЕТР АГ-2

Назначение: Ареометр АГ-2 предназначен для измерения удельного веса глинистых и цементных растворов, применяющихся при бурении скважин.

ОПИСАНИЕ АРЕОМЕТРА

Ареометр АГ-2 (рис. 1) состоит из поплавка 3 со шкалой 2, соединяющегося на байонете 4 с мерным стаканом 5, и съемного груза 6, крепящегося к стакану. В комплекте с ареометром поставляется ведро-футляр 1 с крышкой, в котором он укладывается между резиновыми гнездами.

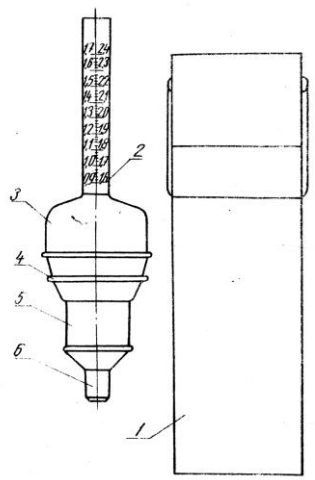


Рис. 1. Ареометр АГ-2 в сборе и ведро-футляр

Техническая характеристика

Ареометр АГ-2 имеет два предела измерения: от 0,90 до 1,70 г/см^3 - при навернутом съемном грузе, от 1,60 до 2,40 г/см^3 – при снятом съемном грузе.

Цена деления ареометра на шкале.....0,02
Точность измерения, г/см^3…… ±0,01
Габаритные размеры, мм:
ареометра.....100x450
ведра-
футляра.....120x480
Вес комплекта, кг.....2

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗМЕРЕНИЯ

Подготовка прибора к измерению

Подготовку прибора к измерению следует производить в следующей последовательности:

открыть крышку ведра и вынуть ареометр, налить воду в ведро (рекомендуется применять чистую пресную воду, так как в этом случае получаются наиболее точные результаты измерения и не требуется вносить поправку на удельный вес воды),

поворотом поплавка относительно мерного стакана открыть байонетный затвор и отделить стакан от затвора, проверить чистоту мерного стакана и поплавка и при надобности вымыть их водой.

Проверка прибора

Проверку прибора следует производить в следующей последовательности: налить в мерный стакан ареометра воду до края гофра, соединить поплавок с мерным стаканом, выдавив при этом избыток воды из него, и погрузить собранный ареометр в воду. Стакан заполняется той же водой, что и ведро.

При пресной воде ареометр должен погрузиться под уровень воды в ведре до деления на шкале поплавка, обозначенного "1,0", при навернутом съемном грузе, с точностью >0,005 г/см^3 (четверть деления).

Если удельный вес воды больше 1,00 г/см^3 (морская вода, соленая, буровая), то ареометр погрузится на несколько делений ниже деления, обозначенного "1,0". В этом случае к результатам измерений удельного веса глинистых растворов необходимо прибавить поправку, определяемую как разность между 1,00 и показанием ареометра, заполненного водой.

Ниже приводится пример измерения.

Измерение производится погружением ареометра в морскую воду. Ареометр, заполненный морской водой, при погружении в эту же воду показал на шкале 0,96. Поправка составляет 1,00-0,96=0,04г/см^3

При измерении удельного веса глинистого раствора при погружении в эту же морскую воду показание было 1,41. Истинный удельный вес раствора получается прибавлением поправки, а именно:

$$1{,}41 + 0{,}04 = 1{,}45 \text{ г/см}^3$$

Измерение удельного веса

Измерение удельного веса при помощи ареометра АГ-2 следует производить в следующей последовательности.

Принести в вымытой крышке ведра пробу раствора и перемешать её.

Налить в мерный стакан ареометра раствор до края гофра. Стакан держать в вертикальном положении.

Соединить поплавок со стаканом - вставить штифты на нижней части поплавка в байонетные прорези мерного стакана и повернуть поплавок относительно стакана слева направо до упора. При этом из стакана выдавить избыток раствора. Таким образом отмерится объем пробы.

Смыть водой выдавленный раствор с поверхности мерного стакана, удерживая ареометр в вертикальном положении.

Погрузить ареометр в ведро с водой, дать ему успокоиться и прочесть показание по шкале ареометра на уровне воды в ведре

При навернутом съемном грузе отсчет вести по левой шкале с оцифровкой от 0,9 до 1,7 г/см^3. Если ареометр при навернутом съемном грузе погрузился выше последнего оцифрованного деления на шкале - 1,7 г/см^3, то следует снять груз и отсчет вести по правой шкале с оцифровкой от 1,6 до 2,4 г/см^3.

При погружении ареометра в соленую, морскую или буровую воду обязательно вносить поправку, как указано выше.

После окончания измерения ареометр следует вымыть, насухо вытереть и положить в тумбочку.

Крышку ведра вымыть и закрыть её ведром с водой. При частых намерениях воду из ведра можно не выливать, но обязательно следует следить за её чистотой.

2. ВИСКОЗИМЕТР СПВ-5

Назначение: Стандартный полевой вискозиметр СПВ-5 предназначен для определения условной вязкости глинистого раствора. Вязкость определяется в секундах времени истечения 500 см^3 раствора из стандартной воронки через трубку диаметром проходного сечения 5 мм и длиной 100 мм при заполнении воронки 700 см^3 раствора.

Комплект вискозиметра (рис. 2) состоит из стандартной воронки и мерной кружки.

В верхнюю часть воронки встроена сетка для очистки раствора от крупных твердых частиц. Воронка заканчивается латунной трубкой с калиброванным отверстием.

Мерная кружка имеет два отделения.

Техническая характеристика

Размеры воронки, мм:

Высота.....400

верхний диаметр.....150

время истечения из воронки 5ООсм3 воды, с.....15-+0,4

Объем мерной кружки, $см^3$:

первого отделения.....500

второго отделения.....200

Размеры кружки, мм.....70х190

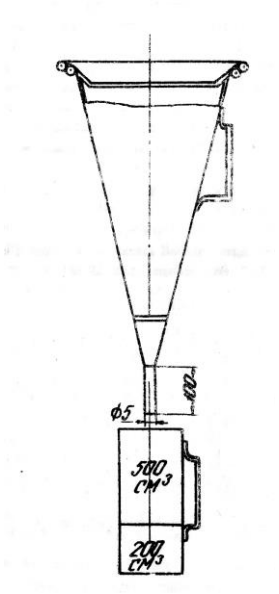


Рис. 2. Вискозиметр СПВ – 5 с кружкой

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗМЕРЕНИЙ

Определение условной вязкости глинистых растворов при помощи вискозиметра СПВ-5 следует производить в следующей последовательности:

a) промыть воронку вискозиметра и кружку водой и подготовить пробу раствора;

b) закрыть отверстие трубки пальцем правой руки и налить в воронку через сито 700 $см^3$ испытуемого раствора мерной кружкой - 500 $см^3$ и 200 $см^3$

c) подставить кружку объемом 500 $см^3$ под трубку вискозиметра, слить в нее часть раствора и влить обратно его в воронку. Повторить эту операции два-три раза;

d) подставить кружку объемом 300 $см^3$ под трубку вискозиметра и одновременно открыть отверстие трубки, убрать палец, и пустить левой рукой секундомер;

e) в момент заполнения кружки до края остановить секундомер, закрыть отверстие трубки пальцем и прочесть показание секундомера;

f) для определения условной вязкости испытуемого раствора провести 10-15 замеров и, применяя распределение Стьюдента, определить среднее значение /Ā/ и доверительный интервал /6/ при выбранной вероятности /P/;

g) вымыть и вытереть воронку и кружку и вложить их в ящик лаборатории в соответствующие гнезда.

3. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ВОДООТДАЧИ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ТИПА ВМ-6

Назначение: Прибор ВМ-6 предназначен для определения фильтруемости водоотдачи глинистых растворов в производственных условиях бурения.

Показатель водоотдачи глинистых растворов представляет собой количество фильтрата в см3, выделяющегося в течение 30 мин под избыточным давлением в 1 кг/см3 при диаметре фильтра 75 мм.

Показатель водоотдачи характеризует способность глинистого раствора отдавать свободную воду под давлением через пористую перегородку в пласт и образовывать на этих перегородках глинистую корку.

Прибор градуирован в кубических сантиметрах при диаметре фильтра 75 мм.

При измерении водоотдачи раствора одновременно определяют толщину образующейся на фильтре глинистой корки.

Описание конструкции

Прибор ВМ-6 (рис. 3.) состоит из трех основных узлов; фильтрационного стакана 6 с принадлежностями, напорного цилиндра 4 и Кронштейна 13.

Фильтрационный стакан 6 на верхнем конце имеет горловину с наружной резьбой и отверстием. Нижний конец его имеет расточку

диаметром 53 мм, выточку под решетку фильтра и наружную резьбу М68х3 под поддон 10, которым крепится решетка 7.

Для предупреждения проворачивания решетки и поддержания в связи с этим фильтровальной бумаги на решетке сделан пав под выступ, имеющийся в выточке фильтрационного стакана. В нижней части поддона 10 имеется резьба, в которую ввернут винт 11 с перекидной ручкой 12. В поддон вложен клапан 9 с резиновой прокладкой, который винтом 11 прижимается к решетке 7 и таким образом запирает отверстие.

При определенной водоотдачи раствор наливается в стакан с закрытой клапаном решеткой и вложенной фильтровальной бумагой.

Узел напорного цилиндра состоит из собственно цилиндра 4 в ввернутой в него на красно-медной прокладке втулкой и напрессованной в горячем виде чашкой, плунжера 1, притертого по втулке, и груза-шкалы 3, укрепленного на плунжере. Шкала нанесена на прозрачную пластмассу (оргстекло) и прикреплена к грузу винтами; шкала прикрывает сквозную прорезь на снятой вдоль груза лыске. Сквозь эту прорезь видна отсчетная риска 2 на верхнем конце втулки цилиндра.

Для установки шкалы прибора на ноль и для спуска масла из цилиндра в нижней части цилиндра имеется отверстие, перекрываемое иглой 5. Масло из этого отверстия сливается в чашку.

Нижний конец цилиндра имеет внутреннюю резьбу для соединения с фильтрационным станком. Для уплотнения места соединения цилиндра со стаканом предусмотрена прокладка из маслостойкой резины, которая меняется по мере износа. Размеры прокладки: наружный диаметр - 35 мм, диаметр отверстия - 20 мм, толщина 3 * 4 мм.

Кронштейн 13 литой, в нижней части его предусмотрено место для чашки, в которую стекает фильтрат. Кронштейн стоит на трех резиновых ножках 14. В кольцо 10 кронштейна вставляется прибор в собранном виде.

Техническая характеристика

Предел измерения за 30 мин при диаметре фильтра 75 мм, $см^3$. 40
Цена деления шкалы при диаметре фильтра 75 мм, $см^3$..... 1
Точность измерения, $см^3$.....$\pm$0,5
Давление фильтрации, Па 9,81*104
фактический диаметр фильтра, мм …….53
Габаритные размеры, мм……..……..120х160х360
Вес (без упаковки), кг……..0,7

Принцип действия:

Испытуемый раствор наливается в фильтрационный стакан 6, (рис. 3) с фильтром на решетке 7; закрытым клапаном 9, впредь до открытия которого фильтрация не начинается. На фильтрационный стакан навернут цилиндр 4, заполненный поверх раствора маслом. В этот цилиндр входит плунжер 1 с грузом-шкалой 3, создающий давление фильтрации 98066,5 Па фильтрация начинается после открытия клапана 9.

По мере фильтрации объем пробы раствора в фильтрационном стакане уменьшается на количество выделившегося фильтрата и плунжер под действием груза соответственно опускается. Количество выделившегося фильтрата определяется по перемещениям плунжера, градуированным на шкале в см3.

В притертой паре плунжер-втулка возникает трение, влияющее на постоянство давления фильтрации. Для устранения трения плунжер необходимо периодически вращать рукой. С целью уменьшения этих вращений в плунжере имеется глухое сверление - воздушный буфер.

Принцип действия прибора обеспечивает:

a) точное определение момента, начала фильтрации при помощи запорного клапана на решетке фильтра;
b) точное измерение количества фильтрата, которое выделяется за любой промежуток времени;

c) постоянство давления с момента начала фильтрации.

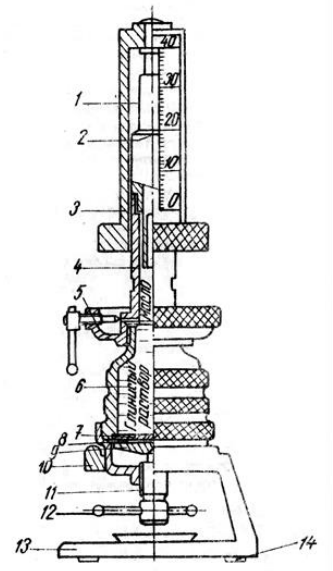


Рис. 3. Прибор ВМ-6 в сборе

Подготовка прибора к работе

Для предупреждения ржавления прибор ВМ-6 при упаковке на заводе смазывается снаружи и внутри вазелином. При длительном хранении в неблагоприятных условиях вазелин может загустеть и частично окислиться, в результате чего плунжер будет трудно вынуть из цилиндра. Поэтому по получении со склада прибор следует разобрать в следующем порядке:

a) отвернуть цилиндр от стакана;

вынуть плунжер из цилиндра (при необходимости плунжер можно извлечь осторожными ударами деревянного молотка по его нижнему концу);

b) вывернуть винт из поддона;

c) вывернуть стакан из поддона и извлечь решетку и клапан.

Все детали прибора вымыть бензином или горячей водой и насухо вытереть, а плунжерную пару вымять керосином и смазать маслом. Не смазанный маслом плунжер во втулку не вставлять.

Чтобы убедиться в исправности прибора, необходимо проверить:

a) резьбовые соединения (при надобности их следует расходить, чтобы они легко заворачивались от руки);

b) герметичность плунжерной пары и места соединения цилиндра со стаканом;

c) плавность движения плунжера.

Проверка герметичности производится следующим образом:

a) в собранный фильтрационный стакан с вложенной в него фильтровальной бумагой и закрытым на решетке фильтра клапаном наливается густой глинистый раствор;

b) стакан устанавливается в кронштейне и на него навертывается цилиндр без плунжера;

c) цилиндр заполняется маслом до верха, после чего в него вставляется плунжер;

d) с помощью иглы из цилиндра спускается масло, и нулевое деление на шкале подводится к риске на цилиндре. При такой операции плунжер следует вращать рукой;

e) места резьбовых соединений и поверхность цилиндра должны быть насухо вытерты, чтобы можно было обнаружить места утечки;

f) периодически вращая плунжер, в течение 30 минут наблюдают за его показаниями, В исправном приборе заметного изменения показаний не должно быть; максимальное изменение может быть не более 1/2 деления.

Если утечка больше 1/2 деления, то необходимо выявить место утечки. Утечка может быть в плунжерной паре, местах крепления втулки к цилиндру и соединения цилиндра со стаканом, в местах неплотного прилегания клапана, в месте прижатия решетки к стакану.

Об утечке в плунжерной паре и в месте крепления втулки к цилиндру свидетельствуют подтеки, появляющиеся в верхней части цилиндра, который до пуска прибора в работу должен быть чисто вытерт.

Утечки в месте соединения цилиндра со стаканом легко обнаруживается по появлению масла под резьбой. Это место также должно быть тщательно вытерто. Ликвидировать утечку

можно сменой прокладки или подтягиванием резьбы. Слишком туго затягивать резьбу не следует, так как при этом прокладка может иногда выворачиваться.

Утечки через клапан в месте прижатия решетки к стакану не оказывают влияния на работу прибора, но при проверке на герметичность их необходимо устранять, для этого клапан следует туго прижать.

Утечки через место прижатия решетки к стакану обнаруживается по появлению раствора или фильтрата на выходе резьбы.

Плавность движения плунжера проверяется при промытой и смазанной машинным маслом плунжерной паре и заключается в том, что плунжер с любого положения должен свободно и равномерно опускаться без поворачивания. Если плунжер задерживается или движется очень медленно, его следует вновь промыть керосином и смазать маслом, после чего расходить во втулке.

ПРОМЫВАТЬ ПЛУНЖЕРНУЮ ПАРУ БЕНЗИНОМ НЕЛЬЗЯ - ЭТО МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ЗАЕДАНИЕ!

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения водоотдачи должно быть произведено при температуре не ниже 10 °С, так как при более низких температурах водоотдача раствора уменьшается.

Работу по определению водоотдачи глинистых растворов следует вести в следующей последовательности:

1. Установить прибор на ровной поверхности.
2. Вынуть плунжер из цилиндра и положить рядом с кронштейном.
3. Отвернуть цилиндр, проверить, закрыта ли игла, и положить цилиндр на тумбочку.
4. Разобрать стакан - вывернуть из поддона, вынуть решетку и клапан - вытереть насухо все детали.
5. Взять заготовленный кружок фильтровальной бумаги, смочить его водой и наложить на решетку, после чего удалить избыток воды с поверхности бумаги, промокнув её сухим кружком. При непрочной фильтровальной бумаге следует положить на решетку два кружка.
6. Решетку с фильтровальной бумагой вложить в выточку стакана, бумагой внутрь так, чтобы паз на решетке попал на штифт в выточке стакана. Наложить на решетку клапан и навернуть поддон на стакан. Винт, крепящий клапан, должен быть вывернут. Вставить собранный стакан в кронштейн и прочно затянуть руками резьбу, после чего клапан закрыть винтом.
7. Подготовить секундомер и положить его рядом с прибором.
8. Взять ведро с пробой раствора, последнюю тщательно перемешать и налить в стакан кружкой от вискозиметра (стороной объемом 200 $см^3$). После окончания вытереть резьбу стакана. Стакан следует заполнить на 3-4 мм ниже края горлышка.
9. Навернуть цилиндр на стакан, предварительно проверить исправность прокладки.
10. Налить в цилиндр машинное масло (масло должно быть не очень густым; слишком густое масло разбавляется керосином). Масло наливается на внутренний край цилиндра так, чтобы оно стекало по стенкам цилиндра. Масло следует наливать до такого уровня, чтобы до верхнего края втулки оставался 1 см.
11. Вставить плунжер в цилиндр. При этом плунжер за счет сжатия воздуха в его плотности просядет на 2-3 см.
12. Приоткрыть спускную иглу и, вращая плунжер рукой за накатку на грузе, подвести нулевое деление на шкале к отсчетной риске на верхнем крае втулки цилиндра.

Неопытному исполнителю это не всегда удается, и нулевое деление опускается ниже риски. В этом случае надо записать показание по шкале против риски, принять его за нуль и из всех следующих показаний вычитать нулевое показание (например: нулевое показание 1,5 $см^3$, показание за 30 минут - 23 $см^3$. Вычитая из 23$см^3$ 1,5 $см^3$, получаем 21,5 $см^3$).

Нулевое деление может опускаться ниже риски и в случае определения водоотдачи раствора, насыщенного газом (из-за сжатия газа в растворе под давлением). Если в этом случае нулевое деление опустится ниже риски не более чем на шесть делений и водоотдача у раствора будет небольшая, то следует пользоваться тем же приемом, что и в первом случае, т.е. из

показаний вычитать нулевое показание.

Если же нулевое деление опустится ниже, чем на десять делений, то следует вынуть плунжер, перевернуть его, залить его полость маслом, прикрыть отверстие пальцем и вновь вставить в цилиндр. В этом случае шкала остановится на 6-8 делений выше, чем при незаполненной полости плунжера.

Примечание. Операции, перечисленные в пунктах 7, 8, 9, 10 и 11 следует производить быстро, так как при нестабильных растворах за время от момента налива раствора в стакан до момента начала фильтрации может образоваться осадок, из-за чего исказится результат измерения.

13. Взять в левую руку секундомер, а правой открыть клапан, вывернув винт на один - два оборота. В момент открытия клапана пустить секундомер.

14. При производственных измерениях достаточно веять один отсчет через 30 минут. В течение этого времени периодически вначале чаще, вращать плунжер за накатку на грузе.

При взятии отсчетов глаз исполнителя должен находиться на уровне отсчетной риски на втулке цилиндра и на расстоянии от нее около 30-40 см.

15. После взятия отсчета открыть спускную иглу, выпустив масло из цилиндра и опустить плунжер с грузом. После этого при открытой игле вынуть плунжер с грузом. После этого при открытой игле вынуть плунжер из цилиндра и, если его конец запачкан раствором, смыть последний.

16. Закрыть иглу, отвернуть цилиндр со стакана и слить масло из чашки цилиндра в бачок для масла.

17. Промыть фильтрационный стакан, не разбирая его. Для этого подставить его горлышко под слабую струю воды; масло при этом всплывет и уйдет ив стакана вместе с водой и раствором. Затем вылить воду и остаток раствора из стакана и разобрать его.

18. Поставить стакан на ладонь левой руки так, чтобы он опирался на нее краями, а не решеткой, и легкими ударами правой ладони по горлышку выбить корку с решеткой.

Если корка прочно прилипла к стенкам стакана, её следует выдуть ртом.

19. Смерить толщину корки и записать.

20. Вымыть и вытереть детали фильтрационного стакана и собрать их.

Вымыть и вытереть цилиндр; проверить, не загрязнена ли внутренняя поверхность втулки цилиндра глинистым раствором, прочистить втулку, смазать её маслом и навернуть цилиндр на стакан.

Вставить смазанный маслом плунжер в цилиндр и установить прибор на кронштейн.

21. Прибор следует хранить в собранном виде, в защищенном от пыли месте - в ящике переносной лаборатории или в шкафу.

Примечание: 1. Так как прибор точно воспроизводит кинетику процесса фильтрации, т.е. зависимость количества выделившегося фильтрата по времени, и так как эта зависимость, изображенная в логарифмических координатах, представляет собой прямую линию, то на приборе ВМ-6 можно производить фильтрацию в течение 10-15 минут с последующей экстерполяцией по графику. Для этого в комплекте прибора поставляются бланки со специальной логарифмической сеткой.

В этом случае за время определения следует взять не менее двух отсчетов - один за 2 или 3 минуты фильтрации и второй за 10 или 15 минут. Полученные отсчеты наносятся на бланк, который разграфлен девятью вертикальными линиями на минуты (левая крайняя линия соответствует 1-ой минуте, следующие - 2-ой, 3-ей, 4-ой, 5-ой, 10-ой, 15-оР, 20-ой и 30 минутам), горизонтальными линиями на кубические сантиметры (от 1 до 100 $см^3$). Часть этих линий обозначена цифрами, соответствующими числу кубических сантиметров.

На вертикальной линии, соответствующей 2-ой минуте, в месте её пересечения с горизонтальной линией, соответствующей отсчитанному числу кубических сантиметров, ставится точка. Таким же образом наносится точка, соответствующая отсчету за 10 и 15 минут. Через полученные две точки карандашом проводится прямая линия до пересечения с правой крайней вертикальной линией, соответствующей 30-ти минутам фильтрации.

По шкале горизонтальных линий отсчитывается величина водоотдач в кубических сантиметрах за 30 минут фильтрации, поскольку за единицу водоотдачи глинистых растворов принято количество фильтрата, выделяющегося из раствора за 30 минут через фильтр диаметром 75 мм.

Пользуясь этим приемом, можно сократить время фильтрации до 10 минут и, кроме того, определять водоотдачу раствора большую, чем 40 $см^3$ за 30 минут.

Ошибка в определении водоотдачи за 30 минут по 10-минутному замеру не превышает 0,5 $см^3$ при водоотдачах до 20 $см^3$ и не больше 2 $см^3$ при больших водоотдачах.

Для сопоставления результатов измерения водоотдачи прибором ВМ-6 с другими приборами, градуированными в кубических сантиметрах, при фильтре диаметром 75 мм, необходимо применять нерасчетный коэффициент. Последний определяется как отношение площадей фильтрации, так как количество фильтрата прямо пропорционально площади фильтрации.

4. ОТСТОЙНИК - ОМ

Назначение: Металлический отстойник ОМ-2 предназначен для определения процента содержания песка в глинистом растворе.

Содержание в глинистом растворе твердых частиц разбуренных пород и нерастворенных комков глины определяется процентом песка в пробе раствора, отстоявшегося за одну минуту покоя в отстойнике из пробы разжиженной водой в отношении 1:9.

Описание прибора:

Отстойник ОМ-2 (рис. 4) представляет собой цилиндрический сосуд 2 с плотной крышкой 1, в нижней части которого укреплена сменная бюретка 3, защищенная чехлом. В верхней части цилиндра на уровне объема 500 $см^3$ имеется отверстие Ø 3 мм.

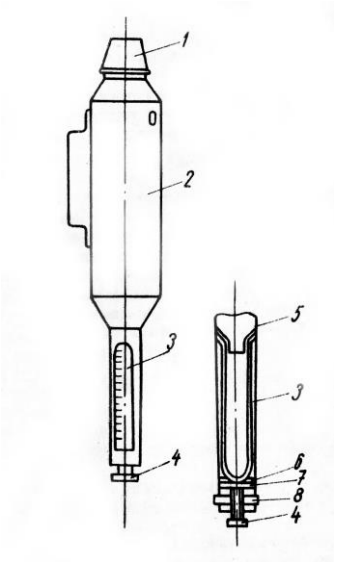


Рис. 4 Отстойник ОМ-2 Крышка отстойника служит для отмеривания раствора.

Крепление бюретки 3 осуществляется при помощи винта 4, черев перекладину 5 и шайбу 6 с резиновой прокладкой 7.

Герметизация крепления бюретки обеспечивается резиновой прикладкой 8.

Техническая характеристика

Объем отстойника, $см^3$..... 600
Объем крышки, $см^3$..... 50
Объем бюретки, $см^3$..... 10
Габаритные размеры, мм:
Диаметр.....60
Высота.....345
Вес.....0,3

Бюретка градуирована через 0,1 $см^3$, каждое десятое деление шкалы обозначено цифрой.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определение процента содержания песка в глинистом растворе при помощи отстойника ОМ-2 следует производить в следующей последовательности:

a) промыть отстойник и вытереть его;

b) снять крышку отстойника, отмерить ею 50 $см^3$ раствора и влить его в отстойник через горлышко;

c) не вынимая крышки, зачерпнуть ею воду, растворить в ней оставшийся на её внутренних стенках раствор и влить в отстойник.

   С помощью крышки наполнить отстойник водой до уровня трехмиллиметрового отверстия на его боковой поверхности, держа отстойник вертикально. Подождать, пока вода прекратит вытекать из этого отверстия;

d) плотно закрыть отстойник крышкой и повернуть его в горизонтальное положение трехмиллиметровым отверстием вверх.

   Прижимая крышку ладонью правой руки и прикрывая отверстие пальцем той же руки, интенсивно взболтать содержимое отстойника

e) повернуть отстойник в вертикальное положение, выждать одну минуту по часам или секундомеру и прочесть показание по шкале бюретки против уровня осевшего песка

   ПРОЧИТАННОЕ ПОКАЗАНИЕ, УМНОЖЕННОЕ НА ДВА, БУДЕТ ПОКАЗАТЕЛЕМ СОДЕРЖАНИЯ ПЕСКА В РАСТВОРЕ, ВЫРАЖЕННОМ В ПРОЦЕНТАХ.

f) вылить из отстойника содержимое, промыть его водой, вытереть и вложить на место в ящик лаборатории.

СМЕНА БЮРЕТКИ

При поломке бюретки или необходимости извлечь её для чистки следует вывернуть винт 4 (рис. 4), извлечь перекладину 5 и шайбу 6 с резиновой прокладкой 7, а за ними - бюретку 3.

Перед тем как вставить бюретку, следует проверить исправность верхней прокладки 8 и при надобности сменить её.

Сборка ведется в следующем порядке: вставить бюретку, плотно уперев её в верхнюю прокладку, вложить шайбу 6 с резиновой прокладкой 7, вставить перекладину 5 в овальные отверстия чехла, ввернуть винт 4 и прижать им бюретку.

5. ЦИЛИНДР ЦС-2

Назначение:

Цилиндр ЦС-2 предназначен для определения стабильности глинистых растворов.

Показатель стабильности глинистого раствора определяется как разность удельных весов верхней и нижней половины пробы раствора отстоявшегося в течение суток в цилиндре высотой 200 мм.

Описание прибора:

Цилиндр ЦС-2 (рис. 5) выполнен из тонкого листового железа и окрашен нитроэмалью. Посредине высоты цилиндра имеется отвод с резиновой пробкой для слива верхней половины раствора.

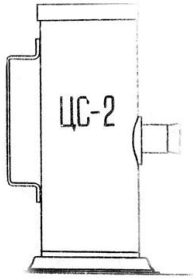


Рис. 5. Цилиндр ЦС-2

Техническая характеристика

Высота столба раствора в цилиндре..... 200
Объем цилиндра, $см^3$..... 800
Габаритные размеры, мм..... 100x210x110
Вес, кг..... 0,5

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определение стабильности глинистых растворов при помощи цилиндра ЦС-2 следует производить в следующей последовательности:

a) Вымыть цилиндр водой и вытереть насухо снаружи и внутри;

b) Влить пробу раствора в цилиндр до края, предварительно тщательно перемешать её;

c) Установить заполненный цилиндр в спокойном месте на сутки, отметив время по часам;

d) Через 24 часа открыть пробку, слить верхнюю часть пробы раствора вместе с отстоявшейся водой в кружку, тщательно перемешать слитый раствор и определить его удельный вес ареометром АГ-2, закрыть отвод пробкой, тщательно перемешать в цилиндре отстоявшуюся нижнюю половину раствора и определить её удельный вес. 1

e) При определении удельного веса ареометром АГ-2 обязательно погружать его при обоих измерениях в одну и ту же воду;

f) Определить показатель стабильности глинистого раствора вычитанием первого показания ареометра из второго;

g) Вымыть цилиндр, вытереть насухо и вложить на место в ящик лаборатории.

6 . ИНСТРУКЦИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУТОЧНОГО ОТСТОЯ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ МЕРНЫМ ЦИЛИНДРОМ

Показатель суточного отстоя глинистого раствора определяется как процент воды, отстоявшейся за сутки на пробы раствора.

Определение суточного отстоя глинистых растворов производится стандартным мерным цилиндром объемом 100 см3 с ценой деления 1 см. Для этих определений также необходимы часы.

Определения следует производить в следующей последовательности:

a) вымыть мерный цилиндр водой и вытереть насухо снаружи и внутри;
b) тщательно перемешанную пробу раствора налить в цилиндр до сотого деления на шкале;
c) поставить цилиндр с раствором в спокойное место, отметить время и оставить на 24 часа;
d) черев 24 часа прочесть на шкале цилиндра отсчет положения уровня раздела раствора и отстоявшейся воды и вычесть полученное показание из 100. Результат вычитания является показателем суточного отстоя в процентах;
e) вымыть цилиндр и вложить его в ящик лаборатории.

7. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ТИПА СНС-2

Прибор СНС-2 предназначен для измерения статического напряжения сдвига глинистых растворов и применяется в условиях лабораторий геологоразведочных партий и экспедиций.

Прибор переносной и может быть использован в полевых условиях на буровой вышке.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Прибор для определения статического напряжения сдвига основан на принципе вискозиметра с соосными цилиндрами.

На тонкой упругой нити подвешен цилиндр, погруженный в соосный полый цилиндр, заполненный испытуемой жидкостью, при вращении внешнего цилиндра жидкость, находящаяся в нем, увлекает за собой подвешенный цилиндр до тех пор, пока момент закрученной нити не станет равным крутящему моменту, определяемому вязкостью испытуемой жидкости и размерами подвешенного цилиндра.

Измерение статического напряжения сдвига глинистых растворов является частным случаем применения вискозиметра с соосными цилиндрами и производится при весьма малых скоростях вращения внешнего цилиндра, в данном приборе принята скорость вращения внешнего цилиндра 0,0032 с-1, что соответствует линейной скорости 4 . 10-6 м/с; эта скорость несколько превышает предел скорости так называемой вариантной зоны, в которой определяемая величина строго соответствует понятию статического напряжения сдвига любых известных глинистых растворов. Однако уменьшение скорости влечет за собой либо снижение точности отсчета и измерении либо увеличение производства измерений.

Время для производства измерений при наличии тиксотропии растворов должно быть, как можно меньше и в соответствии с принятой методикой измерения не должно превосходить 60 секунд, чему соответствует поворот внешнего цилиндра прибора на 72°, а шкалы прибора - на несколько меньшую величину.

Нити для различных пределов измерения подбираются из этих соображений, а именно: закручивание нити на угол 65-70° должно соответствовать крутящему моменту, определяемо ну по предельному значению измеряемого статического напряжения сдвига.

В приборах с соосными цилиндрами на результаты измерения оказывает влияние момент, возникающий на донной части подвешенного внутреннего цилиндра. С целью уменьшения этого влияния нижняя часть внутреннего цилиндра расточена, благодаря чему при погружении цилиндра в испытуемую жидкость в расточке остается воздух. Таким образом, дно цилиндра не имеет контакта с испытуемой жидкостью.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Прибор для измерения статического напряжения сдвига глинистых растворов (рис. 8) состоит из измерительной части и привода, смонтированных на прямоугольной плите 1. Для регулировки положения прибора плита снабжена двумя регулируемыми опорами 2 и одной неподвижной 11. Измерительная часть состоит из двух узлов: узла внешнего подвижного цилиндра и уела подвесного цилиндра с упругой измерительной системой.

Узел внешнего цилиндра состоит из корпуса 10, расположенном на стояке 12, имеющем строго концентрическую расточку под внешний цилиндр и канавку под спиральную бесконечную пружину.

Узел подвесного цилиндра, монтирующийся на вертикальном кронштейне 3, состоит из:

1. Цилиндра 9 с расточкой под конус Морзе № 1 и расточка в донной части для защитного пузыря. Цилиндр имеет накатанную наружную поверхность, обеспечивающую прочную связь с испытуемым раствором.

Выполнен цилиндр из латуни с матовым никелевым покрытием.

2. Трубки 6, один конец которой имеет конусную поверхность и резьбу под винт соосного соединения с цилиндром, а второй конец выполнен открытым для размещения в нем упругой нити 5. Крепление нити в трубке и регулирование соосности нити с трубкой осуществляется тремя винтами в утолщении трубки над конусом. Средняя часть трубки имеет концентричную площадку с уступом для установки шкалы 7.

3. Шкала 7 с делениями, нанесенными через 1° на её конической поверхности. Для грубой установки шкалы на нуль предусмотрены 8 отверстий, одним из которых она надевается на штифт, имеющийся на соответствующей площадке трубки.

4 Стрелки 3, укрепленной на кронштейне и имеющей наконечник из прозрачного оргстекла и нанесенными на нем с

обеих сторон рисками, исключающими ошибку параллакса при отсчете.

5. Нити 5, изготавливаемой из стальной пружинной проволоки и имеющей 2 наконечника: нижний в виде втулки, входящий в трубку с зазором в 1 мм на сторону, и верхний в виде диска с фаской, на которой выгравирован номер нити.

Весь узел подвешивается на конусной пробке 13, которая в свою очередь плотно устанавливается в конусной втулке, запрессованной в кронштейн. Поворотом пробки шкала прибора устанавливается на нуль по стрелке.

Привод внешнего цилиндра осуществлен от синхронного электрического двигателя СД-2 (2 позиции 4) через редуктор и гибкую передачу 1:2.

Привод прикреплен к плите прибора через амортизатор из губчатой резины, предназначенный для защиты измерительной части прибора от вибраций двигателя.

Для включения двигателя предусмотрены тумблер, укрепленный на кронштейне прибора, и шнур с вилкой для подключения к сети.

Для заполнения внешнего цилиндра испытуемым глинистым раствором предусмотрена специальная мерная кружка объемом 120 мл.

Прибор поставляется в специальном ящике.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Лабораторные занятия выполняются на уже отградуированном приборе; данные градуировки приводятся в паспорте для каждой поставляемой нити.

Для работы прибор должен быть установлен на устойчивом и прочном столе. Подвесная система подвешивается за верхний конец нити в пробке кронштейна и прибор устанавливается регулировочными нитями так, чтобы подвесной цилиндр встал соосно с вращающимся столиком прибора (регулировка соосности нити с трубкой подвесной системы выполнена при сборке прибора).

Устанавливают "О" шкалы против риски на стрелке указателя. Установку нуля можно производить грубо путем поворота шкалы на трубке и точно: путем осторожного и плавного поворота в гнезде кронштейна. Чтобы убедиться, что установка на ноль произведена правильно, следует выждать, пока подвесная система успокоится. Затем следует снять подвесную систему, не трогая и не сдвигая пробку в гнезде кронштейна, и установить на вращающийся столик внешний цилиндр.

Подготовленный для работы прибор подключить к сети напряжением 220 вольт и, включая тумблер, проверить работу электродвигателя.

ПРОИЗВОДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

При производстве измерений следует:

1. Пробу раствора сильно взболтать.
2. Снять подвесной цилиндр.
3. Взболтанный раствор зачерпнуть меркой объемом 120 мл, прилагаемой к прибору, и валить установленный на вращающемся столике прибора внешний цилиндр.
4. Погрузить подвесной цилиндр во внешний цилиндр и подвесить нить на пробку. При погружении подвесного цилиндра нужно следить за тем, чтобы его верхний конец не погрузился под уровень раствора. Если раствор не достигает верхнего края подвесного цилиндра, следует осторожно долить раствор. Подвесной цилиндр должен быть погружен в раствор точно до верхнего края.
5. Взять в левую руку секундомер, а правой осторожно поворачивать подвесную систему и перемешивать раствор. После окончания перемешивания раствора поставить на "О" шкалу против риски на стрелке прибора и одновременно включить секундомер. Во время этой операции следует следить за тем, чтобы подвесной цилиндр был в центре внешнего цилиндра.
6. По истечении одной минуты нажатием тумблера включить электродвигатель и наблюдать за движением подвесного цилиндра по шкале прибора.

Увлекаемый глинистым раствором, подвесной цилиндр вращается вместе с внешним цилиндром до тех пор, пока момент в закручивающейся нити не станет равным моменту, обусловленному статическому напряжению сдвига раствора на подвесном цилиндре. Когда подвесной цилиндр остановится, произвести отсчет по шкале в градусах.

7. Включить электродвигатель.

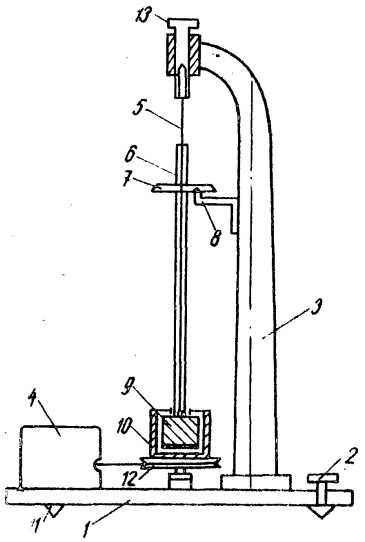


Рис. 6. Прибор СНС-2

Для определения тиксотропии раствора выполняется повторное измерение, но уже по истечении 10 минут по секундомеру. С этой целью сразу же после первого измерения осторожно внутренним цилиндром размешать раствор, установить "0" шкалы против риски и дать глинистому раствору стабилизироваться в течение 10 минут и выполнить измерение.

При работе и установке шкалы "0" наблюдающий должен следить за совпадением рисок, нанесенных с обеих сторон, чтобы исключить ошибку параллакса при отсчете.

Производство каждого замера от момента пуска электродвигателя до момента остановки подвесного цилиндра не должно продолжаться более 1 минуты, чему соответствует максимальный отсчет 70°.

Если замер продолжался более 1 минуты, его следует признать некачественным, а выбранный предел измерения недостаточным. В этом случае следует заменить нить на более толстую с большим пределом измерения.

Если показания прибора было в пределах 10°, замер следует признать неточным, а выбранный предел измерения слишком большим.

В этом случае следует заменить нить на более тонкую с меньшим пределом измерения.

Полученное в результате измерения показание в градусах следует пересчитать в мг/см^2 путем умножения на коэффициент, соответствующий данной нити и приведенный в паспорте.

Например, в процессе измерения статического напряжения сдвига глинистого раствора внутренний цилиндр, подвешенный на упругой нити 5 с коэффициентом 2,725 м г/см · град. повернулся на 21°. Статическое напряжение сдвига в этом случае будет 2,725 мг/см · град · 21 = 57 мг/см^2 = 5,7 Па.

После измерений все детали, испачканные глинистым раствором, следует вымыть и насухо вытереть.

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ВСН – 3

К реологическим параметрам относятся:

а) предельное напряжение сдвига – θ_1 и θ_{10} Па, характеризующее прочность структуры, образующейся в промывочной жидкости после 1 и 10 минут;

б) эффективная вязкость $\eta_{эф}$, спз характеризующая вязкое сопротивление промывочной жидкости при данной скорости сдвига;

в) пластическая вязкость $\eta_{пл}$, спз - условная величина, являющаяся долей эффективной вязкости, которая возникает вследствие структурообразования в потоке промывочной жидкости;

г) предельное динамическое напряжение сдвига $Ъ_0$, условная величина, характеризующая предел текучести в потоке промывочной жидкости.

Реологические показатели измеряются с помощью ВСН-3 по величине усилия, возникающего на подвесном цилиндре, погруженном в буровой раствор, при заданной скорости вращения наружного цилиндра.

Прибор ВСН-3 (рис. 7) состоит из корпуса 15, измерительного механизма 7-12, привода к нему 1,2 и подвесного кронштейна 14, на который ставится стакан с буровым раствором 13. Измерительный механизм имеет два коаксиально расположенных цилиндра, наружный (ротор) 11 и внутренний 12, укрепленный на оси, в верхней части которой расположен манометр 9 и измерительная шкала с делениями в градусах. Установка шкалы на "0" производится с помощью крутильной головки 8. Привод ротора осуществляется двигателями через многоступенчатую коробку передач. Прибор работает от сети переменного тока.

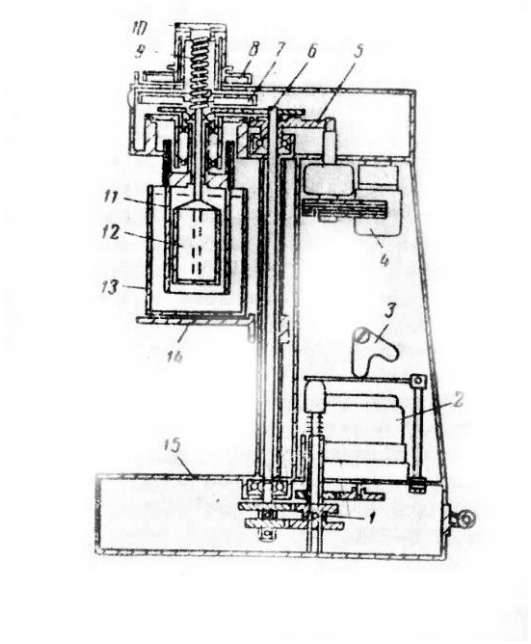


Рис. 7. Вискозиметр ВСН-3
1 - двухскоростной редуктор; 2 - синхронный двигатель СД-54;
3 - переключатель редуктора; 4 - синхронный двигатель СД-2;
5 - шестерня обгонной муфты; 6 - трансмиссионный вал;
7 - шкала измерительная; 3 - шкала крутильной головки;
9 - пружинный динамометр; 10 - наружный цилиндр;
11 - внутренний цилиндр, 13 - стакан с раствором; 14 -
кронштейн; 15 - корпус.

ИЗМЕРЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА

Перед измерением чистый сухой стакан заполняют буровым раствором и ставят на кронштейн. Прибор включают и размешивают раствор при 9,600 $с^{-1}$ в течение 0,5 мин. По окончании перемешивания устанавливают шкалу на ”0" и раствор оставляют на 1 минуту. Одновременно переключают скорость вращения ротора на 0,0032 $с^{-1}$, снова включают прибор и отмечают угол максимального закручивания нити в градусах ($у_1$). Замер $у_{10}$ производят аналогично после 10 минут покоя. Статическое напряжение сдвига определяется по формуле:

$$Q_1 = k \cdot y_1$$
$$Q_{10} = k \cdot y_{10}$$

где: *k*- коэффициент прибора.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ, ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА

Стакан прибора заполняют буровым раствором до метки и устанавливают на кронштейн. Включают прибор со скоростью вращения ротора 9,600 $с^{-1}$ и замеряют угол поворота (у) по установившимся показателям шкалы. Замер повторяют последовательно при 6,400; 4,800 и 3,200 $с^{-1}$. По окончании измерения прибор выключают, цилиндры моют и вытирают насухо.

По результатам измерений, полученных на приборе ВСН-3, рассчитывают реологические показатели - эффективную и пластическую вязкости, а также динамическое напряжение сдвига. Для расчета необходимо сделать графическое построение в координатах n – $У_1$, аналогичное изображенному на рис. 3.

Через точки, соответствующие значениям У при различных n проводят плавную линию 1 - реологическую кривую течения. Прямолинейный участок кривой продолжают до пересечения с осью абсцисс в точке $У_1$, и получают прямую 2.

Опустив перпендикуляр на ось абсцисс от точки прямой 2, соответствующей 9,600 $с^{-1}$ получают точку ϕ_2.

Реологические показатели рассчитывают по формулам:

$$\eta_{эф(n)} = \beta \frac{y_2}{n} \quad ;$$

$$\eta_{пл} = \beta \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{n};$$

$$\tau_0 = A \cdot y_1$$

где:

η эф - эффективная вязкость, спз;

$\eta_{пл}$ - пластическая вязкость, спз;

τ_0 – предельное динамическое напряжение сдвига, Па ;

А и В – коэффициенты приборов (указываются в паспортах);

$У_1$ и $У_2$ - углы в градусах (определяются по графику и соответствуют отрезкам ОУ1 и ОУ2).

Примечание: Если реологическая кривая имеет обратный наклон или не содержит прямолинейного участка (аналогично кривой 3 на рис. 8) определяют только эффективную вязкость по формуле (1) с углом

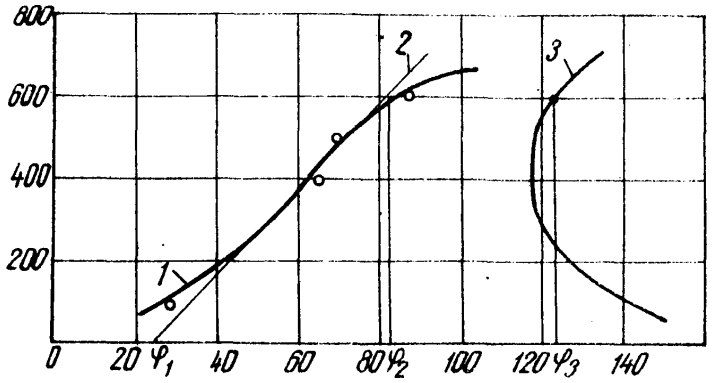


Рис. 8. Типы реологических кривых
1 - кривая, построенная по опытным точкам; 2 - прямая для расчета η пл и τ_0 ; 3 – кривая с обратным наклоном.

2. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ АКТИВНОСТИ И СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Смазочные свойства промывочных жидкостей проявляются при введении в них активных добавок и эмульсолов.

Смазочные свойства в основном связаны с формированием смазочных пленок, в результате адсорбции поверхностно-активных веществ на трущихся поверхностях (бурильных трубах, стенках скважин, буровых наконечниках). Вольную роль на смазочные свойства оказывает pH среды.

Оценку адсорбционной активности ПАВ и их смазочных свойств можно осуществить по следующим параметрам:

1) поверхностное натяжение, Н/м ;
2) смачиваемость, В = Cos θ ;
3) стабильность, %;
4) порог быстрой коагуляции Пб·к, к/л;
5) водородный показатель, pH;
6) коэффициент трения, Кт;
7) предельная прочность смазочной пленки, $р_{кр}$ Па

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (pH)

Водородный показатель определяет концентрацию ионов водорода в промывочной жидкости, которые оказывают существенные влияния на физико-химические процесса, протекающие в жидкости и на эффективность химической обработки.

Для различных промывочных жидкостей существует своя оптимальная концентрация водородных ионов, при которой они более полно удовлетворяют требованиям технологии бурения в конкретных геолого-технических условиях. Контроль за концентрацией водородных ионов позволяет определить причины изменения свойств промывочной жидкости в процессе бурения и принять меры по восстановлению её качества.

Вода является слабо диссоциирующим веществом, в 1 л при 22 °С диссоциирует одна десятимиллионная часть грамм-молекулы с образованием $1 \cdot 10^{-7}$г. ион водорода H^+ и $1 \cdot 10^{-7}$ г. ион гидроксильной группы ОН. Концентрация диссоциированных молекул H_2O в воде и разбавленных водных растворов является величиной постоянной, постоянным является и произведение концентраций водородных и гидроксильных ионов - так называемое ионное произведение воды (численное значение равно $1 \cdot 10^{-14}$).

Кислотность и щелочность раствора можно выражать через концентрации ионов H^+. Чтобы избежать неудобств, связанных с применением степенных отрицательных чисел, концентрацию водородных ионов принято выражать и логарифмом с обратным знаком и называть водородным показателем pH.

$pH = - \lg H^+$

В нейтральных растворах pH = 7 и уменьшается с ростом кислотности. В щелочных растворах pH>7 и повышается с ростом щелочности.

При повышении щелочности АГЖ ухудшаются щелочные свойства, происходит быстрое удаление адсорбционных пленок ПАВ с трущихся поверхностей, а у глинистого раствора наблюдается коагуляция, растет вязкость.

Для измерения pH в лабораторных условиях применяют специальные приборы pH-метры. Для измерения величины pH в этих приборах используется система со стеклянным электродом, электродвижущая сила которой зависит от активности ионов водорода в растворе.

Схема для измерения величины pH приведена на рис. 13. Стеклянный электрод 2 представляет собой трубку с пожни шариком 1 из специального стекла на конце. При погружении электрода в раствор между поверхностью шарика электрода и раствором происходит обмен ионами, в результате которого ионы лития в поверхностных слоях замещаются ионами водорода, и стеклянный электрод приобретает свойства водородного электрода.

Между поверхностью стекла и контролирующим раствором возникает разность потенциалов, величина которой определяется активностью ионов водорода в растворе.

Для создания электрической цепи при измерении применяются контактные электроды: внутренний контактный электрод, осуществляющий электрический контакт с раствором, заполняющим внутреннюю полость стеклянного электрода, и внешний контактный электрод (вспомогательный электрод), осуществляющий электрический контакт с контролируемым раствором. Для защиты от воздействия высоких температур (при измерении pH растворов, температуры которых выше температуры окружающей среды) вспомогательный электрод помещают вне контролируемого раствора и соединяют с ним при помощи электролитического ключа трубки, наполненной раствором хлористого калия и заканчивающейся пористой перегородкой.

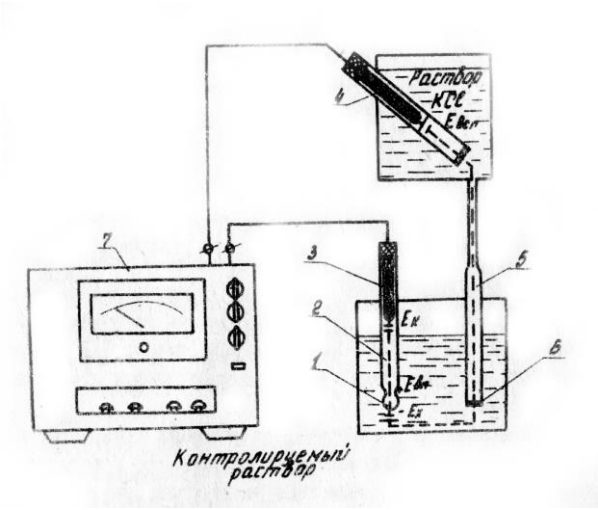


Рис. 9. Схема измерения pH раствора
1- полый шарик ив электродного стекла; 2- стеклянный электрод; 3- внутренне контактный электрод; 4- вспомогательный электрод; 5- электролитический ключ; 6- пористая перегородка; 7- pH-метр - pH-262 (измерительный прибор).

Раствор хлористого калия непрерывно просачивается через пористую перегородку, предотвращая проникновение из контролируемого раствора в систему электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину ЭДС электрода.
Для измерения ЭДС электродной системы применяется компенсационная схема, позволяющая существенно уменьшить потребляемый ток электродной системы при измерении. При намерении электродвижущая сила Е электродной системы сравнивается с падением напряжения на сопротивлении, через которое протекает ток конечного каскада усилителя pH-метра. Этот ток пропорционален ЭДС электродвижущей системы, а следовательно, и величине pH контролируемого раствора.

Измерение поверхностного натяжения

Поверхностное натяжение - это величина удельной работы, которую нужно затратить, чтобы образовать единицу свободной поверхности (капли).

Измерение поверхностного натяжения в лабораторных условиях наиболее удобно производить на сталагмометре БашНИИнефть (рис. 10). Определяется число капель в единице объема, формирующихся на границе раздела: водный раствор ПАВ - воздух.

Основными частями прибора являются: 1 - микрометр, определяющий объем выдавливаемого раствора; 2 - медицинский шприц, куда заливается исследуемый раствор ПАВ; 3 - капилляр с внутренним диаметром 0,8 мм и 4 - кронштейн.

Перед началом опыта внутреннюю поверхность шприца и капилляр обезжиривают хромовой смесью (5% порошка двухромового калия, растворенного в концентрированной серной кислоте) или ацетоном, а потом промывают дистиллированной водой.

Перед началом замеров необходимо определить постоянную капиляра. Для этого берут дистиллированную воду, поверхностное натяжение которой известно, и замеряют количество капель, появляющихся при выдвижении микрометренного винта на 1 см. Поверхностное натяжение ~~води~~ при данной температуре берется из табл.

Таблица 1

Изменение поверхностного натяжения воды в зависимости от температуры

Температура воды, °С	Поверхностное натяжение, Н/м	Температура воды, °С	Поверхностное натяжение, Н/м
15	73.49	22	72,44
16	73,34	23	72,28
17	73,19	24	72,12
18	73,05	25	71,96
19	72,90	26	71,80
20	72,75	27	71,64
21	72,59	28	71,47

Постоянная капилляра определяется по формуле:

$$К = б_в \cdot n_в$$

где $б_в$ - поверхностное натяжение воды при данной температуре Н/м

$n_в$ - число капель воды при выдвижении шприца на 1 см.

Затем 50 $см^3$ активной промывочной жидкости профильтровывают через складчатый фильтр < менее 50 $см^3$ фильтрата брать не рекомендуется, так как в этом случае концентрация ПАВ существенно изменится вследствие адсорбции на фильтровальной бумаге).

При работе с глинистым раствором можно использовать для получения фильтра прибор ВМ-6.

Определяют температуру фильтрата, После получения равенства температур воды и фильтрата приступают к измерению. Подсчитывают число капель фильтрата при выдвижении микрометренного винта на 1 см. Замеры проводят три раза и находят среднее количество капель.

Поверхностное натяжение фильтрата определяется по формуле:

$$\sigma_и = \frac{\sigma_Б \cdot n_в}{n_и} = \frac{К}{n_и}$$

где $П_и$- число капель исследуемой жидкости;

$К$ - постоянная капилляра.

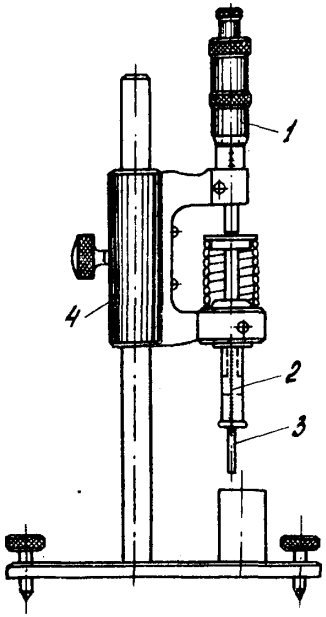


Рис. 10. Сталагмометр
1- микрометр, 2-медицинский шприц;
3-капилляр; 4 - кронштейн

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ АПЖ

Способность АПЖ смачивать твердые поверхности характеризуется косинусом краевого угла смачивания, которая навивается смачиваемостью (В = Cos *в*)

Краевой угол смачивания на исследуемой поверхности (бурильная труба, горная порода) измеряется по форме капли, сфотографированной на пластинке.

Для снятия капли на пластинку применяется установка, схема которой приведена на рис. 11.

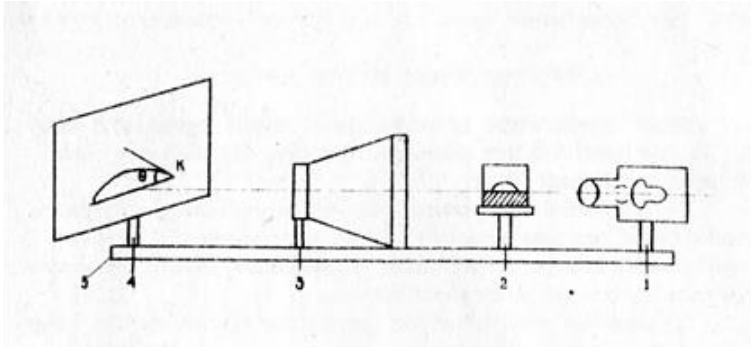


Рис.11. Установка для определения краевого угла смачивания. источник света; 2 - испытуемая поверхность; 3 - увеличитель экран-пластинка; 5 - рама.

Установка состоит ив источника света 1, испытуемой поверхности 2, увеличителя с длинно-фокусной линзой 3, экрана 4, рамки 6.

Для измерения краевого угла смачивания исследуемых поверхностей готовится АШ с концентрациями ПАВ 0,5; 1; 2; 3; 4%. Перед нанесением капли на исследуемую поверхность её нужно обезжирить ацетоном или хромовой смесью, промыть дистиллированной водой и хорошо просушить. Для нанесения капель на поверхность дается выдержка 4 минуты с целью придания каппе равновесного кривого угла.

В течение данного времени капля проектируется на экран путем установки максимальной резкости в изображении контура капли перемещением увеличителя 3 по направляющей рамки 5.

После снятия капли на пластинку и её проявления, замеряется краевой угол. Для этого измеряется высота капли h и радиус площади контакта с поверхностью $r_к$. Зная эти размеры, рассчитывается смачиваемость по формулам:

при $\theta < 90°$ $$C_{o\theta}\theta = \frac{r_k^2 - h^2}{r_k^2 + h^2}$$

при $\theta > 90°$ $$C_{o\theta}\theta = 1 - \frac{h}{r_k}$$

Полученные расчетные данные заносятся в таблицу, на основании которых строятся графики *CosΘ=f(c).* Данные графики позволяют оценить смачиваемость АПК поверхности горных пород и бурильных труб в зависимости от концентрации ПАВ. На основании полученных данных вычисляется работа адгезии, которая характеризует энергию сцепления смазочной пленки с трущимися поверхностями.

$$W_a = \sigma_{ж г}(1 + C_{o\vartheta}\theta)$$

где W_a - работа адгезии, Н/м *;*

$6_{ж.г}$ - поверхностное натяжение на границе раздела жидкость-газ, *Н/м ;* Cos θ - смачиваемость.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ АПЖ

Под стабильностью, или устойчивостью понимается способность АПЖ сохранить свое агрегативное состояние, не расслаиваться в течение продолжительного времени.

Проба АПК заливается в мерный цилиндр, который оставляют в покое в течение трех часов при комнатной температуре. Если за это время расслоение жидкости не произойдет, то она считается стабильной. Расслоение может произойти в результате повышенной жесткости воды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА БЫСТРОЙ КОАГУЛЯЦИИ

Мерой агрегативной устойчивости активной промывочной жидкости по отношении к солям поливалентных металлов является порог быстрой коагуляции (Пб· К).

Порог быстрой коагуляции - это та наименьшая концентрация электролита, которая вызывает снятие энергетического барьера электростатического отталкивания сближающихся коллоидных частиц и быстрое расслоение дисперсной системы.

Определение порога быстрой коагуляции осуществляется следующим образом. В начале готовятся растворы активной промывочной жидкости с концентрациями эмульсолов или ПАВ 0,5; 1; 2; 3; 4 %. Затем приготовляются растворы с концентрациями электролитов ($CaCl_2$, $MgCl_2$) от 0,25 до 10/Ь в зависимости от коагулирующей активности электролита.

Раствор электролита заливается в бюретки объемом 10 мл с ценой деления 0,1 мл. Для проведения наблюдений берется пробирка и заполняется 2 мл активной промывочной жидкости. Потом исследуется раствор с помощью бюретки вводится электролит небольшими дозами (по 0,1 мл). После каждой добавки раствор интенсивно встряхивается и просматривается при просвечивании электрической лампой. Интенсивное помутнение раствора и выделение коагулированных хлопьев ПАВ свидетельствует о начале быстрой коагуляции раствора. Концентрация электролита, выраженная в г/л, которая вызывает быструю коагуляцию АПЖ, применяется за порог быстрой коагуляции.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

Коэффициент трения определяется на установке трения, которая монтируются узлы трения 2 и 3. Узел 2 служит для измерения коэффициента трения на контакте металл-металл, и узел 3 - на контакте металл-горная порода. Узел 2 представляет собой четырехшариковую пирамиду, установленную на поверхности стола, который связан с измерительной пружиной, с наклеенными на ней тензодатчиками 4. К тензодатчику подсоединяется тензоусилитель 8, и осциллограф 7. Давление на узел трения осуществляется шпинделем 8, смонтированным в корпусе 9. Вращение шпинделя передается черев шкив 10 от двигателя 11. Нагрузка на шпиндель создается винтом 12 гидро-пресса 13, которая регистрируется по манометру 14. Винт 12 перемещается по резьбе в нагрузочной траверсе 15.

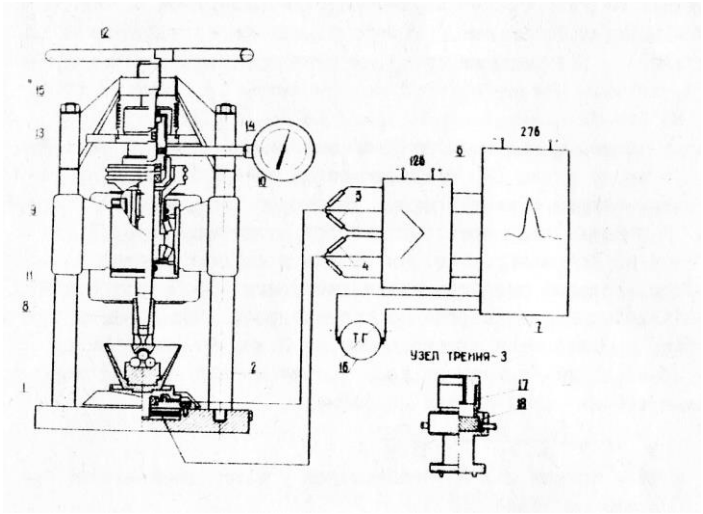


Рис. 12. Установка трения 1 - опорная станина; 2, 3 - узлы трения; 4, 5 - тенаодатчик; 6 - тензоусилитель; 7 - осциллограф; 8 - шпиндель; 9 - корпус шпинделя; 10 - шкив; 11 - электродвигатель; 12 - нагрузочный винт; 13 - гидропресс; 14 - манометр, 15 - нагрузочная траверса; 16 - тахогвнератор

Замеры производятся по следующей методике. Стальные шары диаметром 8,5 мм из стали IX, предварительно обезжиривается ацетоном, устанавливаются в узел трения, в который заливается исследуемая АПЖ. С помощью гидропресса создается нагрузка, которая регистрируется по манометру. Латером плавно включается мотор до полных оборотов, которые регистрируется счетчиком 16. В этот момент включается записывающее устройство осциллографа. После обработки осциллограмм определяется крутящий момент М кр. По аналогичной методике производятся замеры на узле трения металл- горная порода Коэффициент трения определяется по формуле:

$$K_T = \frac{F_{\text{ТР}} \cdot R}{P \cdot r} = \frac{M_{\text{кр}}}{P \cdot r}$$

где $F_{\text{тр}}$ - сила трения или горизонтальное усилие, вызывающее движение стола, Н;

R - радиус подвижного стола, и ;
P - осевая нагрузка на шпиндель, Н ;
r - радиус четырехшариковой пирамиды, м ;
$M_{\text{кр}}$ - крутящий момент на подвижном столе, кг · м^2;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ

Под предельной прочностью смазочной пленки подразумевается критическое давление на площадь контакта, при котором происходит выдавливание (разрушение) смазочной пленки.

Определение предельной прочности смазочной пленки производится на установке трения в следующей последовательности.

Исследуемая активная промывочная жидкость заливается в узел трения, создается последовательно нагрузка на шпиндель, ступенями включается вращение и замеряется величина крутящего момента при каждом нагружении.

Затем строится график в логарифмических координатах, М кр =f (Р). На графике находится точка резкого возрастания величины крутящего момента. Нагрузка, соответствующая этой точке принимается за $P_{\text{мах}}$.

Величина предельной прочности смазочной пленки в месте контакта определяется по формуле Герца-Беляева:

$$P_{\text{кр}} = 0{,}388 \sqrt{\frac{1{,}64 P_k E^2}{r^2}}$$

где $P_{\text{кр}}$ – критическое давление на площадь контакта, кг · м^2 , $P_{\text{к}}$ - контактная нагрузка, Н; E – модуль упругости, кг/мм^2 (для стали E = 2,1х10^{-4} кг/м^2); r - радиус шара, м; $P_{\text{к}}$ = 0,41 Р; $P_{\text{мах}}$ - осевая нагрузка в момент выдавливания пленки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контроль параметров промывочных жидкостей в процессе бурения является важным условием сохранения качества промывочной жидкости и поддержания устойчивости ствола скважины.

В методических разработках приведено описание основных приборов для измерения структурно-механических и антифрикционных параметров промывочных жидкостей и изложена методика их определения.

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Н. Н. Дерябин, С. Г. Эйнгорн

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Методические указания
по самостоятельной работе курса
«Буровые машины и механизмы»
для студентов специальности:
21.05.03 Технология геологической разведки
Специализация № 3
Технология и техника разведки МПИ

очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

Оглавление

Введение……..……3
1. Принципы классификации буровых установок……..…….4
2. Принципиальное устройство буровых станков и установок…….....6
3. Принципиальные схемы компоновки и
модификации буровых станков и установок……8
4. Буровая установка УКБ-4…….……..12
Литература…….……...23

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Буровые машины и механизмы» является профилирующей дисциплиной при подготовке специалистов специальности «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

Проведение геологоразведочных, геофизических и изыскательских работ непосредственно связано с необходимостью сооружения буровых скважин или изучения межскважинного пространства.

В соответствии с этим студенты специальности, специализация № 3: 21.05.03 Технология и техника разведки МПИ (ТТР)» должны знать конструкцию, устройство и технико-экономические показатели современной буровой техники.

В методических указаниях дается описание основных компоновочных схем буровых установок, предназначенных для бурения геологоразведочных скважин колонковым способом на твердые полезные ископаемые. Приводятся технические параметры установок ряда УКБ. На примере установки УКБ-4 и станка СКБ-4 подробно рассматривается конструкция данного класса бурового оборудования.

1. Принципы классификации буровых установок

Буровая установка представляет собой комплекс сооружений механизмов и устройств, позволяющих осуществить все работы по бурению, креплению и ликвидации скважин. В состав установки входят следующие основные сооружения и машины:

- буровой станок или вращатель с лебедкой;
- буровой промывочный насос, вместе со станком образуя буровой агрегат;
- буровая вышка с талевой оснасткой;
- комплекс энергетического оборудования. В него входит привод механизмов (электро-, гидро-, двигатели внутреннего сгорания и т. д.) и все системы, обеспечивающие его работу;
- буровое здание;
- циркуляционная система промывочной жидкости, необходимая для очистки ее от шлама.

Кроме этих основных элементов, буровые установки оснащаются механизмами, системами и устройствами, обеспечивающими выполнение вспомогательных технологических процессов. Например: захватывание и удерживание буровых свечей талевой системой, свинчивание-развинчивание труб при выполнении спуско-подъемных операций, укладка их в свечеприемники и т. д.

Состав, тип станка или вращателя, а также размеры бурового оборудования определяются такими факторами, как:

- глубина и диаметр бурения;
- цель бурения;
- прочностные (физико-механические) свойства пород.

Глубина и диаметр скважины. Они определяют затраты мощности при ее бурении. Поскольку двигатель бурового станка (или установки) обеспечивает создание определенного числа оборотов и необходимого по величине крутящего момента при вращении колонны бурильных труб при бурении, то эти параметры будут тем больше, чем длиннее скважина и чем больше ее диаметр. Так, до глубины 1500 метров и диаметра скважины 59 мм, необходимые числа оборотов и величину крутящего момента сможет обеспечить шпиндельный вращатель. При увеличении глубины и диаметра скважины для обеспечения необходимых параметров вращения потребуется роторный вращатель.

Кроме того, чем большая мощность необходима для бурения скважины, тем больше размеры и масса основных машин и механизмов, входящих в состав установки, и тем сложнее обеспечить ее транспортировку. По этой причине установки проектируют с ограничением мощности привода. Это позволяет получить несколько классов установок, различающихся по мощности привода (и, соответственно, по размерам и весу), а это, в свою очередь, позволяет обеспечить их транспортировку различными способами.

Цель бурения влияет на выбор способа разрушения породы и, соответственно, на способ бурения. Большинство способов бурения связано с вращением породоразрушающего инструмента. В зависимости от цели и, соответственно, от способа бурения, частота вращения колеблется в диапазоне от 0 до 2000 об/мин. Не все типы вращателей могут обеспечить этот диапазон полностью.

Возможности вращателей следующие:

Шпиндельный вращатель. Позволяет обеспечить частоту вращения колонны бурильных труб до 1500 об/мин. Это позволяет бурить скважины колонковым способом по породам XII категории по буримости. Поэтому станки со шпиндельными вращателями используются в основном для бурения геологоразведочных скважин.

Роторный вращатель. Позволяет обеспечить большой крутящий момент при невысоких частотах вращения. Его целесообразно использовать при бурении глубоких скважин или скважин большого диаметра породоразрушающим инструментом, не требующим высоких частот вращения (например, шарошечными долотами или

твердосплавными коронками). Поэтому роторные вращатели используют при бурении гидрогеологических и инженерно–геологических, а также нефтяных и газовых скважин, отличающихся большой глубиной и диаметром.

Подвижные вращатели. Несмотря на ограничение максимального числа оборотов (до 500-600 об/мин) и небольшую величину крутящего момента, не позволяющие бурить скважины большого диаметра, обладают рядом достоинств, а именно: возможность использования разнообразных способов бурения (от шнекового, пневмоударного до колонкового и шарошечного) и простота конструкции (отсутствие лебедки и механизмов свинчивания-развинчивания труб).

Особенности конструкции установок с подвижным вращателем не позволяют увеличить длину буровой свечи, извлекаемой из скважины при спуско-подъемных операциях. Это ограничивает глубину использования таких установок.

Таким образом, в соответствии с целью бурения приходится учитывать возможности вращателей буровых установок или станков.

Прочностные свойства пород также определяют способ разрушения породы и выбор способа бурения. В сочетании с целью бурения, прочностные свойства пород также влияют на выбор типа вращателя. Например: необходимо получить керн в крепких породах (11 – 12 категории по буримости). Следова-тельно, забой должен быть кольцевым, а способ бурения – высокооборотный алмазный. Или: необходимо создать скважину в твердых породах (9 – 10 категории по буримости) для водоснабжения предприятия. Следовательно, забой может быть сплошным, а способ бурения - низкооборотный шарошечный, большого диаметра (скорей всего, роторный).

Становится понятным, что в зависимости от ситуации, реализовать необходимый способ бурения могут шпинельный, роторный или подвижный вращатели.

Таким образом, учитывая существующие типы вращателей, а также размеры и вес установок, целесообразнее всего классифицировать их по двум принципам:

1. По типу вращателя: шпиндельные, роторные, с подвижным вращателем.

2. По транспортабельности: переносные, самоходные, передвижные, стационарные.

Переносные. Они разбираются на узлы малого веса, которые могут переноситься. Мощность привода обеспечивает глубину бурения до 100-150 м; масса установки – до150 кг.

Самоходные. Оборудование размещается на платформе, закрепляемой на раме серийно выпускаемых легковых и грузовых автомобилей, тракторов или гусеничных тягачей. Мощность привода таких установок позволяет бурить скважины вращательным способом на глубину до 800 м. Масса установки – до 15 т.

Передвижные. Оборудование монтируется в буровом здании, которое находится на полозьях. Транспортировка производится тракторами или гусеничными тягачами. Возможно использование подкатных тележек, устанавливаемых под переднюю и заднюю части здания. При этом оно поднимается гидравлическими или механическими домкратами. Глубина бурения колонковых скважин такими установками достигает 2000 м. Масса установки – до 25 т.

Стационарные. Буровые механизмы и сооружения монтируются на отдельных основаниях или фундаментах. Транспортировка каждого элемента или механизма производится отдельно автомобильным, внедорожным или иным видом транспорта. Глубина бурения может достигать 15 км. Масса оборудования установки – до 50 т.

Классификация буровых установок по транспорта-бельности хорошо увязывается с глубиной бурения, поскольку глубина определяет мощность привода буровых машин (станка или ротора, лебедки, бурового насоса и т. д.). Увеличение глубины бурения ведет к увеличению как массы исполнительных механизмов и их трансмисии, так и к появлению дополнительных механизмов и устройств, облегчающих работу с тяжелым оборудованием. Это также увеличивает общий вес и размеры установки. Указанные принципы

классификации бурового оборудования не являются всеобъемлющими, но позволяют достаточно свободно ориентироваться во всем многообразии различных типов установок и их возможностях.

Основные технические параметры станков и установок, предназначенных для бурения скважин колонковым способом, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Основные параметры буровых станков и установок колонкового бурения

Параметр	УКБ1 (12/25)	УКБ2 (200/300)	УКБ4 (300/500)	УКБ5 (500/800)	ЗИФ 600м	ЗИФ 1200МР
1. Глубина бурения, м:						
- твердосплавными коронками	12,5	200	300	500	650	1500
- алмазными коронками	25	300	700	800	800	2000
2. Мощность двигателя, кВт	2,9	13,0	22,0	30,0	30,0	55,0
3. Начальный диаметр бурения, мм	76,0	132,0	151,0	151,0	200,0	250,0
4. Конечный диаметр бурения, мм:						
- твердосплавными коронками	76	93	93	93	93	93
- алмазными коронками	36	46	46	59	59	59
5. Длина бурильной свечи, м	1,0	6,2	9,0	14,0	14,0	18,5
6. Частота вращения бурового снаряда, об/мин:						
- минимальная	100,0	100,0	155,0	120,0	87	75
- максимальная	1200	1500	1600	1500	800	600
7. Количество ступеней измерения чисел оборотов	6	6	8	8	6	8
8. Вес станка или установки, кг	110	6700	14000	16900	17000	20000

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение буровой установке. Какие основные механизмы и сооружения входят в ее состав?
2. Определите и обоснуйте факторы, влияющие на состав, тип станка или вращателя и размеры оборудования.
3. Почему целесообразнее всего классифицировать буровые установки по двум принципам? Какие это принципы?

2. Принципиальное устройство буровых станков и установок

В зависимости от назначения и возможностей буровой установки, механизмы, обеспечивающие выполнение технологических процессов при бурении, располагают раздельно друг от друга (буровая установка) или компактно, в виде единого блока. Во втором случае речь идет о буровом станке (рис. 2.1).

Буровой станок – это машина, предназначенная для обеспечения таких основных технологических параметров при бурении скважин, как:

- создание и передача крутящего момента и необходимого числа оборотов колонне бурильных труб;
- обеспечение и поддержание необходимой величины осевой нагрузки на забой при бурении.

Буровой станок состоит из следующих групп механизмов и систем:

- исполнительные механизмы,
- трансмиссия,
- привод или двигатель,
- механизм подачи бурильных труб,

- приборы контроля и органы управления.

Исполнительные механизмы. Их два: вращатель и лебедка.

Вращатель предназначен для передачи крутящего момента и числа оборотов от трансмиссии станка к ведущей бурильной трубе и в ряде случаев для задания направления оси скважины.

Лебедка предназначена для наматывания и сматывания талевого каната на барабан, при проведении спускоподъемных операций с колонной бурильных труб. В некоторых конструкциях станков и установок для производства спускоподъемных операций используются не лебедки, а экстракторы или кабестаны.

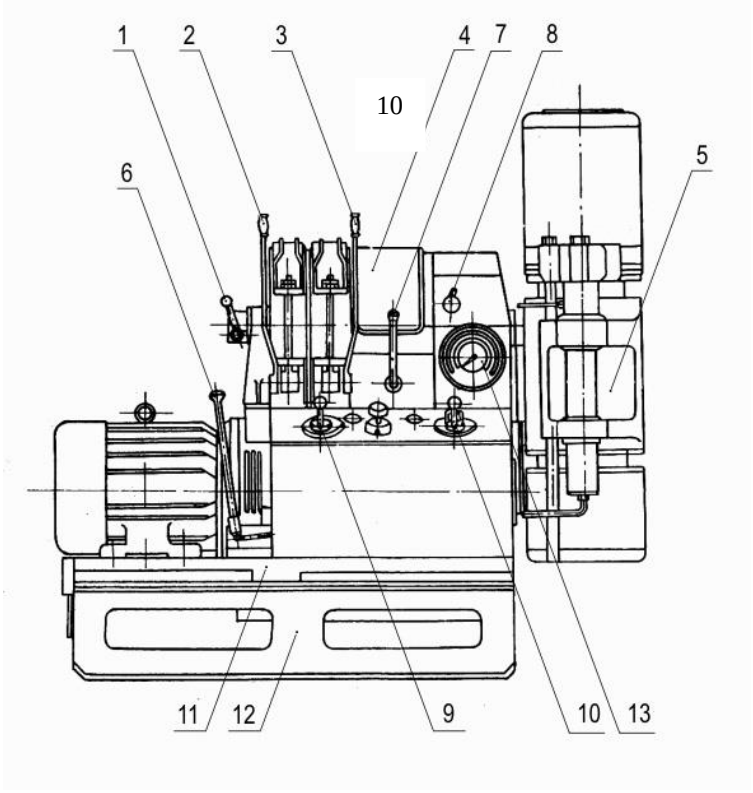


Рис. 2.1. Станок буровой СКБ-4:

1 – рукоятка включения лебедки; 2 – тормоз подъема; 3 – тормоз спуска; 4 – барабан лебедки; 5 – вращатель; 6 – рычаг включения сцепления; 7 – рычаг переключения коробки передач; 8 – рукоятка управления раздаточной коробкой; 9 – четырехпозиционный распределитель; 10 – пятипозиционный прибор управления; 11 – станина; 12 – рама; 13 - стрелочный указатель давления на забой

Трансмиссия бурового станка. Это совокупность механизмов, предназначенных для изменения чисел оборотов и величины крутящего момента, а также передачи их от двигателя станка к исполнительным механизмам.

В состав трансмиссии бурового станка, как правило, входят:

- муфта сцепления трансмиссии с двигателем,
- коробка перемены передач,
- раздаточная коробка.

Привод или двигатель – это машина, преобразующая один вид энергии в другой. В случае с буровым станком двигатель обеспечивает получение определенного числа оборотов и необходимой величины крутящего момента. Совокупность этих параметров определяет мощность двигателя.

В случае со станком исполнительные механизмы, трансмиссия и двигатель монтируются на раме станка. В случае с установкой эти механизмы монтируются раздельно: или на общей платформе, или отдельных фундаментах. Кинематическая связь между ними обеспечивается за счет карданных, цепных или клиноременных передач.

Кроме того, на самих механизмах, раме или платформе монтируются детали и механизмы систем, обеспечивающих как вспомогательные, так и основные технологические процессы при бурении.

Механизм подачи бурильных труб. Он обеспечивает поддержание необходимой величины осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, а также регулировку скорости подачи бурового инструмента.

У станка это, как правило, гидравлическая система, а у буровых установок - либо канатная, либо комбинированная (канатно-цепная, канатно- гидравлическая и т. п.).

Приборы контроля и органы управления. Для обеспечения эффективного управления процесса проведения основных и вспомогательных технологических операций при бурении станок или установка оборудуется различными приборами и органами управления. Приборы позволяют контролировать осевую нагрузку на забой, давление в гидравлической системе станка и т. д. В ряде случаев на буровой установке устанавливают комплекс контрольно-измерительной аппаратуры. Он может осуществлять контроль практически всех основных технологических параметров бурения: механическую скорость, количество подаваемой в скважину промывочной жидкости, вес бурового снаряда при проведении спускоподъемных операций и т. д.

Органы управления позволяют управлять исполнительными и вспомогательными механизмами и системами станка или установки. К ним относятся рычаги, рукоятки, маховики, переключатели кнопок и т. д.

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите назначение бурового станка. Перечислите его основные исполнительные механизмы и их назначение.
2. Какие узлы входят в состав трансмиссии буровых станков? Каково их назначение?
3. Какие машины и системы присутствуют в конструкции станка, кроме исполнительных механизмов?
4. Каково назначение приборов и органов управления бурового станка или установки?

3. Принципиальные схемы компоновки и модификации буровых станков и установок

Компоновка – способ взаимного расположения основных рабочих и вспомогательных механизмов, а также вид их кинематической и конструктивной связи между собой.

Буровые станки и установки компонуются по двум основным схемам – моноблочной и разобщенной.

Моноблочная компоновка используется при проектировании станков, имеющих шпиндельный вращатель. Такие станки называют шпиндельными. В этой схеме основные узлы расположены в непосредственной близости и связаны между собой не только кинематически, но и конструктивно. Небольшие межцентровые расстояния в моноблочной схеме позволяют использовать компактные зубчатые передачи.

Моноблочная компоновка может иметь различные варианты. Например, в станке СКБ-3 (СКБ 200/300) основные узлы и механизмы смонтированы следующим образом: вращатель, лебедка и коробка передач располагаются в одну линию (рис. 3.1). Такое решение упрощает конструкцию станка: исключаются лишние передачи и улучшаются условия работы деталей механизмов. Кроме того, такая компоновка позволяет разместить основные узлы на верхних балках рамы станка. При этом обеспечивается хороший доступ ко всем узлам и местам их соединений для осмотра, регулировки и ремонта. Появляется возможность ремонтировать станок, меняя узлы целиком (так называемый поузловой ремонт).

У станков СКБ-4, СКБ-5, ЗИФ650М и ЗИФ1200МР коробка перемены передач находится под лебедкой (рис. 3.2 и 3.3). Вращение к исполнительным механизмам - вращателю и лебедке передается от коробки передач через редуктор, называемый раздаточной коробкой.

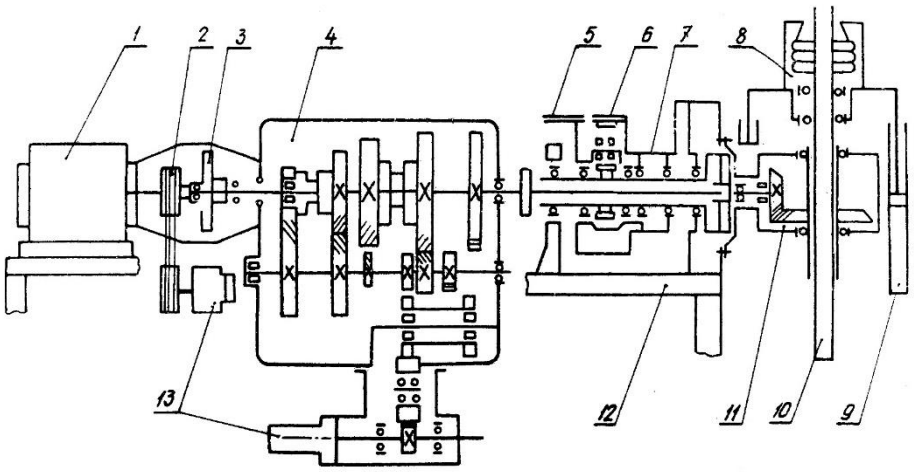


Рис. 3.1. Кинематическая схема станка СКБ-3:

1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – фрикционная муфта; 4 – коробка передач; 5 – тормоз спуска; 6 – тормоз подъема; 7 – лебедка; 8 – зажимной патрон; 9 – гидроцилиндры; 10 – шпиндель; 11 – вращатель; 12 – балки основания станка; 13 – маслонасосы

Такая схема монтажа основных узлов, при высокой компактности, имеет ряд недостатков: затруднен доступ к отдельным деталям для осмотра, регулировок и ремонтов, затруднен поузловой ремонт.

По мере увеличения мощности и веса оборудования компактность буровых станков из достоинства становится недостатком. Из-за возросших размеров деталей и механизмов ухудшается доступ к ним для осмотра и ремонта, а также усложняется доставка к месту бурения, в связи с необходимостью их разборки перед транспортировкой и последующей сборкой на новом месте.

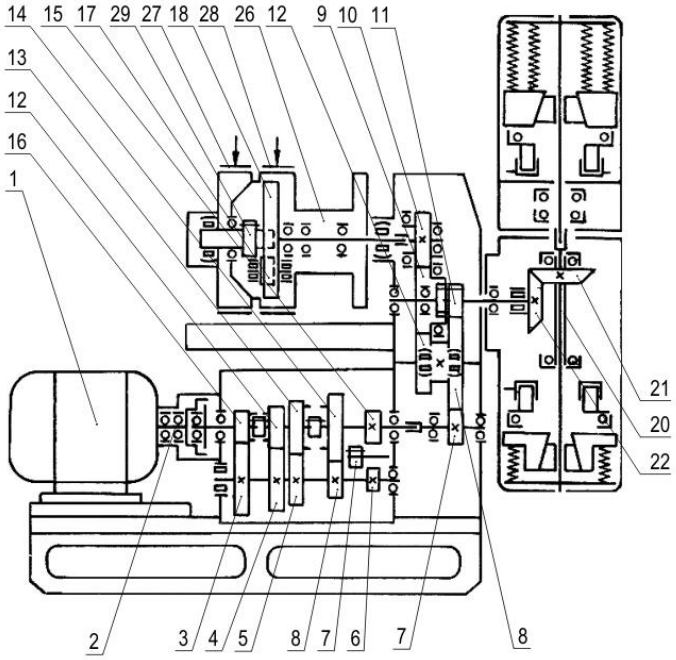


Рис. 3.2. Кинематическая схема станка СКБ-4:

1 – электродвигатель; 2 – муфта сцепления; 3, 4, 5, 8 – шестерни промежуточного вала коробки передач; 6, 7 – шестерни обратного вращения; 10, 11, 19, 23, 24, 25 – шестерни раздаточной коробки; 12, 13, 14, 15 – шестерни вторичного вала коробки передач; 16 – шестерня первичного вала; 17, 18, 29 – шестерни лебедки; 20 – приводная муфта; 21, 22 – шестерни конического редуктора; 26 – лебедка; 27, 28 – тормоза спуска и подъема

Поэтому при разработке крупногабаритных или самоходных установок используют **разобщенную компоновку**. Для нее характерно наличие в большинстве случаев только кинематической связи между узлами или блоками, а также широкое применение цепных и карданных передач, обеспечивающих значительные межцентровые расстояния между механизмами.

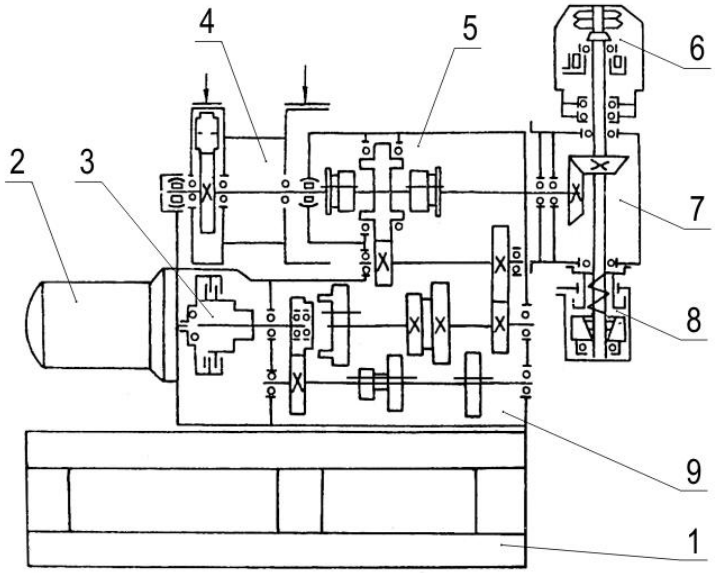


Рис. 3.3. Кинематическая схема станка СКБ-5:
1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – муфта сцепления; 4 – лебедка; 5 – раздаточная коробка; 6, 8 – патроны; 7 – вращатель; 9 – коробка передач

В этом случае установка состоит из отдельных блоков: лебедки, ротора, регулятора подачи, буровой насосной установки, гидросистемы, электрического и гидравлического пультов управления (рис. 3.5).

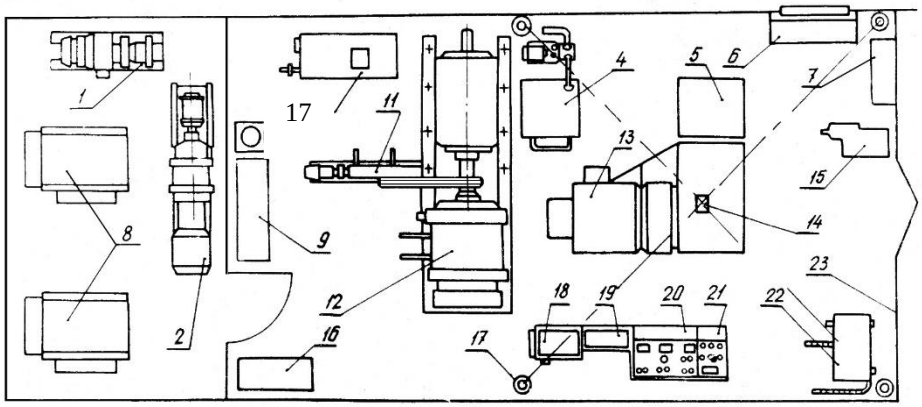


Рис. 3.5. Пример расположения узлов установки с разобщенной компоновкой:
1 – электромашинный усилитель; 2 – главный привод (электродвигатель и генератор); 3 – электростанция; 4 – система охлаждения лебедки; 5 – подсвечник; 6 – верстак; 7 – стеллаж для инструмента; 8 – буровые насосы; 9 – шкаф управления переменного тока; 10 – реостат; 11 – регулятор подачи; 12 – лебедка; 13 – ротор; 14 – устье скважины; 15 – датчик давления; 16 – шкаф управления постоянного тока; 17 – опора вышки; 18 – шкаф тиристорный; 19 – КИП «Курс 613»; 20, 21 – пульты управления; 22 – маслостанция; 23 – буровое здание

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей бурения в разнообразных специфических условиях могут использоваться унифицированные буровые комплексы.

Их особенность заключается в возможности переоборудования базовой модели (например, станок СКБ-3) в одну из возможных модификаций, которая лучше всего

удовлетворяет требованиям технологии бурения в конкретных геолого-технических условиях. Основой такого комплекса являются наиболее трудоемкая в изготовлении группа узлов привода и трансмиссии, наличие которой обязательно во всех модификациях.

Сменными являются такие узлы, как:

- коробка передач,
- вращатели с различными диапазонами частот вращения и крутящими моментами, проходным отверстием под бурильные или обсадные трубы разного диаметра,
- средства спуска-подъема, в качестве которых возможно применение лебедок или экстракторов,
- механизмы подачи, отличающиеся величиной хода или развиваемого усилия.

3.1. Описание возможных модификаций

В качестве примера рассматривается унифицированный комплекс, предназначенный для бурения скважин различного назначения на глубину до 300 м.

3.1.1. Базовая модель УКБ 200/300

Она предназначена для колонкового бурения. При этом глубина бурения алмазными коронками достигает 300 м, а твердосплавными - 200 м в обычных геологотехнических условиях. Привод станка может осуществляться от электродвигателя мощностью 13 кВт или от дизеля мощностью 40 л. с. (29,3 кВт).

Установка должна иметь следующие механизмы и узлы:

- буровой станок, состоящий из основания, рамы, коробки передач, лебедки, вращателя с гидравлическим зажимным патроном и гидравлическим механизмом подачи бурильных труб;
- электродвигатель или двигатель внутреннего сгорания для привода бурового станка;
- буровой насос типа НБЗ-120/40;
- мачта типа МР-6.

Установка может выпускаться также в самоходном варианте на шасси грузового автомобиля (например, ЗИЛ-131). Транспортной базой также может служить трактор (например, ТТ-4).

Вращатель шпиндельного типа может быть оснащен гидравлическими или механическими зажимными патронами.

Шпиндель вращателя должен иметь проходное отверстие диаметром 54 мм. Освобождение устья скважины осуществляется отодвиганием бурового станка в сторону с помощью гидросистемы. Давление масла в ней обычно регулируется переливным золотником, установленным в нагнетательной линии. Скорость подачи изменяется дросселем, расположенным на линии слива из нижних полостей гидроцилиндров подачи.

3.1.2. Модификация для труднодоступных условий

Основные отличия этой модификации от базовой модели:

- станок должен разбираться на узлы малого веса (до 500 Н);
- зажимные патроны механические, поскольку они являются более легкими, чем гидравлические, и не требуют для своей работы гидроаппаратуры;
- привод - электродвигатель или карбюраторный двигатель, как более легкий по сравнению с дизелем;
- способ вскрытия устья скважины - отведение вращателя в сторону, в силу отсутствия рамы с гидроцилиндром перемещения;
- отсутствует труборазворот.

3.1.3. Модификация для ударно-вращательного бурения

Основной особенностью этой модификации является наличие низких скоростей вращения шпинделя 15-50 об/мин. В соответствии с этим целесообразнее использовать электродвигатель, который путем переключения может развивать мощность либо 6 кВт, при частоте вращения вала 500 об/мин., либо мощность, равную 7,5 кВт, при частоте вращения 920 об/мин. При этом можно получить два ряда частот вращения шпинделя: 1-й ряд - 25; 45; 80; 120; 185 об/мин; 2-й ряд - 50; 90; 160; 250; 370 об/мин.

3.1.4. Модификация для бурения из подземных горных выработок

Особенностью этой модификации является отсутствие лебедки.

Производство спуско-подъемных операций выполняется с помощью съемных экстракторов. При этом коробка передач, лебедка и вращатель располагаются в одну линию.

Для улучшения транспортировки и монтажа на рабочем месте установка является разборной на узлы малого веса.

Освобождение устья скважины производится отведением в сторону вращателя. Основание с гидроцилиндром перемещения станка исключено. Зажимные патроны механические. Для крепления станка в горной выработке применяются специальные распорные колонки, на которых он монтируется.

Поскольку при бурении горизонтальных скважин затрачивается больше мощности на холостое вращение труб, чем при бурении вертикальных, то установки этой модификации используют двигатели большей мощности - 22 кВт при частоте вращения вала 2910 об/мин.

3.1.5. Модификация для бурения со съемными керноприемными снарядами

У вращателя станка этой модификации увеличен диаметр проходного отверстия до 93 мм. При этом используются механические зажимные патроны, поскольку изготовление гидравлических патронов для труб диаметром 76 и 93 мм связано с усложнением конструкции и утяжелением станка.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется компоновкой бурового станка? Назовите основные схемы компоновок буровых станков.
2. Назовите варианты компоновки основных узлов буровых станков шпиндельного типа, их достоинства и недостатки.
3. Дайте описание модификаций буровых станков, предназначенных для бурения на глубину до 300 м.

4. Буровая установка УКБ-4

4.1. Назначение и параметрыбуровой установки

Передвижная буровая установка УКБ-4П (рис. 4.1) и самоходная - УКБ-4С предназначены для вращательного бурения геологоразведочных скважин глубиной до 300 и 500 м при конечном диаметре соответственно 93 и 59 мм и углах наклона от 90 до 60° в различных геологических условиях.

Технические характеристики буровой установки УКБ-4П приведены в табл. 1.1.

Установка состоит из бурового станка СКБ-4, бурового насоса НБЗ-120/40, транспортной базы ТБ-15, труборазворота РТ-1200М, устройства для смазки колонны УСК, обогреваемого подсвечника ПО – 4/5 , сальника для алмазного бурения СА, элеватора МЗ-50-80 и вертлюга-амортизатора грузоподъемностью 5 т. Кроме того, в состав установки входит буровое здание и мачта типа БМТ-4, допускающая работу свечами длиной 9,5 м.

Грузоподъемность на крюке мачты: номинальная 3,2 т, а максимальная – 8 т. Предельные углы наклона мачты 90-60°, а ее рабочая высота 13,7 м. Ствол мачты состоит из металлической трубы с двумя подкосами. Продольный телескопический подкос позволяет регулировать наклон мачты при бурении. Подъем мачты в рабочее положение и опускание ее при транспортировке производится с помощью двух гидравлических домкратов, работающих от автономной гидросистемы буровой установки.

4.2. Устройство станка СКБ-4

4.2.1. Исполнительные механизмы

Для обеспечения таких технологических процессов при сооружении скважин, как вращение колонны бурильных труб и осуществление спуска или подъема колонны в скважине, станок СКБ-4 имеет два исполнительных механизма – вращатель и лебедку.

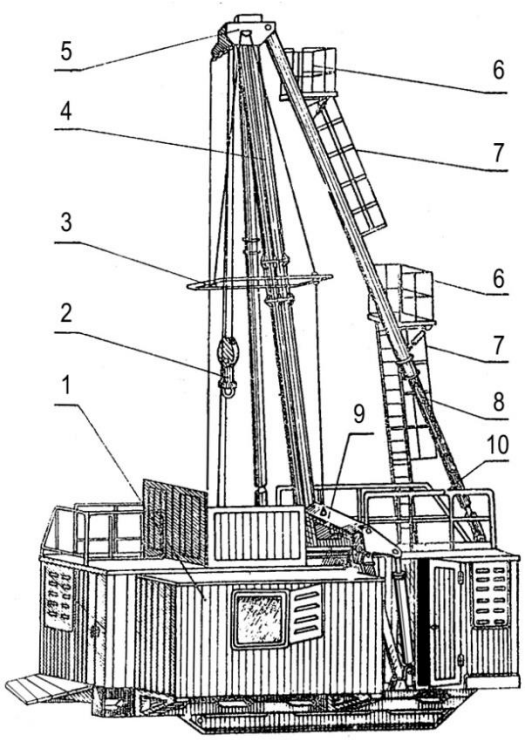


Рис. 4.1. Установка УКБ-4П:
1 – буровое здание; 2 – элеватор; 3 – свечеприемник; 4 – ствол; 5 – кронблок; 6, 10 – площадки; 7 – лестницы; 8 – подкос; 9 – портал

4.2.1.1. Вращатель

Внешний вид вращателя представлен на рис. 4.2, разрез – на рис. 4.3.

Назначение вращателя – передать крутящий момент и частоту вращения от трансмиссии станка к ведущей бурильной трубе. Кроме того, конический редуктор вращателя позволяет поворачивать ось вращения шпинделя (и, соответственно, ведущей бурильной трубы) в вертикальной плоскости. А это позволяет фиксировать вращатель на корпусе станка под различными углами к горизонту и бурить наклонные скважины.

Основой вращателя является конический редуктор, состоящий из вала-шестерни 1 (рис. 4.3) и находящейся с ней в зацеплении конической шестерни 2. Они вращаются в подшипниках 3, 4 и 5, установленных в корпусе 6. Шестерня 2 передает крутящий момент приводной муфте 7. Она вращается в подшипниках 8, и через шестерню 2 – в подшипнике 5, которые установлены в корпусе вращателя.

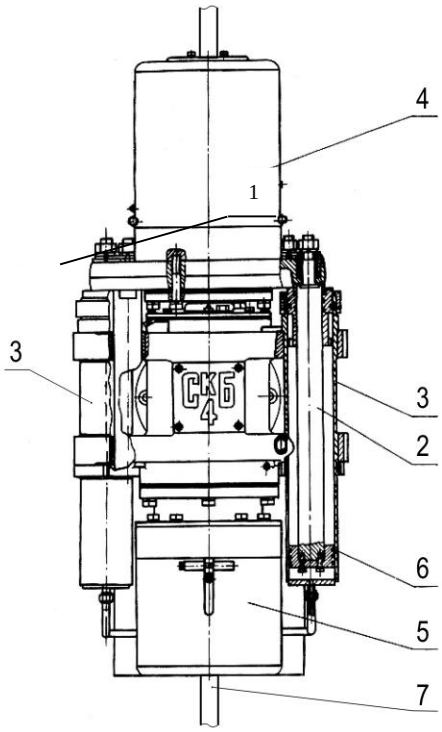


Рис. 4.2. Вращатель. Внешний вид:
1 – траверса; 2 – шток; 3 – гидроцилиндры; 4 – верхний зажимной гидропатрон; 5 – нижний зажимной гидропатрон; 6 – поршень; 7 - ведущая бурильная труба

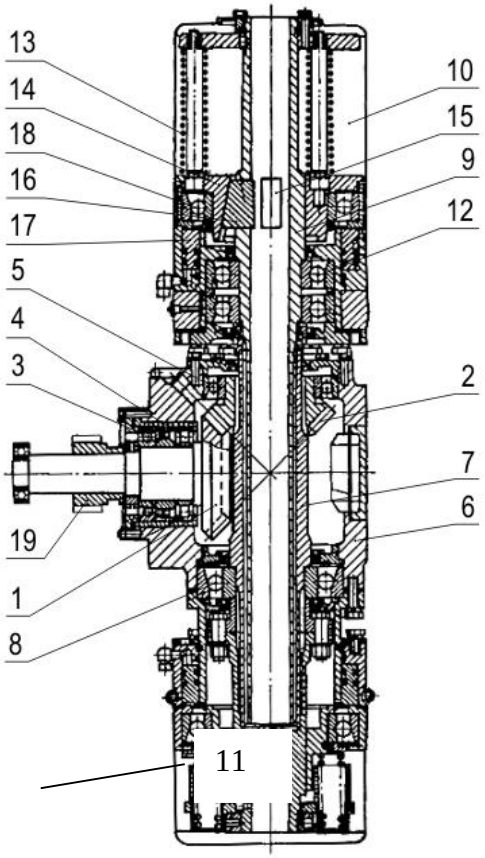


Рис. 4.3. Вращатель. Разрез:
1 – вал-шестерня; 2 – коническая шестерня; 3, 4, 5, 8, 12 - подшипники; 6 – корпус вращателя; 7 – приводная муфта; 9 – шпиндель; 10 – верхний зажимной патрон; 13 – пружина; 14 – коническая обойма; 15 – окно; 16 – кулачок: 17 – кольцевой поршень; 18 – упорный подшипник; 19 – подвижная шестерня

Внутренняя поверхность муфты 7 также изготовлена в виде продольных пазов, называемых шлицами. В эти шлицы вставлена еще одна цилиндрическая деталь, называемая шпинделем 9.

Шпиндель имеет шлицевую наружную поверхность. По шлицам он может перемещаться в муфте 7 относительно корпуса вращателя в осевом направлении и одновременно вращаться. Таким образом, крутящий момент от трансмиссии станка передается шпинделю через конический редуктор и шлицевую муфту.

В свою очередь, от шпинделя крутящий момент передается ведущей бурильной трубе, при помощи зажимного гидравлического патрона 10, сконструированного на верхней части шпинделя. Перемещение шпинделя и зажимного патрона в осевом направлении обеспечивается при помощи массивной стальной балки 1 (см. рис. 4.2), которая называется траверсой. Траверса связана с гидросистемой станка двумя штоками 2, находящимися в гидроцилиндрах 3, закрепленных на корпусе вращателя.

Верхний конец шпинделя вращается в подшипниках 12 (см. рис. 4.3), установленных в траверсе.

Компоновка станка СКБ-4 позволяет смонтировать гидравлический механизм подачи бурильных труб на корпусе вращателя. Верхний зажимной патрон, обеспечивающий механическую связь шпинделя с ведущей бурильной трубой, устроен следующим образом.

Пружины 13 (см. рис. 4.3) гидропатрона давят на коническую обойму 14, и она, перемещаясь, выдавливает в окна 15 шпинделя три кулачка 16, которые и зажимают ведущую бурильную трубу, находящуюся в шпинделе.

При раскреплении гидроцилиндра кольцевой поршень17 за счет давления масла в гидросистеме давит на обойму 14 через упорный подшипник 18 и, преодолевая давление пружин 13, освобождает кулачки 16.

Таким образом, при отсутствии давления масла в механизме подачи ведущая бурильная труба постоянно зажата в верхнем гидропатроне. Такой патрон называется постоянно замкнутым, в отличие от нижнего 11 (см. рис. 4.3), который постоянно разомкнут.

Нижний патрон закреплен не на подвижной траверсе, а на корпусе станка. Его назначение – обеспечивать вращение колонны бурильных труб во время перемещения траверсы со шпинделем из крайнего нижнего положения в крайнее верхнее. Эта процедура называется обратным перехватом.

4.2.1.2. Лебедка

Назначение лебедки – обеспечить наматывание и сматывание каната талевой системы буровой установки при проведении спуско-подъемных операций с бурильными обсадными трубами.

Она должна соответствовать ряду требований:

- обеспечить необходимый крутящий момент, достаточный для подъема колонны бурильных и обсадных труб из скважины;
- обеспечить достаточное число оборотов барабана, чтобы скорость подъема или спуска была оптимальна;
- иметь возможность реверса, т. е. возможность изменения направления вращения барабана, при переходе от спуска к подъему и обратно;
- иметь удобное управление.

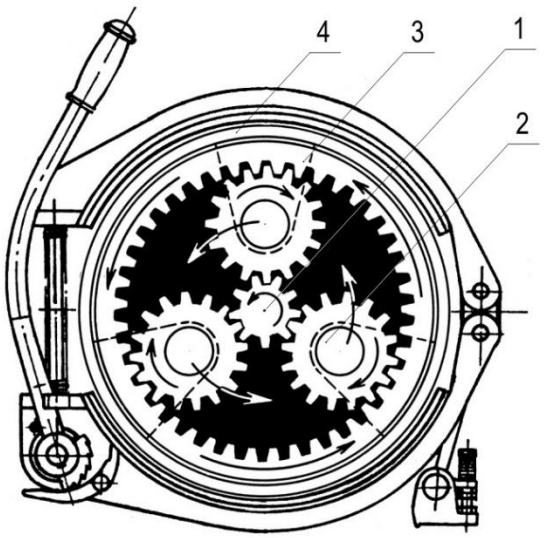


Рис. 4.4. Схема планетарного механизма лебедки:
1 – солнечная шестерня; 2 – сателлит; 3 – зубчатый венец; 4 – шкив водила (шкив тормоза подъема)

Этим условиям удовлетворяет лебедка станка СКБ-4, имеющая отдельный редуктор, обладающий достаточной компактностью и большим передаточным числом. Это редуктор планетарного типа.

Схема работы редуктора лебедки приведена на рис. 4.4, а устройство – на рис. 4.5.

Крутящий момент от трансмиссии станка передается через вал лебедки «солнечной» шестерне 1. Та, в свою очередь, передает его трем шестерням, называемым сателлитами 2, а сателлиты – зубчатому венцу 3. Вокруг зубчатого венца установлен тормозной шкив 4 (рис. 4.5), связанный с барабаном 5. Барабан вращается на валу 6 в двух подшипниках 7.

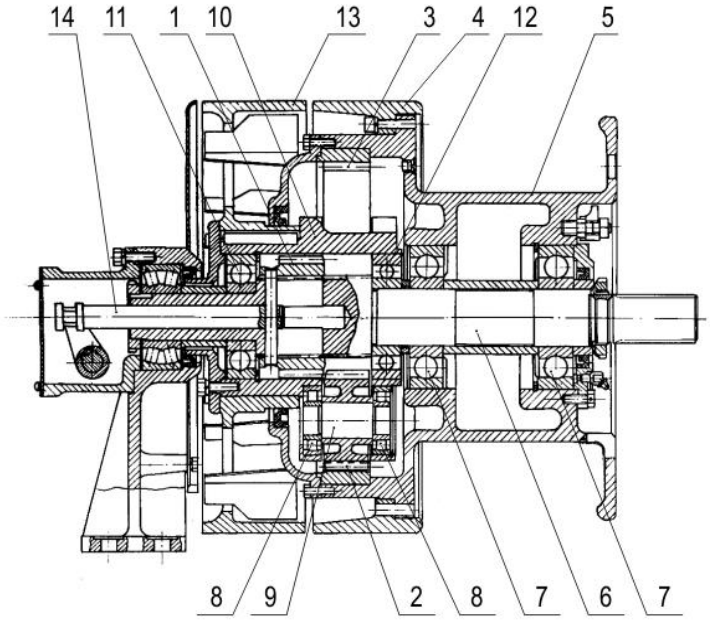


Рис. 4.5. Лебедка:
1 – солнечная шестерня; 2 – сателлит; 3 – зубчатый венец; 4 – шкив тормоза спуска; 5 – барабан; 6 – вал барабана; 7 – подшипник барабана; 8 – подшипник сателлита; 9 - ось сателлита; 10 – водило; 11, 12 – подшипники водила; 13 – шкив тормоза подъема; 14 – шток включения лебедки

Сателлиты вращаются в подшипниках 8 на осях 9. Оси установлены в детали, называемой водило 10. Водило, в свою очередь, вращается вокруг оси барабана на двух подшипниках 11 и 12. Оно соединено с тормозным шкивом 13, называемым шкивом тормоза подъема..

При торможении шкива водила колодочным тормозом оси сателлитов становятся неподвижными и крутящий момент

от солнечного колеса передается 29 атому венцу и связанному с ним, барабану лебедки.

Барабан, вращаясь, наматывает канат. В момент, когда необходимо прекратить подъем, тормозной шкив водила растормаживают, разжимая колодки, и барабан, за счет веса колонны бурильных труб, канатом начинает разматываться. Для того чтобы этот процесс проходил под контролем, тормозят шкив 4 тормоза спуска.

Таким образом, управление лебедкой происходит при помощи двух колодочных тормозов (рис. 4.6) – тормоза спуска и тормоза подъема.

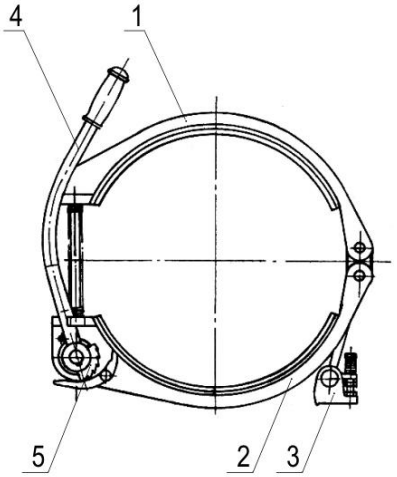


Рис. 4.6. Тормоз лебедки:
1, 2 – тормозные колодки; 3 – опора тормоза; 4 – рукоятка управления; 5 – храповой механизм фиксации тормоза

Они имеют по две колодки 1 и 2, охватывающие тормозные шкивы лебедки. Колодки закреплены на станке при помощи опоры 3, сжимаются и разжимаются рукояткой 4, тормозя шкивы (поз. 2 и 3 на рис. 2.1). Для отключения лебедки от трансмиссии станка, во время бурения, солнечная шестерня может перемещаться по валу 6 (рис. 4.5) в осевом направлении при помощи штока 14. При этом она выходит из зацепления с сателлитами и планетарный редуктор оказывается отключенным от вала 6, связанного с трансмиссией станка. Перемещение штока 14 производится рукояткой, находящейся слева от тормозных шкивов лебедки (поз. 1 рис. 2.1.).

4.2.2. Трансмиссия станка

Предназначена для передачи крутящего момента и частоты вращения от вала двигателя к исполнительным механизмам. В ее состав входят три узла: ***муфта сцепления, коробка перемены передач и раздаточная коробка.***

4.2.2.1. Муфта сцепления

Она предназначена для соединения вала электродвигателя и первичного вала коробки передач, а также для кратковременного их разъединения, с целью переключения зацепления шестерен в коробке передач. В буровом станке СКБ-4 используется муфта сцепления, заимствованная от автомобиля ЗИЛ 130.

Принципиальное устройство муфты сцепления приведено на рис. 4.7.

На валу электродвигателя 1 установлен ведущий диск 2, имеющий кольцевую поверхность, к которой прижимается ведомый диск 3. Прижимается он за счет усилия пружин 4, которые находятся в корпусе нажимного диска 5, закрепленном на ведущем диске. Пружины давят на нажимной диск 6 и зажимают ведомый диск между ведущим и нажимным. Крутящий момент от ведущего диска ведомому передается через фрикционные кольцевые накладки 7, которые с двух сторон приклепываются к ведомому диску.

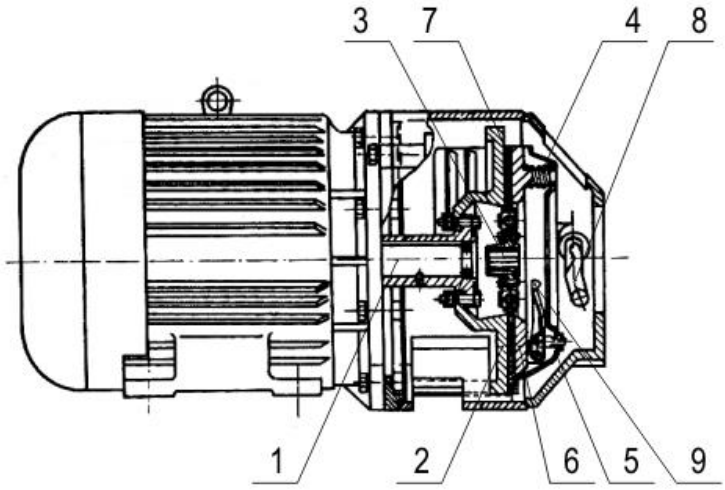


Рис. 4.7. Сцепление станка СКБ-4:
1 – вал электродвигателя; 2 – ведущий диск; 3 - ведомый диск; 4 – пружины нажимные; 5 – корпус нажимного диска; 6 – нажимной диск; 7 – фрикционные накладки; 8 - вилка; 9 – лепестки нажимного диска

В центральной части ведомого диска находится шлицевая ступица, в которую вставляется первичный вал коробки передач (поз. 1. рис. 4.8). На нем находится выжимной подшипник 2, который может перемещаться по валу в осевом направлении вилкой 8 (см. рис. 4.7). Вилка связана с рычагом 6 (см. рис. 2.1), находящимся снаружи корпуса муфты сцепления. С его помощью происходит включение и выключение муфты.

Выжимной подшипник при помощи рычага включения сцепления 6 (см. рис. 2.1) и вилки 8 (см. рис. 4.7) передает давление на лепестки нажимного диска 9. Они сжимают пружины 4 и, таким образом, раздвигают сжатые ведомый и нажимной диски, освобождая зажатый между ними ведомый 3 диск. Валы электродвигателя и коробки передач оказываются разъединенными.

Для включения муфты необходимо переместить рычаг включения обратно, и пружины снова зажмут ведом[32]иск между ведущим и нажимным. Рукоятка управления муфтой сцепления фиксир[32]я снаружи корпуса сцепления в двух положениях: «включено» и «выключено».

4.2.2.2. Коробка перемены передач

Она предназначена для ступенчатого изменения величины крутящего момента и чисел оборотов, передаваемых от электродвигателя к раздаточной коробке. Кинематическая схема коробки передач приведена на рис. 3.2.

Коробка передач заимствована от автомобиля ЗИЛ 130 и имеет пять прямых и одну обратную передачу. Она представляет собой редуктор (см. рис. 4.8), в котором изменение чисел оборотов и крутящего момента происходит за счет перемещения двух зубчатых муфт с синхронизаторами 3 и 4. Они могут входить в зацепление с шестернями 5, 6, 7, 8,

имеющими различное количество зубьев и диаметр. При этом изменяется суммарное передаточное число шестерен, находящихся в зацеплении. Перемещают зубчатые муфты по валам коробки стальные вилки 9, 10, 11, которые в свою очередь перемещаются рычагом переключения передач 12 (см. рис. 2.1, поз 7).

4.2.2.3. Раздаточная коробка

Раздаточная коробка предназначена для удваивания количества передач, передаваемых от коробки передач, а также для передачи крутящего момента на лебедку и вращатель. Она (см. рис. 4.8) представляет собой вертикальный редуктор, нижняя часть которого соединена с коробкой передач, а верхняя с вращателем и лебедкой.

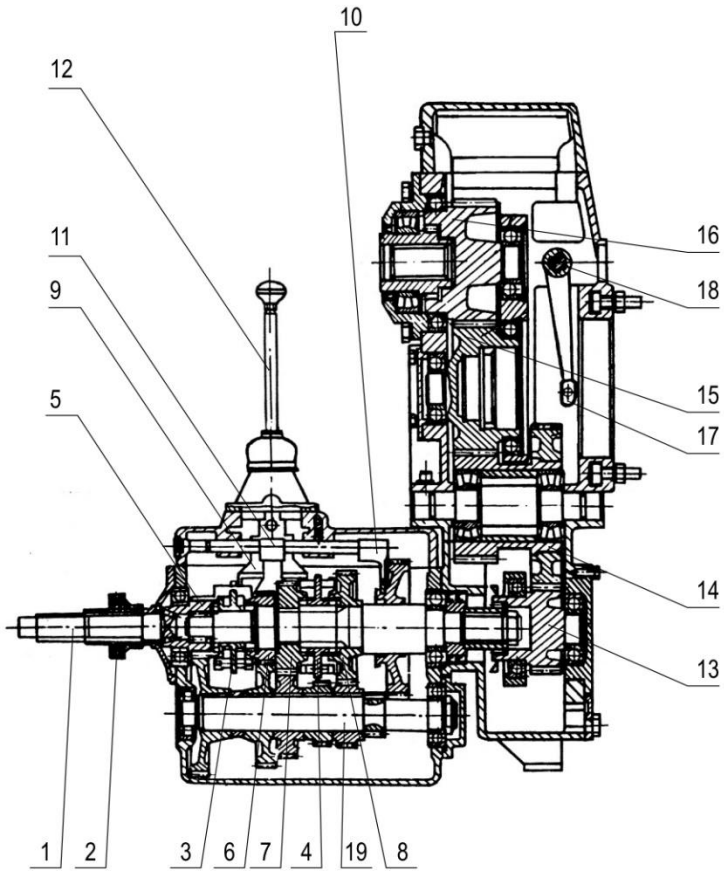


Рис. 4.8. Трансмиссия станка СКБ-4:

1 – первичный вал коробки передач; 2 – выжимной подшипник; 3, 4 – синхронизаторные муфты; 5, 6, 7, 8 – шестерни первичного вала; 9, 10, 11 – вилки переключения передач; 12 – рычаг переключения передач; 13 – шестерня раздаточной коробки; 14 – блок шестерен; 15 – шестерня привода вращателя; 16 – шестерня привода лебедки; 17 – вилка включения вращателя; 18 – ось вилки; 19 – вторичный вал коробки передач с шестернями

Крутящий момент от коробки передач при помощи шестерни 13 и блока шестерен 14 передается шестерням 15 и 16. Шестерня 16 имеет центральное шлицевое отверстие, в которое устанавливается шлицевой вал лебедки (поз. 6 рис. 4.5). Таким образом, он постоянно вращается при работе станка.

Шестерня 15 имеет ступенчатое осевое отверстие. При этом одна из ступеней выполнена в виде зубчатого венца. В этом отверстии размещается подвижная шестерня вращателя (см. поз. 19 на рис. 4.3.). Она имеет возможность двигаться по шлицам вала-шестерни в осевом направлении. Перемещение шестерни 19 обеспечивается вилкой (см. поз. 17 на рис. 4.8), сухари которой входят в кольцевую проточку, сделанную на наружной

поверхности шестерни. Вилка же перемещается относительно оси 18 рукояткой управления раздаточной коробкой (см. поз. 8 на рис. 2.1).

Таким образом, перемещая вилкой шестерню 19 (см. рис. 4.3), ее можно ввести в зацепление: с шестерней 15 (см. рис. 4.8), одной из шестерен блока 14 или вывести из зацепления вообще (нейтральное положение). В первом случае можно получить один ряд чисел оборотов на шпинделе, во втором случае – второй, а в третьем – отключить вращатель от трансмиссии.

4.3. Системы станка

Для выполнения ряда технологических операций в процессе бурения и с целью механизации производственных процессов станки могут оснащаться различными системами, выполняющими эти операции и процессы.

В буровом станке СКБ-4 такой системой является гидравлическая система.

4.3.1. Гидравлическая система

Гидросистема станка обеспечивает работу механизма подачи бурового инструмента в скважину при бурении. Кроме того, с ее помощью станок перемещается от скважины к скважине для освобождения устья при производстве спуско-подъемных операций.

При работе механизма подачи гидросистема обеспечивает выполнение следующих операций:

- закрепление и раскрепление ведущей бурильной трубы в верхнем и нижнем гидропатронах;
- перемещение траверсы со шпинделем в осевом направлении и остановку ее в любом положении;
- осевую нагрузку на траверсу с контролем давления;
- автоматическое и полуавтоматическое перекрепление бурового снаряда гидропатронами с перемещением ведущей бурильной трубы (обратный перехват);
- аварийный подъем бурового снаряда на длину штоков цилиндров при остановке приводного двигателя станка.

Принцип работы гидросистемы станка заключается в следующем:

Масло по трубопроводам, под давлением, подается в гидроцилиндры и заставляет перемещаться поршни, находящиеся в них. Поршни перемещают штоки, связанные с ними, а те, в свою очередь, детали механизмов.

Гидросистема станка СКБ 4 (рис. 4.9) состоит из следующих основных элементов:

- маслобак;
- трубопроводы;
- маслонасос с приводом от электродвигателя;
- ручной маслонасос;
- распределитель;
- прибор управления с дросселем;
- предохранительные клапаны;
- золотники;
- цилиндры;
- поршни;
- штоки.

Гидросистема станка управляет исполнительными механизмами при помощи ***двух систем управления***:

- ***четырехпозиционный распределитель*** (см. поз. 9 рис. 2.1 и поз. 1 на рис. 4.9) направляет масло к гидропатронам 2 и 3, закрепляя и раскрепляя их, а также в гидроцилиндры 4 механизма подачи при быстром подъеме (перехвате);

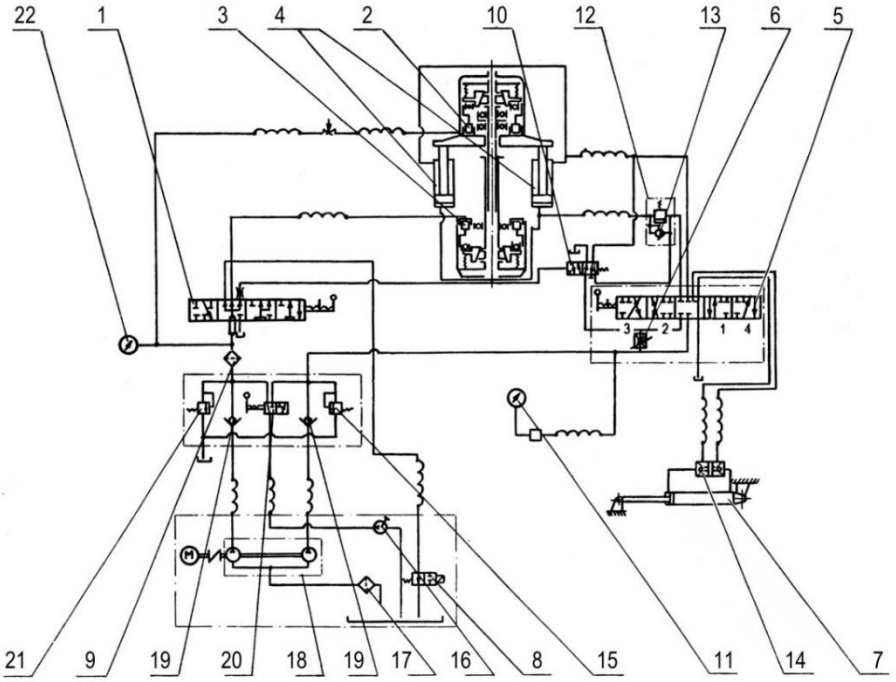


Рис. 4.9. Гидросистема станка СКБ-4:

1 – четырехпозиционный распределитель; 2 – верхний гидропатрон; 3 – нижний гидропатрон; 4 – цилиндры подачи; 5 – пятипозиционный прибор управления; 6 – дроссель; 7 – цилиндр перемещения станка; 8 – электрозолотник; 9 – фильтр пластинчатый; 10 – золотник быстрого подъема; 11 – указатель давления; 12 – регулятор подачи бурового снаряда; 13 – обратный клапан регулятора подачи; 14 – гидрозамок; 15 – клапан предохранительный; 16 – насос ручной; 17 – фильтр; 18 – насос пластинчатый; 19 – клапан обратный; 20 – переключатель работы ручного насоса; 21 – клапан предохранительный; 22 - манометр

- ***пятипозиционный прибор управления*** (см. поз.10, рис 2.1 и поз. 5, на рис. 4.9) с дросселем 6 направляет масло в гидроцилиндры механизма подачи для создания осевой нагрузки, а также в гидроцилиндр перемещения станка от скважины к скважине. Дроссель – устройство, регулирующее величину потока и давление масла в трубопроводе, а следовательно, давление в гидроцилиндрах.

Основные операции, осуществляющиеся при помощи гидросистемы, производятся следующим образом.

Закрепление верхнего гидропатрона 2 (см. рис. 4.9) производится при установке распределителя 1 в положение «закрепить» (положение распределителя, как на рис. 4.9) Поток масла через электрозолотник 8 направляется на слив в маслобак. Давление в гидравлических полостях зажимных патронов 2 и 3 отсутствует. В верхнем гидропатроне ведущая бурильная труба зажимается по действием усилия винтовых пружин. В это время нижний гидропатрон под действием таких пружин находится в раскрепленном состоянии.

Раскрепление верхнего гидропатрона 2 (см. рис. 4.9) производится при установке распределителя 1 в положение «раскрепить» (крайнее правое положение распределителя на рис. 4.9). Масло поступает в верхний гидропатрон 2 и давит на кольцевой поршень. Он поднимается вверх и позволяет раздвинуться кулачкам. Ведущая бурильная труба раскрепляется. Нижний гидропатрон в это время также остается раскрепленным.

Перехват ведущей трубы происходит при установке распределителя в позицию «перехват» (см. на рис. 4.8 поз. 3 слева). Масло под давлением, через фильтр 18, поступает в верхний патрон и через распределитель – в нижний. Патроны перекрепляются. По мере

повышения давления в системе срабатывает золотник быстрого подъема 10, обеспечивая поступление масла в нижние полости гидроцилиндров 4. Траверса вращателя быстро перемещается вверх, двигаясь относительно вращающейся на месте ведущей бурильной трубы.

Перекрепление патронов может быть выполнено и без совершения быстрого подъема траверсы. При установке распределителя в позицию «обратный перехват» (распределитель на рис 4.9 в верхнем крайнем левом положении) патроны также перекрепляются, только масло не поступает к золотнику быстрого подъема, и быстрый подъем траверсы не происходит.

Подача шпинделя вниз является рабочей подачей при бурении скважин, особенно тогда, когда веса бурового снаряда недостаточно для обеспечения необходимой осевой нагрузки. Прибор управления 5 (см. рис. 4.9) устанавливается в положение «вниз» (положение 1 на рис. 4.9). Масло под давлением подается в верхние полости цилиндров подачи 4. Величина давления регулируется маховиком дросселя 6 и контролируется стрелочным указателем давления 11 (см. на рис. 2.1. поз 13).

При движении штоков масло поршнями вытесняется из полостей цилиндров через регулятор подачи 12, в маслобак через прибор управления 5 и золотник быстрого подъема 10.

Регулятор подачи представляет собой дроссель, который регулирует диаметр сливного отверстия в трубопроводе так, чтобы давление в нижних полостях цилиндров было больше веса бурового снаряда на величину необходимой осевой нагрузки.

Подача шпинделя вверх производится установкой прибора управления 5 в позицию «вверх» (см. поз. 2 на рис. 4.9). Масло подается в нижние полости цилиндров 4 через обратный клапан 13 регулятора подачи 12. Давление регулируется дросселем 6 и контролируется прибором 11.

Остановка шпинделя производится установкой прибора управления в позицию «Стоп» (положение прибора управления, как на рис. 4.9). В этом случае нижние и верхние полости гидроцилиндров запираются.

Перемещение станка в скважине или от скважины осуществляется при постановке прибора управления 5 в позицию «от скважины» или «к скважине» (см. поз. 3 или 4 на рис. 4.9) и повышая давление масла в системе дросселем 6. При этом масло нагнетается в поршневую или штоковую полости цилиндра перемещения станка (см. поз. 7 на рис. 4.9).

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите основные детали и расскажите устройство вращателя станка СКБ-4. Как конструкция вращателя связана с механизмом подачи? В какой последовательности работают зажимные патроны станка?
2. Назовите назначение лебедки станка СКБ-4 и перечислите требования, которым она должна удовлетворять.
3. Расскажите принцип работы редуктора лебедки и способы управления им.
4. Назовите назначение трансмиссии станка СКБ-4 и устройство муфты сцепления.
5. Расскажите назначение и устройство коробки передач и раздаточной коробки станка СКБ-4.
6. Перечислите операции, выполняемые гидравлической системой СКБ-4. Каков принцип ее работы?
7. Расскажите работу гидросистемы станка при закреплении, раскреплении, перехвате, быстром подъеме и перекреплении гидропатронов.
8. Расскажите работу гидросистемы станка при необходимости подачи бурового снаряда на забой, подачи шпинделя от забоя и остановке шпинделя.
9. Каким образом работает гидросистема при перемещении станка от скважины к скважине?

Литература

1. Марамзин, А. В. Технические средства для алмазного бурения / А. В. Марамзин, Г. А. Блинов, А. А. Галиопа. – Л.: Недра, 1982. – 335 с.
2. Блинов, Г. А. Справочное руководство мастера геологоразведочного бурения / Г. А. Блинов, В. И. Васильев, Ю. Б. Бакланов и др. – Л.: Недра, 1983. – 400 с.
3. Сергиенко, И. А. Основы проектирования установок разведочного бурения / И. А. Сергиенко. – М.: Полиграфист, 1975. – 109 с.
4. Станок буровой СКБ-4. Паспорт и инструкция по эксплуатации.
5. Воздвиженский, Б. И. Колонковое бурение / Б. И. Воздвиженский, С. А. Волков, А. С. Волков. – М.: Недра, 1982. – 359 с.

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

С. Г. Эйнгорн, Н. Н. Дерябин

Буровые машины и механизмы

Методические указания
по выполнению курсового проекта
по дисциплине «Буровые машины и механизмы»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
Специализация Технология и техника разведки МПИ
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

Оглавление

Введение……..3
1. Методика расчета колонны бурильных труб……..3
1.1. Расчет напряжений в верхней части колонны…….....3
1.2. Расчет затрат мощности на бурение…….…….4
2. Расчет напряжений в нижней части
колонны бурильных труб……..…….8
3. Расчет бурильной колонны на выносливость……..…….9
Приложения……11

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Буровые машины и механизмы» имеет своей целью закрепление теоретических знаний, полученных ими при изучений курса, а также привитие им навыков проектирования.

В методических указаниях представлен полный перечень вопросов которые должны быть рассмотрены в курсовом проекте, даны общие указания по структуре проекта и методике решения вопросов, связанных с выбором бурового инструмента (бурильных труб) и его прочностным расчетом.

Колонна бурильных труб выбирается исходя из заданной конструкции скважины в соответствии с маркой станка, способом бурения.

При бурении колонна бурильных труб подвергается воздействию разнообразных нагрузок, поэтому в трубах и их соединениях одновременно возникают напряжения сжатия $\sigma_{сж}$, растяжения $\sigma_р$, кручения τ, изгиба $\sigma_{из}$. Характер сочетания этих нагрузок определяется сечением, для которого производится расчет.

1. Методика расчета колонны бурильных труб

Прочностной расчет производится для верхней и нижней части колонны бурильных труб, а также для «нулевого сечения».

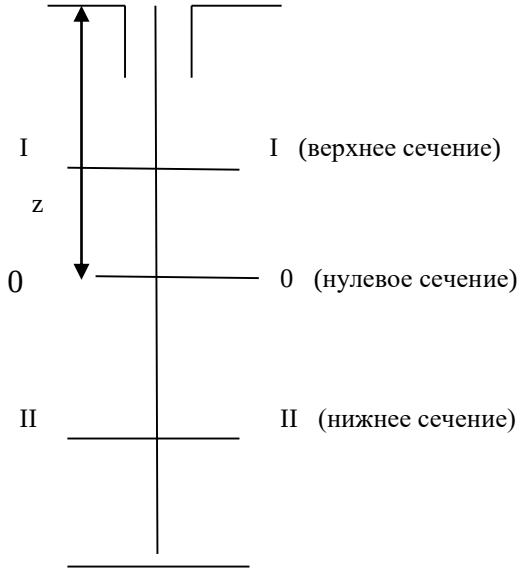


Рис. 1. Характерные сечения колонны бурильных труб. I-I – верхнее сечение; II-II – нижнее сечение; 0-0 – «нулевое сечение»; z – координата рассматриваемого сечения бурильной колонны растянутый участок колонны от нулевого сечения до устья скважины – знак «+», сжатый участок от нулевого сечения до забоя – знак «-».

1.1.Расчет напряжений в верхней части колонны

Здесь необходимо произвести расчет возникающих в колонне растягивающих напряжений – $\sigma_р$, и касательных напряжений – τ, поскольку и при бурении с «разгрузкой» и подъеме колонны с вращением механизм подачи станка удерживает колонну в подвешенном состоянии или поднимает ее.

Напряжение растяжения в верхнем сечении:

$$\sigma_р = Q_{кр}/F \ ; \qquad (1.1)$$

где $Q_{кр}$ – нагрузка на крюке, Н; F – площадь опасного сечения, м^2.

$$Q_{кр} = Q \cdot K \; ; \qquad (1.2)$$

где Q – вес снаряда, Н; K – коэффициент прихвата снаряда в скважине.

Вес снаряда, находящегося в скважине, заполненной промывочной жидкостью:

$$Q = \alpha \cdot q \cdot L \, (\sin \theta + f \cos \theta) \, (1 - \gamma_ж/\gamma_т) \; ; \qquad (1.3)$$

где α – коэффициент, учитывающий массу соединительных элементов, 1,3 – для муфто-замковых, 1,0 – для ниппельных; q – вес 1 м. бурильных труб, Н/м; L – суммарная длина труб, м; θ – угол наклона скважины к горизонту, град; f – коэффициент трения материала труб о горную породу; $\gamma_ж$ – удельный вес промывочной жидкости, Н/м^3; $\gamma_т$ – удельный вес материала труб ($5*10^4$ – ЛБТ, $7*10^4$ - СБТ), Н/м^3.

Напряжение кручения рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau = M_б/W_р \; ; \qquad (1.4)$$

где $M_б$ – крутящий момент, возникающий при бурении, Н/м; $W_р$ – полярный момент сопротивления опасного сечения, м^3.

Крутящий момент при бурении:

$$M_б = N_б/\omega, \qquad (1.5)$$

где $N_б$ – мощность, затрачиваемая на вращение колонны бурильных труб $N_{тр}$, кВт; ω – угловая скорость вращения снаряда, с$^{-1}$.

Величина $W_р$ определяется:

$$W_р = (d_н^4 - d_в^4)/d_н, \qquad (1.6)$$

где $d_Н$ – наружный диаметр бурильных труб с учетом износа, м; $d_В$ – внутренний диаметр бурильных труб с учетом износа, м.

Величина ω определяется:

$$\omega = (\pi \cdot n)/30, \qquad (1.7)$$

где n – число оборотов бурового снаряда при бурении, об/мин.

1.2.Расчет затрат мощности на бурение

Мощность, отбираемая от двигателя бурового станка, определяется следующим уравнением:

$$N_б = N_{СТ} + N_{ТР} + N_З, \;\; кВт \;\; , \qquad (1.8)$$

где $N_б$ - мощность отбираемая от двигателя бурового станка, кВт;

$N_{ст}$ - потери мощности на холостое вращение валов, шестерен, подшипников и других деталей трансмиссии станка, кВт;

$N_{тр}$- затраты мощности на вращение бурильных труб в скважине, кВт;

$N_З$ - затраты мощности, необходимые для разрушения забоя, кВт.

1.2.1. Расчет затрат мощности, расходуемой в трансмиссии станка

Величина $N_{ст.}$ в формуле 1.8 рассчитывается так:

$$N_{ст} = A + B\,n, \quad \text{кВт} \ , \tag{1.9}$$

где A - коэффициент учитывающий затраты мощности в узлах станка, работающих с постоянной частотой вращения: масляный насос, клиноременная передача, фрикцион и т.п.
B - коэффициент, учитывающий потери мощности на вращение деталей станка работающих с различной частотой вращения: редуктор вращателя,
подшипники, валы коробки передач и т. д.
n - частота вращения шпинделя бурового станка, об/мин.

Значения чисел оборотов буровых станков приведены в таблице 1.1. Величины коэффициентов A, B приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.1

Технологические характеристики буровых станков

Тип бурового станка	Частоты вращения на различных передачах, об/мин.
СКБ 50/100	115, 305, 325, 590, 645, 1000, 1170, 2000
СКБ 200/300 (СКБ-3)	110, 160, 200, 290, 355, 515, 555, 805, 815, 1180
СКБ 300/500 (СКБ-4)	155, 279, 394, 493, 637, 710, 1100, 1600
СКБ 500/800 (СКБ-5)	120, 257, 340, 407, 539, 715, 1130, 1500
ЗИФ 650М	87, 118, 254, 340, 576, 800
ЗИФ 1200МР	75, 136, 231, 288, 336, 414, 516, 600

Таблица 1.2

Значения коэффициентов A, B для буровых станков

Тип станка	Мощность привода, кВт	Значения коэффициентов	
		A	B
УКБ 50/100	11,7	0,4	$1{,}7*10^{-3}$
УКБ 200/300	13,0	0,7	1,8*10-3
УКБ 4	22,0	2,2	1,9*10-3
УКБ 5	30,0	5,1	2,1*10-3
ЗИФ 650	30,0	5,1	2,1*10-3
ЗИФ 1200	55,0	10,4	6,4*10-3

1.2.2. *Расчет затрат мощности на вращение колонны*

Затраты мощности, необходимые на вращение колонны бурильных труб в скважине, рассчитываются по эмпирической формуле, разработанной на основании экспериментальных исследований, выполненных в СКБ НПО «Геотехника».

$$N_{тр} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \,[0{,}92 \cdot 10^{-8}\,(0{,}9+0{,}01\delta)\,D\,\frac{g}{(EI)^{0.16}} \cdot n^{1{,}85}$$
$$L^{0{,}75}\,(1+0{,}44 \cdot \cos\Theta) + 1 \cdot 10^{-5}\,\delta\,n\,P] \ , \tag{1.10}$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий применение антивибрационной смазки бурильных труб или эмульсионных растворов;
K_2 - коэффициент, учитывающий возможное увеличение диаметра скважины в процессе бурения;
K_3 - коэффициент, учитывающий тип колонны бурильных труб для СБТМ K_3=1,3, для СБТН – 1,0;
K_4 - коэффициент, учитывающий кривизну бурильных труб;
δ - расстояние между бурильной трубой и стенкой скважины, мм;

D - диаметр скважины, мм. Принимается равным диаметру коронки + 2мм;

L - длина скважины, м;

n - частота вращения коронки при бурении, об/мин;

EI - жесткость бурильных труб, Н/м^2
где E – модуль Юнга, Н/м^2, I – осевой момент инерции поперечного сечения бурильной трубы, м^4;

g - масса одного метра бурильных труб, кг;

Θ - угол наклона оси скважины к горизонту, градус;

P - осевая нагрузка, кН.

Коэффициент K_1 при использовании антивибра-ционной смазки или эмульсии – 0,65. При использовании обычных глинистых растворов K_1 = 1,1, при использовании глинистых растворов с повышенным удельным весом и вязкостью K_1 = 1,3.

Величина коэффициента K_2 меняется в зависимости от целостности и состояния пород, в которых бурится скважина. Если состояние породы позволяет увеличить диаметр скважины в процессе бурения (вследствие разбуривания, осыпания стенок и т. д.), коэффициент K_2 = 1,0 - 1,4. Если бурение ведется в монолитных породах или в скважине, обсаженной стальными трубами, K_2 = 0,8 - 0,5.

В осложненных условиях (при резком искривлении ствола скважины, при наличии каверн, больших пустот и т. п.) K_2 меняется в диапазоне 1,5 - 2,0.

K_4 – определяется состоянием и качеством изготовления бурильных труб и их соединений.

При использовании импортных бурильных труб и труб повышенной точности, предназначенных для алмазного бурения (например СБТН-54), K_4 =1.

При использовании бурильных труб, изготовленных в заводских условиях и не имеющих большого износа, K_4 =1,3.

Бурильные трубы, эксплуатирующиеся продолжительное время, имеют большой износ и кривизну. При их использовании коэффициент K_4 =1,6.

Величина расстояния между бурильной трубой и стенкой скважины (δ) влияет на величину центробежной силы, прижимающую трубу к стенке скважины при вращении. Чем больше δ, тем больше центробежная сила и трение трубы о породу.

Величина δ определяется как разница между диаметром бурения и диаметром бурильной трубы. При этом диаметр скважины принимается больше, чем диаметр коронки на 1-2 мм.

Жесткость EI – характеризует величину сопротивления колонны бурильных труб изгибу осевой нагрузкой и центробежной силе, прижимающими колонну к стенке скважины. Чем больше этот параметр, тем меньше силы трения, следовательно меньше мощность, затрачиваемая на вращение колонны.

Величины модуля упругости (модуль Юнга) (E) и осевого момента инерции сечения труб (I) приведены в таблице 1.3.

Масса бурильных труб (g) определяет затраты мощности на их вращение, поскольку при ее увеличении увеличивается сила прижатия труб к стенке скважины. Величина g приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Механические характеристики бурильных труб

Тип бурильной трубы	Вес (g) 1м. трубы в воде, Н	Модуль упругости трубы (E), Н/м^2	Осевой момент инерции поперечного сечения трубы, I, м^4
СБТН 42	40,9	$2{,}1*10^{11}$	$19{,}22*10^{-8}$
СБТН 54	55,6	$2{,}1*10^{11}$	$42{,}51*10^{-8}$
СБТН 68,5	74,0	$2{,}1*10^{11}$	$94{,}67*10^{-8}$
СБТМ 42	46,2	$2{,}1*10^{11}$	$19{,}22*10^{-8}$
СБТМ 50	61,3	$2{,}1*10^{11}$	$39{,}36*10^{-8}$
СБТМ 63,5	75,7	$2{,}1*10^{11}$	$92{,}67*10^{-8}$
ЛБТМ 54	28,0	$0{,}7*10^{11}$	$68{,}87*10^{-8}$
ЛБТН 54	23,3	$0{,}7*10^{11}$	$68{,}87*10^{-8}$

1.3.3. Расчет затрат мощности на разрушение забоя

При бурении алмазными и твердосплавными коронками затраты мощности на разрушение породы определяются по формуле, кВт

$$N_З = 2{,}67 \cdot 10^{-5}(\mu_0 + A\Delta V)(D_н + D_в)P \cdot n \quad , \tag{1.11}$$

где $N_З$ - мощность, затрачиваемая на разрушение породы при бурении, кВт;
μ_0 - коэффициент трения между коронкой и забоем;
A - коэффициент, учитывающий прочностные свойства пород и характер их разрушений;
ΔV - величина углубки колонки за один оборот, мм/об.;
$D_н$, $D_в$ - наружный и внутренний диаметр коронки, мм.;
P - осевая нагрузка, кН;
n - частота вращения коронки при бурении, об/мин.

Значения коэффициентов μ_0 и A приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Значения параметров μ_0 и A для буровых коронок

Тип коронки	μ_0	A
Алмазная однослойная	0,04	2,9
Алмазная импрегнированная	0,08	5,5
Твердосплавные коронки СМ4, СМ5, СМ6	0,10	2,0
Твердосплавные коронки СН4, СН5, СН6	0,12	2,9

Величину подачи коронки за один оборот ΔV, можно определить по формуле

$$\Delta V = 16{,}7\frac{V}{n} \text{ мм/об} , \tag{1.12}$$

где ΔV - подача коронки за один оборот, мм/об.;
V - механическая скорость бурения, м/час;
n - частота вращения коронки при бурении, об/мин.

Ориентировочные величины механической скорости в зависимости от категории пород, способа бурения и типа коронки приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Значения величин механической скорости бурения

Способ бурения	Категория по буримости	Механическая скорость бурения, м/час.
Твердосплавные коронки СМ4-СМ6	V-VI	1,87
Твердосплавные коронки СМ4-СМ6	VII-VIII	0,94
Алмазные однослойные	VII-IX	0,76
Алмазные импрегнированные	IX-X	0,32
Алмазные импрегнированные	XII	6,05

Диаметры буровых коронок приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Диаметры буровых коронок

Тип буровой коронки	Наружный диаметр, м	Внутренний диаметр, м
Твердосплавные коронки	0,059	0,044
	0,076	0,059
	0,093	0,075
	0,0112	0,094
	0,0132	0,0114
Алмазные коронки	0,059	0,042
	0,076	0,058
	0,093	0,073
	0,0112	0,092

Суммарное напряжение от растяжения и кручения в верхней части колонны рассчитывается по третьей теории прочности:

$$\sigma = \sqrt{\delta_p^2 + 4 \cdot \tau^2} \ , \qquad (1.13)$$

при этом должно выполняться условие:

$$\sigma_\Sigma \le [\ \sigma_{доп}\ ] \ . \qquad (1.14)$$

где $[\ \sigma_{доп}\ ]$ – допустимое напряжение для материала из которого изготовлены бурильные трубы, Н/м^2.

2. Расчет напряжений в нижней части колонны бурильных труб

Сжатая часть колонны передает осевую нагрузку породоразрушающему инструменту, испытывая напряжения сжатия $\sigma_{сж}$, при этом вращающаяся бурильная колонна под действием продольных и поперечных сил приобретает изогнутую форму, в результате чего в ней возникают напряжения изгиба $\sigma_{изг}$ и кручения τ.

Напряжения сжатия рассчитываются по формуле:

$$\sigma_{сж} = P_{ос}/F \qquad (2.1)$$

где $P_{ос}$ – осевая нагрузка на забой, Н; F – минимальная площадь сечения бурильной трубы, соединений или их резьбовых частей, м^2.

Напряжение изгиба рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{изг} = (\pi^2 \cdot E \cdot d_н \cdot f) / (2 \cdot l^2); \quad (2.2)$$

где E – модуль упругости, Н/м^2 (табл. 1); $d_н$ – наружный диаметр труб, м; f –стрела прогиба бурильных труб, м; l – длина полуволны, м.

Стрела прогиба бурильных труб определяется:

$$f = (D - d_н) / 2; \quad (2.3)$$

Длина полуволны рассчитывается:

$$l = (10 / \omega) \sqrt{[\pm 0{,}5 \cdot Z + \sqrt{0{,}25 \cdot Z^2 + (E \cdot J \cdot \omega^2)}] / g \cdot q}; \quad (2.4)$$

где Z – длина растянутого участка от нулевого сечения в растянутой части принимается $+Z$ (от устья скважины до нулевого сечения), а в сжатой части – $(-Z)$, (от забоя до нулевого сечения); q – вес 1 м бурильных труб, H; g – 9,8 м / с; $N_З$ – мощность на разрушение забоя, кВт.

$$Z = L - l_{сж}; \quad (2.5)$$

где $l_{сж}$ – длина сжатой части бурильной колонны, м.

$$l_{сж} = P_{ос} / [\alpha \cdot q \cdot (1 - \gamma_ж / \gamma_т)]; \quad (2.6)$$

Напряжение кручения τ определяется по формуле (1.4), где $N = 1.5\ N_З$; $N_З$ – мощность на разрушение забоя.

Суммарное напряжение от сжатия, изгиба и кручения рассчитывается по следующей зависимости:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{(\sigma_{сж} + \sigma_{изг})^2 + 4 \cdot \tau^2}; \quad (2.7)$$

Выбранная бурильная колонна проверяется на запас статической прочности как для верхнего, так и для нижнего сечений колонны.

$$n = \sigma_т / \sigma_\Sigma \geq 1{,}7. \quad (2.8)$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала труб, Н/м^2.

При проверке на статическую прочность в резьбовой части $n \geq 1{,}5$.

3. Расчет бурильной колонны на выносливость

Расчет производится для «нулевого» сечения, испытывающего знакопеременные напряжения и динамические нагрузки. Рассчитываются напряжения изгиба и кручения:

$$\sigma_{изг} = (\pi^2 \cdot E \cdot D \cdot f) / 2 \cdot l^2, \quad (3.1)$$

где l – длина полуволны, вычисляется при Z=0:

$$l = (10 / \omega) \sqrt[4]{[(E \cdot J \cdot \omega^2) / (g \cdot q)]}; \quad (3,2)$$

$$\tau = M_б / N_р, \quad (3,3)$$

где $M_б$ – крутящий момент, развиваемый двигателем при бурении скважины; $M_б$ определяется так: $M_б = 0,6 + 0,8\ N_{дв.ном} / \omega$.

Затем рассчитывается запас прочности по нормальным напряжениям:

$$n_\tau = \sigma_{-1} / \sigma_{изг} \cdot k_д, \quad (3.4)$$

где σ_{-1} – предел выносливости труб при изгибе; $k_д$ – коэффициент, учитывающий динамический характер нагрузки ($k_д = 1,5$).

Величина σ_{-1} определяется так:

$$\sigma_{-1} = (0,4 \div 0,5)\sigma_в. \quad (3.5)$$

Запас прочности по касательным напряжениям:

$$n_\tau = \tau_т / \tau, \quad (3.6)$$

где $\tau_т$ – предел текучести при кручении, Па ($\tau_т = 0,5 \cdot \sigma_т$).

Рассчитывается суммарный запас прочности в нулевом сечении:

$$n_\Sigma = n_\sigma \cdot n_\tau / (n_\sigma + n_\tau) \geq 1,3. \quad (3.7)$$

После окончания расчетов делается вывод о правильности выбора колонны бурильных труб.

Рекомендованная литература

Технология и техника разведочного бурения. / *Шамшев Ф. А., Тараканов С. Н., Кудряшов Б. Б. и др./* – М.: «Недра», 1983. 565 с.

Ганджумян Р. А. Практические расчеты в разведочном бурении. – М.: «Недра», 1978, 288 с.

Калинин А. Г., Ошкордин О. В., Питерский В.М. и др. Разведочное бурение. Учеб. для вузов – М.: Недра, 2000, 748 с.

Лачинян Л. А., Угаров С. А. Конструирование, расчет и эксплуатация бурильных геологоразведочных труб и их соединений. – М.: Недра, 1975, 232 с.

Кардыш В. Г., Окмянский А. С., Арифуллин С. А. и др. Методические рекомендации по расчету затрат мощности на бурение скважин малого диаметра. – М.: НПО «Геотехника», 1977, 32 с.

Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин. Том 1, 2 / Е. А. Козловский, В. Г. Кардыш и др. – Л.: Недра, 1984. – т. 1, 512 с.

Воздвиженский Б. И., Волков С. А., Волков А. С. Колонковое бурение. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Недра, 1982, 360 с.

Справочное руководство мастера геологоразведочного бурения. / Г. А. Блинов, В. И. Васильев, Ю. В. Башкатов и др. – Л.: Недра, 1983, 400 с.

Приложение 1

Варианты заданий

Номер варианта	Глубина скважины, м	Диаметр бурения конечный, мм	Угол наклона скважины к горизонту, град	Категория пород по буримости	Характеристика пород
1	120	59	89	IX	слаботрещиноватые
2	1000	46	85	IX	монолитные
3	560	59	85	VIII	сильнотрещиноватые
4	280	76	87	VIII	слаботрещиноватые
5	450	59	89	X	плотные, монолитные
6	510	46	90	X	трещиноватые
7	1800	46	90	XI	плотные, монолитные
8	80	110	90	X	трещиноватые
9	580	59	85	XI	монолитные
10	100	93	85	IX	слаботрещиноватые
11	640	59	90	X	плотные, монолитные
12	250	76	88	IX	слаботрещиноватые
13	470	59	85	VIII	сильнотрещиноватые
14	750	46	89	XI	плотные, монолитные
15	600	59	87	X	плотные, монолитные
16	300	76	85	XI	слаботрещиноватые
17	350	59	90	VI	трещиноватые
18	590	46	85	IX	трещиноватые
19	800	59	90	XI	монолитные
20	840	46	87	XII	монолитные
21	900	59	85	XI	слаботрещиноватые
22	940	46	90	X	монолитные
23	960	59	90	XII	плотные, монолитные
24	1300	46	87	IX	плотные, монолитные
25	1570	46	90	XII	монолитные

Приложение 2

Пример выполнения титульного листа

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО

«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ РАЗВЕДКИ МПИ

РАСЧЕТ
Колонны бурильных труб

Руководитель_____
Студент_____
Группа _____

Екатеринбург 201__г.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Размер шрифта основного текста: - кегль 14, формат А4, 1,5 интервал.

Нумерация страниц проставляется со второй страницы в нижнем поле по центру.

Заголовки отделяются от основного текста сверху и снизу одним интервалом.

Шрифт заголовков выделяется жирным прописным или большим на 1-2 кегля.

По всему проекту соблюдается соподчиненность шрифтов разделов.

Красная строка – 1,5 см.

Раздел (глава) – часть – подчасть – подраздел.

ВВЕДЕНИЕ не имеет нумерации!!!

Поля страницы:

верх – 2 см, низ – 2,5 + нумерация страницы, левое поле – 3 см., правое – 1,5.

Рисунок имеет название (под рисунком) и нумерацию как и формула.

Цифра раздела

$$p_1 = \lambda_1 \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho}{2 \cdot d_1} \cdot (l + l_э) \cdot 10^{-6}, \quad [\text{МПа}] \qquad (2.14)$$

Порядковый номер в разделе

где: ρ – плотность промывочной жидкости, *кг/м*^{3}, ρ=1040 *кг/м*^{3}; d_1 –внутренний диамет бурильных труб, *м*, d_1= 0,0545м; l – длина колонны бурильных труб, *м*, $l = L - l_{УБТ}$= 69 4,7= 64,3 *м*; V_1 – скорость нисходящего потока промывочной жидкости, *м/с*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бродов Г.С.* Бурение и оборудование скважин на воду. – СПб, 2006. 154 с.
2. Технология и техника разведочного бурения. /Под ред. Шамшева Ф.А., Кудряшова Б.Б. и др./ - М.: Недра, 1983, 565 с.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ

И ЭФФЕКТИВНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

МОСКВА 1974

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Цели и задачи проведения буровых работ при инженерно-геологических изысканиях. Требования, предъявляемые к буровым скважинам	3
2. Условия проведения буровых работ при инженерно-геологических изысканиях и выбор способа бурения	4
3. Способы бурения инженерно-геологических скважин и их рациональное использование	9
Колонковый способ	9
Ударно-канатный кольцевым забоем	13
Вибрационное бурение	16
Медленновращательное бурение	18
Шнековое бурение	19
Комбинированные способы бурения	20
4. Рекомендации по оценке эффективности способов бурения инженерно-геологических скважин	21
Приложение	
Пример опытно-производственной оценки способов бурения инженерно-геологических скважин в геолого-литологических условиях Верхнего Поволжья	25

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И ЭФФЕКТИВНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Редактор издательства Е. А. Мельникова
Технические редакторы В. Д. Павлова, Т. В. Кузнецова
Корректоры В. Г. Штанге, М. Ф. Казакова

Сдано в набор 24/IV—1974 г. Подписано к печати 7/VI—1974 г.
Т-11807 Формат 84×108 1/32 д. л. Бумага типографская № 2.
1,68 усл. печ. (уч.-изд. 2,59 л.)
Тираж 16.500 экз. Изд. № XII—4680 Зак. № 234 Цена 13 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а
Подольская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ

И ЭФФЕКТИВНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1974

УДК 624.131.34

Рекомендации по выбору и эффективному применению способов бурения инженерно-геологических скважин в различных природных и геологических условиях. М., Стройиздат, 1974, 34 с. Производств. и научн.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в стр-ве Госстроя СССР.

В Рекомендациях изложены цели и задачи проведения буровых работ при инженерно-геологических изысканиях; требования, предъявляемые к буровым скважинам инженерно-геологического назначения, условия проведения буровых работ и рекомендации по выбору способа бурения. Рассматриваются различные способы, применяемые при инженерно-геологических изысканиях, и эффективность их использования в различных природных и геологических условиях.

Предлагается методика оценки эффективности способов бурения инженерно-геологических скважин и дается пример пользования этой методикой.

Предназначены для работников изыскательских служб, занимающихся вопросами бурения инженерно-геологических скважин.

Рекомендации разработаны Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР (д-р техн. наук Б. М. Ребрик, канд. геолого-минералогических наук С. П. Абрамов, инж. Б. В. Цынский, Л. И. Куник).

© Стройиздат, 1974

Р $\frac{30206-700}{047(01)-74}$ инструкт.-нормат., IV вып. 21—73

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОВЕДЕНИЯ БУРОВЫХ РАБОТ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К БУРОВЫМ СКВАЖИНАМ

1.1. Буровые скважины при инженерно-геологических изысканиях проходят для изучения геолого-литологического разреза, гидрогеологических условий, отбора образцов грунта для определения физико-механических свойств грунтов, проведения различных опытных работ. В зависимости от назначения скважины и этапа изысканий к буровым скважинам предъявляются различные требования в отношении инженерно-геологической информации, степени ее детальности, полноты и точности, диаметра и глубины бурения.

1.2. На начальных этапах изысканий при выполнении инженерно-геологической рекогносцировки инженерно-геологические съемки скважины проходят с целью: установления геологического разреза; выявления условий залегания пород; изучения криогенного строения мерзлых пород и их температурного режима; изучения гидрогеологических условий; отбора образцов пород и воды для полевых и лабораторных исследований; производства опытных инженерно-геологических и гидрогеологических работ, производства стационарных наблюдений, выявления и оконтуривания зон проявления физико-геологических процессов и изучения этих процессов; обоснования интерпретации геофизических, зондировочных и пенетрационно-каротажных работ.

1.3. На последующих этапах изысканий при выполнении крупномасштабной инженерно-геологической съемки и инженерно-геологической разведки бурят разведочные скважины для уточнения геологического разреза в сфере взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой, отбора образцов грунтов и подземных вод для полевых и лабораторных изучений их свойств, проведения опытных полевых работ; производства стационарных наблюдений.

1.4. Глубина бурения разведочных скважин в зависимости от проектируемых объектов колеблется от 10 до 100 м и более, диаметр бурения 108—219 мм. Скважины глубиной до 10 м бурят при изысканиях под жилищное строительство малой этажности, аэродромы, при линейных изысканиях (под автомобильные и железные дороги, линии электропередач, связи, трубопроводы). Скважины глубиной до 30 м бурят при изысканиях под гражданское, несложное промышленное и гидротехническое строительство глубиной до 100 м при изысканиях под крупные промышленные и специальные объекты, где по технологическим условиям требуется заглубление отдельных цехов; для проектирования сложных гидротехнических сооружений (ГЭС, каналов, дамб, водохранилищ).

1.5. Для освещения гидрогеологических условий района сооружений, изучения фильтрационных свойств грунтов проходят гидрогеологические скважины, которые отличаются большим диаметром, что обусловлено необходимостью установки в скважину водоподъемных средств. Диаметр бурения гидрогеологических скважин достигает 355 мм и более, глубина бурения до 100 м и более.

1.6. Для проведения специальных опытных работ (испытания грунтов методом статических нагрузок, вращательного среза), для отбора монолитов грунтов путем вырезания их из скважины, для

визуального осмотра геологического разреза бурят скважины специального назначения. Глубина этих скважин достигает 25—30 м, диаметр — 650 мм и более.

1.7. Одной из основных задач при бурении скважин при инженерно-геологических изысканиях является установление геолого-литологического разреза. Особенно большое значение для составления геологического разреза, соответствующего природному, имеет точность фиксации глубины залегания слоев грунта, устанавливаемая по керну. Согласно требованию СНиП II-Б.1-62* эта величина должна составлять ±0,50 м, однако в ряде случаев она может быть меньше, что устанавливается проектировщиком.

1.8. Установление геологического разреза, оценка гидрогеологических условий и инженерно-геологических свойств грунтов исследуемого района (участка) производятся в большинстве случаев на основании геологической документации, а также результатов изучения состава, состояния и свойств грунтов по образцам, отобранным при бурении из скважин.

Грунт в образце должен быть типичным для определенного инженерно-геологического элемента. В образцах, отобранных для геологической документации, петрографический и гранулометрический состав грунтов, а в отдельных случаях и их влажность должны соответствовать естественным. Извлекаемый на поверхность грунт должен отражать последовательность слоев грунта, их мощность, текстурные и структурные особенности грунта (слоистость, отдельность, тип структуры, наличие включений, гнезд, примазок); плотность и консистенцию грунта, соответствующие естественным.

Отбираемый образец грунта должен иметь объем, достаточный для геологического описания или проведения необходимого комплекса лабораторных определений физико-механических свойств. Объем отбираемых образцов регламентирован ГОСТ 12071—72 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов» в зависимости от вида грунта, конкретных задач, этапа изысканий и метода лабораторных испытаний.

1.9. При бурении скважин для инженерно-геологических целей производится отбор образцов грунта нарушенного сложения и монолитов. Основным требованием при отборе образцов грунта нарушенного сложения является сохранение его состава и влажности. В монолитах, кроме того, должно быть сохранено сложение, а также трещиноватость грунта и природное состояние заполнителя трещин.

1.10. Количество образцов грунта нарушенного или ненарушенного сложения, отбираемых из каждого однородного слоя грунта, устанавливается программой работ.

2. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ БУРОВЫХ РАБОТ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ И ВЫБОР СПОСОБА БУРЕНИЯ

2.1. Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях осуществляется в различных природных и геологических условиях, оказывающих существенное влияние на выбор способа бурения, технических средств и технологических приемов бурения и на эффективность их использования.

2.2. Выбор способа бурения прежде всего определяется типом проходимых грунтов и характером геологического разреза.

2.3. При инженерно-геологических изысканиях бурение скважин

осуществляется в основном в нескальных грунтах (песчаных, глинистых и крупнообломочных), а также в скальных, полускальных и мерзлых грунтах.

2.4. Песчаные грунты могут быть неустойчивыми в стенках буровых скважин (сухие и водонасыщенные пески), а также слабоустойчивыми в стенках скважин (пески различной влажности).

Бурение песчаных, неустойчивых в стенках скважин грунтов может быть успешно выполнено только при одновременной либо опережающей обсадке скважин трубами. В наибольшей степени этому требованию удовлетворяет ударно-канатное бурение.

Бурение скважин в песчаных грунтах, устойчивых в стенках буровых скважин, может быть выполнено шнековым, вибрационным, ударно-канатным кольцевым забоем, колонковым и медленновращательным способами бурения. Использование того или иного способа бурения в этом случае должно определяться целями и задачами бурения, а также производительностью способа.

2.5. Глинистые грунты могут быть слабоустойчивыми в стенках буровых скважин (увлажненные супеси, пластичные слабо уплотненные суглинки и глины) и вполне устойчивыми (тугопластичные плотные глины и суглинки, моренные суглинки с различным содержанием крупнообломочного материала).

Среди глинистых грунтов выделяются просадочные разности: лёссы и лёссовидные грунты.

В глинистых грунтах практически могут быть использованы все способы бурения инженерно-геологических скважин. Выбор способа бурения должен определяться целями и задачами бурения, а также производительностью способа.

2.6. Крупнообломочные грунты характеризуются обычно высокой водопроницаемостью и неустойчивостью в стенках буровых скважин.

При бурении скважин в крупнообломочных грунтах выбираемый способ бурения должен обеспечивать одновременную либо опережающую обсадку скважины трубами. Этому требованию удовлетворяет ударно-канатное бурение.

2.7. Скальные и полускальные грунты могут находиться в виде сплошного или трещиноватого массива; они нерастворимы, практически инертны к воде, при отсутствии трещиноватости — водонепроницаемы.

Единственным способом проходки инженерно-геологических скважин в скальных грунтах является колонковый.

2.8. Грунты всех типов могут находиться в мерзлом состоянии. Мерзлые нескальные грунты подразделяются на твердомерзлые — прочно сцементированные льдом, характеризующиеся хрупким разрушением; пластично-мерзлые — сцементированные льдом, обладающие вязкими свойствами вследствие содержания в них значительного количества незамерзшей воды.

При бурении скважин в мерзлых грунтах выбираемый способ бурения должен обеспечить минимальное нарушение естественного температурного режима и режима влажности грунта в отбираемых образцах, сохранение ствола скважины в хорошем состоянии.

Для бурения твердомерзлых грунтов может быть использован колонковый способ «всухую» с промывкой охлажденными водными и глинистыми растворами; пластично-мерзлых — колонковый «всухую», ударно-канатный кольцевым забоем, вибрационный и ручной ударно-вращательный.

2.9. Условия проведения буровых работ, характеризуемые сте-

пенью сложности инженерно-геологической обстановки, изученности территории, а также степенью сложности доставки и транспортирования бурового оборудования, определяют дополнительные требования к способам и технологии бурения, к оборудованию, реализующему тот или иной способ бурения, а также к объему получаемой инженерно-геологической информации.

2.10. По условиям проведения буровых работ могут быть выделены территории с простыми, средней сложности и сложными инженерно-геологическими условиями; легко- средне- и труднодоступные различным видам транспорта, а также особые территории по доставке и транспортированию бурового оборудования.

2.11. При бурении скважин на территориях со среднесложными и сложными инженерно-геологическими условиями (с неблагоприятными физико-геологическими процессами и явлениями) необходимо руководствоваться положениями СНиП II-А.13-69 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

В районах распространения лёссовых (просадочных) грунтов бурение скважин должно осуществляться без применения промывочной жидкости. Наиболее эффективным способом бурения этих грунтов является клюющая разновидность ударно-канатного бурения кольцевым забоем.

В районах развития карста диаметр и конструкция скважин должны обеспечить проведение в них в случае необходимости опытных работ. При бурении в закарстованных породах необходимы следующие дополнительные сведения: процент выхода керна, характеристика керна, относительная буримость пород, характеристика шлама, баланс циркулирующей промывочной жидкости, изменение уровня воды в скважине; особое внимание должно быть обращено на фиксирование зон провалов инструмента и на характер циркуляции или поглощения промывочной жидкости, а также на наличие и характер газопроявлений. Основным способом бурения скважин в закарстованных грунтах является колонковый с промывкой. При этом рекомендуется использовать буровые станки колонкового бурения УГБ-50М, ЗИФ-300М, ВИТР-300, БСК-2М-100 с гидравлической подачей бурового инструмента.

Бурение следует вести с тщательным хронометражом основного процесса бурения, фиксируя при этом механическую скорость бурения, процент выхода керна, провалы инструмента с точным указанием интервала глубин и характера провала.

Для точной и надежной регистрации параметров бурового процесса используемые буровые станки целесообразно комплектовать контрольно-измерительной аппаратурой (типа ПКМ, ГП-18, ИРБ-5А, 8МР-1 и др.).

2.12. Сложность доставки и транспортирования бурового оборудования определяют прежде всего транспортную базу и конструктивные особенности буровых станков и установок, реализующих тот или иной способ бурения.

В зависимости от категории сложности доставки и транспортирования бурового оборудования следует использовать:

в легких условиях* — самоходные буровые установки на авто-

---

* Характеристика условий транспортирования и доставки бурового оборудования дана в «Рекомендациях по производству буровых работ при инженерно-геологических изысканиях для строительства», Стройиздат, М., 1970.

мобильном ходу: БУЛИЗ-15; УГБ-50А(М), АВБ-2М, СБУДМ-150-ЗИВ, СБУЭМ-150-ЗИВ, УРБ-2А, ЛБУ-50; передвижные — УПБ-25, УБП-15М, БУКС-ЛГТ, Д-5-25, ПВБСМ-15, БСА-6 «Амурец»; стационарные — ЗИФ-300М, УКС-22М, БУГ-100 и др.;

в средних условиях — самоходные установки на гусеничном ходу: АВБТМ, УШ-2Т (УШБ-ТМ); передвижные — УПБ-25, БУКС-ЛГТ, Д-6-15, ПВБСМ-15, БСА-6 «Амурец»; стационарные — ЗИФ-300М, БСК-2М-100; переносные — Д-10, М-1, ПБУ-10; в отдельных случаях возможно использование самоходных установок на автомобильном ходу;

в тяжелых условиях — переносные станки — Д-10, М-1, ПБУ-10, УПБ-25, ПВБСМ-15; разборные на отдельные блоки: Д-6-15, БСК-2М-100;

в особых условиях, когда бурение выполняется с понтонов, плотов и барж, для перевозки оборудования следует использовать специальный водный транспорт; для бурения могут быть использованы стационарные станки ЗИФ-300-М, ВИТР-300, БСК-2М-100, а также установка УПБ-25.

2.13. Этап изысканий также оказывает существенное влияние на характер проведения буровых работ.

2.14. На начальных этапах изысканий (при инженерно-геологической рекогносцировке или мелко- и среднемасштабной съемке) буровые работы выполняются на территориях, характеризующихся значительной площадью, а степень детальности изучения разреза при этом сравнительно невысока.

Для бурения этих скважин следует использовать способы бурения, которые реализуются в легком, мобильном, достаточно простом в обслуживании и надежном в эксплуатации оборудовании. Это в основном легкие переносные и перевозимые станки с приводом от двигателя внутреннего сгорания мощностью 3—4 л. с. (Д-10М, ПБУ-10, М-1, ПВБСМ-15, Д-6-15), отчасти самоходные буровые установки БУЛИЗ-15, которые обеспечивают бурение шнековым, колонковым «всухую» и ударно-канатным кольцевым забоем способами.

2.15. На последующих этапах (при инженерно-геологической съемке крупного масштаба и разведке) буровые работы выполняются на ограниченных по площади территориях с детальным изучением разреза. Бурение скважин следует осуществлять способами, обеспечивающими наибольшую точность и полноту геологической документации — колонковым, ударно-канатным кольцевым забоем, вибрационным, которые позволяют отбирать образец грунта в виде столбика керна.

Минимальный диаметр бурения должен быть не менее 89 мм. В зависимости от вида проходимых грунтов конечный диаметр бурения следует устанавливать: 89 мм — при бурении скальных грунтов; 108 мм — при бурении глинистых и песчаных грунтов. При глубине бурения до 30 м рекомендуется использовать станки и установки АВБ-2М, БУЛИЗ-15, УГБ-50М, ЛБУ-50, БУКС-ЛГТ, УБП-15М, Д-5-25, обеспечивающие бурение колонковым, вибрационным и ударно-канатным кольцевым забоем способами.

При глубине бурения до 100 м и свыше основным способом проходки скважин является колонковый, реже применяется ударно-канатный кольцевым забоем. Рекомендуемыми установками являются УГБ-50М, СБУДМ-150-ЗИВ, СБУЭ-150-ЗИВ, УРБ-2А, АВБ-ТМ, ЗИФ-300М, БСК-2М-100, БУГ-100, УКС-22М.

2.16. Для проходки скважин гидрогеологического назначения следует использовать способы бурения, обеспечивающие максимальную сохранность естественных характеристик водоносных горизонтов и свойств подземных вод. Буровые установки, реализующие эти способы бурения, должны обеспечивать возможность оборудования скважин для производства пробных и опытных откачек, а также гидрогеологических наблюдений.

Рекомендуемыми способами бурения этих скважин являются ударно-канатный сплошным забоем, роторный, в отдельных случаях может быть использован колонковый.

Ударно-канатный способ рекомендуется:

при глубине скважины до 150 м и начальном диаметре более 300—500 мм;

в районах, где геологический разрез и гидрогеологические условия недостаточно изучены;

при частом чередовании в разрезе водоносных и водонепроницаемых пород;

при необходимости раздельного опробования отдельных водоносных горизонтов;

в районах, где нет воды и высококачественной глины для приготовления глинистого раствора.

Роторный способ целесообразно применять:

при бурении скважин глубиной свыше 200 м при условии хорошей изученности геологического разреза и гидрогеологических условий;

при бурении скважин на предварительно разведанные и опробованные водонасыщенные горизонты.

В водоносных породах, представленных мелкозернистыми или среднезернистыми песками, бурение скважин глубиной 250—300 м рекомендуется производить комбинированным способом—ударно-канатным и роторным.

Колонковый способ целесообразно применять для предварительной оценки гидрогеологических условий.

Для бурения гидрогеологических скважин рекомендуются станки и установки: БУКС-ЛГТ, БСА-6 «Амурец», БУГ-100, УКС-22М, УКС-30М, УГБ-50М, УРБ-2А, УРБ-3АМ.

2.17. Для бурения скважин специального назначения следует использовать способы, обеспечивающие проходку скважин требуемого диаметра и глубины с соблюдением требований, предъявляемых к стволу скважины последующими опытными работами.

Для бурения специальных скважин большого диаметра рекомендуется медленновращательный (специальными шнековыми бурами) и ударно-канатный (наконечниками ячеистой конструкции) способы.

2.18. При линейных изысканиях буровые работы выполняются на территориях, характеризующихся значительной линейной протяженностью, в силу чего следует использовать буровые станки и установки, обладающие хорошей транспортабельностью, — легкие, имеющие большую скорость передвижения, высокоманевренные и т. д.

2.19. При площадных изысканиях буровые работы выполняются, как правило, на ограниченных участках, для бурения могут быть использованы разнообразные по модификации станки и установки.

2.20. При изысканиях под гидротехнические сооружения и другие буровые работы часто выполняются на акваториях морей, рек и озер. В этом случае для бурения скважин могут быть исполь-

зованы разнообразные по модификации, диаметрам и способам бурения станки, которые монтируются на плотах и понтонах.

3. СПОСОБЫ БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

3.1. Все способы бурения, используемые при инженерных изысканиях, могут быть разделены на три группы:

способы, дающие керн в виде столбика грунта, относительно ненарушенного, с последовательностью слоев, включений, текстурных и структурных особенностей, в значительной степени соответствующих природным. К этой группе относятся вибрационный, ударно-канатный кольцевым забоем, колонковый и шнековый кольцевым забоем;

способы, дающие керн в виде перемятого, с нарушенным сложением грунта. Сюда относятся медленновращательный, шнековый и ручной ударно-вращательный;

способы, дающие грунт в виде шлама. Это ударно-канатное бурение сплошным забоем и роторное.

3.2. При бурении скважин инженерно-геологического назначения предпочтение следует отдавать способам, позволяющим наиболее полно и точно устанавливать геологический разрез (глубину залегания слоев, структурные и текстурные особенности грунта) и обеспечивающим качественный отбор монолитов.

Наиболее качественную инженерно-геологическую документацию обеспечивают способы бурения, дающие образцы грунта в виде столбика керна, которые рекомендуется применять при инженерно-геологической съемке крупного масштаба и разведке. На начальных этапах изысканий в зависимости от характера решаемых задач могут быть использованы медленновращательный и шнековый способы.

Колонковый способ

3.3. Колонковый способ обеспечивает бурение инженерно-геологических скважин диаметром от 33 до 168 мм, глубиной до 100 м и более почти во всех разновидностях грунтов, являясь единственным способом бурения скальных грунтов.

При инженерно-геологических изысканиях используется колонковое бурение «всухую» с промывкой водой или глинистым раствором, с продувкой сжатым воздухом.

3.4. Колонковое бурение «всухую» следует использовать для проходки скважин диаметром 108—219 мм, глубиной до 30 м в глинистых и песчаных слабообводненных грунтах, устойчивых в стенках скважин, а также в мерзлых грунтах. Менее эффективно оно может быть использовано для бурения скважин в рыхлых обводненных грунтах (песчаных).

3.5. Бурение «всухую» рекомендуется осуществлять обычными ребристыми твердосплавными коронками при скорости вращения снаряда не более 60—80 об/мин, при равномерном давлении на забой. Величина рейса не должна превышать 40—50 см; в случае полного отсутствия жидкости в скважине, а также при проходке мерзлых грунтов углубление за рейс следует ограничивать 20—30 см.

Бурение «всухую» происходит наиболее эффективно при наличии в скважине подземных вод или при подливе в скважину воды, а также при интенсивном расхаживании снаряда, однако в этом случае столбик грунта значительно деформируется.

3.6. При колонковом бурении «всухую» граница между слоями грунта в геологическом разрезе, устанавливаемом по керну, может быть зафиксирована с точностью, находящейся в пределах 0,25—0,50 м, при этом могут быть пропущены отдельные слои грунта со средней мощностью до 0,25 м.

3.7. При колонковом бурении «всухую» получают образцы грунта с несколько нарушенной структурой и естественной влажностью за счет скручивания и растяжения керна, а также нагревания грунта.

Для отбора образцов грунта ненарушенной структуры из глинистых грунтов твердой и тугопластичной консистенции, плотных песчаных грунтов, а также мерзлых глинистых грунтов рекомендуется использовать грунтоносы обуривающего типа (конструкции Томгипротранса), а также шнеково-колонковые буры. Режим бурения устанавливают следующий: давление на забой 20—50 кГ, скорость вращения — 30—60 об/мин.

3.8. Колонковое бурение «всухую» характеризуется самыми низкими показателями механической и рейсовой скорости бурения по сравнению с другими способами проходки инженерно-геологических скважин.

Среднесменная производительность этого способа бурения при реализации его на установке СБУДм-150-ЗИВ составляет 12 м/см.

3.9. Колонковое бурение с промывкой при инженерно-геологических изысканиях следует использовать в основном для проходки скважин глубиной до 100 м и более в скальных и полускальных грунтах, в отдельных случаях — для проходки песчаных и глинистых грунтов.

3.10. Колонковое бурение в скальных и полускальных грунтах рекомендуется осуществлять твердосплавным, алмазным или дробовым породоразрушающим инструментом, в качестве промывочной жидкости — использовать воду или глинистый раствор.

При бурении скальных монолитных грунтов высокой крепости (VII—XII категории по буримости) следует использовать алмазный или дробовый породоразрушающий инструмент, в качестве промывочной жидкости — воду; при бурении полускальных и скальных грунтов, монолитных или трещиноватых, малой и средней крепости (до VII—VIII категории по буримости) — твердосплавный породоразрушающий инструмент; в качестве промывочной жидкости — глинистый раствор, в некоторых случаях — воду; при бурении нескальных грунтов (песчаных и глинистых) — твердосплавный породоразрушающий инструмент, в качестве промывочной жидкости — глинистый раствор.

3.11. Колонковое бурение с промывкой в нескальных грунтах, представленных глинистыми и песчаными разностями, дает неудовлетворительные результаты по качеству инженерно-геологической документации в связи с недостаточным выходом керна, изменением химического и минералогического состава грунтов вследствие воздействия промывочной жидкости. При бурении с промывкой нельзя своевременно и правильно установить глубину появления воды, примешивание нагнетаемой промывочной жидкости искажает химический состав воды водоносного горизонта. Использование в качестве

промывочной жидкости глинистого раствора приводит к кальматации трещин, а порой — и к пропуску при документации безнапорных водоносных горизонтов.

Колонковое бурение с промывкой дает хорошие результаты по качеству инженерно-геологической документации при проходке полускальных и скальных грунтов.

3.12. Для лучшего сохранения керна и повышения процента выхода керна при колонковом бурении следует применять рациональные конструкции бурового снаряда и выбирать оптимальные режимы бурения (давление на инструмент — P, кгс, число оборотов снаряда — n, об/мин; расход промывочной жидкости — Q, л/мин).

При бурении скважин в трещиноватых скальных и полускальных грунтах рекомендуется использовать двойные колонковые трубы или эжекторные колонковые снаряды.

3.13. Рекомендуемые режимы бурения твердосплавными коронками приведены в следующей таблице.

Категория грунтов по буримости	Диаметры бурения, мм							
	76		93		112		132	
	n	P	n	P	n	P	n	P
I—IV	400	500	300	600	250	700	200	800
IV—V	500	600	300	800	250	900	200	100
VI—VIII	400	1300	250	1600	250	2000	—	—

При бурении рыхлых, слабосвязных грунтов I—IV категории по буримости (глинистые и песчаные) рекомендуется применять небольшие нагрузки на коронку с целью улучшения условий удаления шлама из-под торца коронки и обеспечения лучшей сохранности керна.

По мере увеличения диаметра бурения следует снижать окружную скорость вращения инструмента при соответствующем увеличении удельной нагрузки на резец. Это способствует созданию более спокойных условий работы снаряда и оборудования.

Кроме того, для лучшего сохранения керна целесообразно уменьшать величину зазора между буровым снарядом и стенками скважины, а также увеличивать длину снаряда.

3.14. При бурении с промывкой следует использовать обратную циркуляцию промывочной жидкости, способствующую увеличению выхода керна, уменьшению самозаклинок, повышению механической скорости бурения и проходки за рейс. При этом расход промывочной жидкости должен составлять:

при диаметре бурения 132 мм . . . . . 70—80 л/мин
,, ,, 112 ,, ... 50—60 ,,
,, ,, 92 ,, ... 40—45 ,,

3.15. Сохранность сложения и влажности грунтов при бурении колонковым способом с промывкой в значительной мере зависит от качества промывочной жидкости и главным образом от показателя водоотдачи. Чем меньше величина водоотдачи раствора, тем более благоприятные условия создаются для сохранения естественного состояния грунта.

При проходке скальных и полускальных грунтов сильнотрещиноватых и рассланцованных следует использовать глинистый раствор, имеющий следующие показатели:

вязкость по СПВ-5 $T=30$—35 с, водоотдачу $B=18$—20 см³ за 30 мин, удельный вес $\gamma=1{,}15$—1,20 Г/см³, содержание песка не более 4%; при проходке глинистых грунтов: вязкость $T=30$—35 с, водоотдачу $B=4$—5 см³ за 30 мин, удельный вес не менее 1,20 Г/см³ и содержание песка не более 4%.

3.16. *Длина рейса при колонковом бурении должна определяться* степенью сохранности керна, твердостью грунта и износостойкостью *породоразрушающего инструмента.*

3.17. При бурении скважин глубиной до 25—30 м в песчаных и глинистых грунтах станками, предназначенными для проходки скважин глубиной до 100 м и более (СБУДм-150-ЗИВ, СБУЭм-150-ЗИВ, УРБ-2А), колонковый способ бурения с промывкой имеет самые низкие скорости бурения. В этом же случае не эффективно используется мощность двигателей, характеризующихся высокой энергоемкостью.

С увеличением глубины бурения эффективность использования мощности повышается. При глубине скважин более 50 м, а также в случае наличия скальных грунтов колонковое бурение с промывкой (продувкой) является единственным способом проходки инженерно-геологических скважин.

3.18. *Колонковое бурение с продувкой* рекомендуется осуществлять при проходке скважин глубиной свыше 30 м в необводненных, устойчивых в стенках скважин грунтах, трещиноватых скальных и полускальных грунтах, где обеспечение нормальной циркуляции промывочной жидкости практически невозможно, в мерзлых грунтах; в пустынных и засушливых местностях, в условиях бездорожья, труднодоступных и горных районах, где водоснабжение связано с большими затратами времени, сил, средств. Бурение скважин с продувкой воздухом по сравнению с промывкой имеет ряд преимуществ: более высокую механическую скорость бурения, увеличенную проходку на породоразрушающий инструмент, улучшенные условия труда буровой бригады (особенно в зимнее время и в северных районах). Кроме того, бурение с продувкой в грунтах, естественная структура которых нарушается от контакта с водным раствором, предотвращает размыв стенок скважин и образование обвалов.

3.19. Реализация колонкового бурения в различных конструкциях буровых станков и установок (передвижных — УПБ-25; самоходных — УГБ-50М, СБУДм-150-ЗИВ, СБУЭм-150-ЗИВ, УРБ-2А и др.; стационарных — ЗИФ-300М; стационарных разборных на транспортные блоки — БСК-2М-100) дает возможность использовать этот способ в самых разнообразных условиях по сложности доставки и транспортирования бурового оборудования.

Гидравлическая система подачи бурового инструмента на забой, которой обеспечены многие буровые станки колонкового бурения (УГБ-50М, ЗИФ-300М, БСК-2М-100 и др.), позволяет успешно их использовать при бурении скважин в карстовых районах.

При использовании буровых установок колонкового бурения последние целесообразно комплектовать контрольно-измерительной аппаратурой для регистрации основных параметров процесса бурения (аппаратура типа ИРБ-5А, ПКМ, ГП-18).

Для определения баланса циркулирующей жидкости целесообразно использовать электромагнитные датчики расхода промывочной жидкости, входящие в комплект аппаратуры ИРБ-5А и ПКМ, а также электромагнитные расходомеры типа ЭМР-1.

3.20. При колонковом бурении отбор монолитов может быть осуществлен вращательным, обуривающим и вдавливающим способами, что позволяет отбирать их из большинства разновидностей грунтов (скальных, песчаных, глинистых, мерзлых)

Ударно-канатный кольцевым забоем

3.21. Ударно-канатный способ бурения кольцевым забоем обеспечивает проходку скважин инженерно-геологического назначения диаметром от 89 до 273 мм, а также скважин большого диаметра (560 мм и более), глубиной до 30 м и более в глинистых и песчаных грунтах, устойчивых и неустойчивых в стенках буровых скважин. Этот способ может быть успешно использован при бурении пластично-мерзлых грунтов и некоторых разновидностей крупнообломочных грунтов.

Различают «клюющую» и забивную разновидности ударно-канатного бурения кольцевым забоем.

3.22. Ударно-канатное бурение кольцевым забоем обеспечивает достаточно качественную инженерно-геологическую документацию. Образцы грунта при этом способе бурения получают в виде столбика керна, что позволяет с удовлетворительной точностью фиксировать положение слоев грунта (точность находится в пределах 0,25—0,50 м), при этом могут быть пропущены отдельные слои грунта со средней мощностью до 0,20 м. Наилучшие показатели по точности фиксации слоев грунта в геологическом разрезе этот способ бурения обеспечивает в увлажненных песчаных грунтах, в глинистых грунтах, кроме мягко- и текучепластичной консистенции. При проходке илистых грунтов, торфов, глинистых грунтов мягкопластичной консистенции и сухих песков точность этого способа снижается.

3.23. С целью повышения точности фиксации положения границ слоев грунта в геологическом разрезе, устанавливаемом по буровой скважине, рекомендуется увеличивать длину рейса при ударно-канатном бурении кольцевым забоем до 0,5 м и более.

С учетом оптимальной длины рейса рекомендуется использовать буровые наконечники длиной 0,85 м и более с возможно меньшей толщиной стенки башмака, имеющего наружную заточку.

При установлении границ слоев в геологическом разрезе следует учитывать удлинение керна при бурении глинистых грунтов, которое составляет около 15% при использовании наконечника диаметром 146 мм, при наконечнике диаметром 127 мм это увеличение равно 20%.

Для оценки увеличения длины поднятого керна по сравнению с длиной рейса рекомендуется использовать забивные стаканы, снабженные линейкой, расположенной около прорези стакана.

3.24. Под действием удара при бурении ударно-канатным способом сложение некоторых связных грунтов (илов, мягкопластичных супесей, суглинков) полностью нарушается и грунт извлекается в виде жидкой массы, что не дает правильного представления о его структуре.

При бурении скважин этим способом отбор монолитов следует

производить одноударной или многократной забивкой грунтоноса в грунт.

В соответствии с ГОСТ 12071—72 «Грунты. Отбор, упаковка, хранение и транспортирование образцов» отбор монолитов этими способами допускается производить из глин с коэффициентом пористости $\varepsilon < 1{,}1$; суглинков $\varepsilon < 0{,}9$; супесей $\varepsilon < 0{,}7$ при показателе консистенции $B < 1$.

3.25. Отбор монолитов одноударным способом рекомендуется производить тонкостенными грунтоносами типа Д-1 и Д-2.

Опыт отбора монолитов одноударным способом свидетельствует о том, что он обеспечивает отбор вполне удовлетворительных монолитов из лёссов и лёссовидных суглинков. При этом происходит незначительное уплотнение грунта и некоторое уменьшение относительной просадочности, остальные показатели физико-механических свойств существенных изменений не претерпевают.

Отбор монолитов одноударным способом следует производить с соблюдением следующих условий:

падение снаряда должно происходить без поперечных раскачиваний.

полугильзы керноприемника должны быть зажаты между переходником и внутренним буртом в строго фиксированном положении (нахлестка полустаканов приводит к их деформации и нарушению монолита);

желательно усиливать башмак грунтоноса твердым сплавом с целью увеличения срока службы грунтоноса.

3.26. Клюющее бурение рекомендуется использовать при проходке скважин диаметром от 89 до 168 мм, а также скважин большого диаметра (560 мм и более) глубиной до 30 м в увлажненных песчаных и глинистых грунтах, устойчивых в стенках буровых скважин, а также в лёссах и лёссовидных суглинках.

3.27. Производительность «клюющего» бурения во многом зависит от выбора рационального бурового наконечника при проходке того или иного вида грунтов, оптимальных технологических параметров процесса бурения, от степени механизации и ускорения процесса очистки забивных стаканов.

3.28. При бурении скважин диаметром до 146 мм в глинистых грунтах следует использовать обычные забивные стаканы, в этом случае грунт достаточно хорошо удерживается в стакане при его подъеме. При больших диаметрах следует использовать стаканы, разделенные пополам внутренней вставкой, что способствует лучшему удержанию грунта в стакане при его подъеме.

При бурении увлажненных песчаных грунтов такие стаканы рекомендуется использовать, начиная с диаметра 108 мм. При бурении большого диаметра (560 мм и более) рекомендуется использовать специальные буровые стаканы ячеистой конструкции.

3.29. С целью увеличения эффективности внедрения наконечника в грунт необходимо стремиться к использованию более тяжелого инструмента. Оптимальной высотой сбрасывания инструмента при бурении скважин большого диаметра (более 500 мм) является 6—7 м, при бурении скважин диаметром менее 200 мм — 8—10 м.

3.30. С целью рационального расхода энергии падающего бурового снаряда, исключения засорения образца разрыхленным грунтом с вышележащих горизонтов, особенно при бурении слабоустойчивых в стенках буровых скважин грунтов, необходимо добиваться падения снаряда по скважине без раскачивания, для чего перед сбрасы-

ванием буровой снаряд должен быть приведен в строго фиксированное положение. Выполнение такой операции вручную является весьма трудоемким процессом. С целью стабилизации положения бурового инструмента перед сбрасыванием предлагается оснащать буровые установки устройством, обеспечивающим строго фиксированное положение снаряда.

3.31. Для ускорения и механизации процесса очистки забивных стаканов рекомендуется использовать стаканы с большим углом выреза (до 140—150°), разъемные и поршневые стаканы.

3.32. «Клюющее» бурение при проходке скважин глубиной до 10—15 м в песчаных грунтах с небольшим включением крупнообломочного материала, в слабоуплотненных супесях различной влажности, а также при проходке скважин глубиной от 10—15 до 30 м в пластичных глинистых грунтах невысокой плотности, в лёссах и лёссовидных суглинках является самым производительным способом бурения.

В пластичных глинистых грунтах невысокой плотности, в тугопластичных и твердых плотных глинах и моренных суглинках с небольшим содержанием крупнообломочного материала при глубине бурения до 10—15 м этот способ по производительности уступает только вибрационному.

При бурении грунтов, неустойчивых в стенках скважины (сухих и водонасыщенных песков, дресвы, гравийно-галечниковых отложений), клюющее бурение по производительности уступает только забивному с механизированной посадкой обсадных труб.

Производительность «клюющего» способа бурения достигает 25—30 м в смену при глубине скважин до 30 м.

3.33. Забивной способ рекомендуется использовать при бурении скважин диаметром до 273 мм, глубиной до 30 м и более во всех разновидностях песчаных и глинистых грунтов, а также в несвязных крупнообломочных грунтах.

При проходке грунтов, неустойчивых в стенках буровых скважин, представленных песками сухими и водонасыщенными вплоть до плывунов, несцементированной дресвой, гравийно-галечниковыми отложениями, рекомендуется использовать забивное бурение с одновременной либо опережающей обсадкой скважин трубами.

3.34. Погружение обсадных труб следует осуществлять путем вибрации, расхаживания или вращением с одновременным задавливанием.

Вибрационное погружение обсадных труб рекомендуется использовать при бурении песчаных грунтов.

Особенно эффективно в этом случае применение вибраторов и вибромолотов, имеющих центральное проходное отверстие (ВГ-6, С-835, ВО-10 и др.). Наличие отверстия позволяет вести погружение труб с одновременным бурением, что дает возможность эффективно проходить скважины в песчаных породах.

Метод задавливания обсадных труб с одновременным их вращением рекомендуется использовать при бурении скважин трубами диаметром до 219 мм. Для этого следует использовать установки, оборудованные подвижными вращателями (установка УБР-1а); при больших диаметрах использовать механизмы расхаживания труб (установки БУГ-100).

3.35. При бурении забивным способом рекомендуется использовать автоматический подъем и сбрасывание инструмента на забой, для чего желательно оснащать установки ударно-канатного бурения

устройством, автоматизирующим процесс ударно-канатного бурения (разработано Энергосетьпроектом).

3.36. Забивной способ бурения является самым производительным при проходке скважин глубиной от 10—15 до 30 м в песчаных грунтах различной влажности и насыщенности крупнообломочным материалом, в тугопластичных и твердых глинах, моренных суглинках с различным содержанием крупнообломочного материала, а также при проходке скважин глубиной до 30 м и более в неустойчивых в стенках скважины грунтах.

3.37. Ударно-канатное бурение кольцевым забоем реализуется в различных конструкциях буровых станков и установок, отличающихся своими параметрами и транспортной базой: станки на одноосном колесном ходу — Д-5-25, БУКС-ЛГТ, УБП-15М; самоходные установки — УГБ-50М, АВБ-2М и др.; стационарные станки — БУГ-100 и др., что обеспечивает возможность использования этого способа бурения в самых разнообразных условиях по сложности доставки и транспортированию оборудования.

В конструктивном и эксплуатационном отношениях специализированные буровые станки, реализующие этот способ бурения, отличаются простотой и высокой надежностью в работе. Основным рабочим органом этих станков является планетарная или фрикционная лебедка, привод которой осуществляется бензодвигателем через клиноременную или цепную передачу.

Ударно-канатное бурение кольцевым забоем является наименее энергоемким и металлоемким способом из всех, используемых при инженерно-геологических изысканиях.

Станки ударно-канатного бурения в песчаных и глинистых грунтах способны обеспечить производительность до 35 м в смену.

Вибрационное бурение

3.38. Вибрационное бурение обеспечивает проходку скважин диаметром 89—168 мм, глубиной до 20—25 м в глинистых и песчаных грунтах, устойчивых в стенках буровых скважин. Рациональная глубина бурения 15 м.

3.39. Вибрационное бурение обеспечивает получение качественной инженерно-геологической документации. При проходке скважин с целью установления геологического разреза вибробурение дает наиболее точные данные о строении исследуемых толщ по сравнению с другими способами. Этот способ позволяет получать сведения о геологическом разрезе с ошибкой в определении положения границы между слоями, не превышающей 0,25 м, при этом могут быть пропущены слои грунта, имеющие в среднем мощность 0,1 м.

При бурении водонасыщенных грунтов типа плывунов в процессе вибрации изменяется плотность грунта, нарушаются внутренние связи, перераспределяются частицы с различным удельным весом, а тяжелые частицы выпадают из взвеси, в силу чего резко снижается точность документации.

3.40. С целью повышения точности фиксации положения слоев в геологическом разрезе по буровой скважине рекомендуется увеличивать длину рейса при вибробурении до 2 м и более. С учетом длины рейса рекомендуется использовать буровой наконечник длиной 3 м и более.

3.41. При отборе монолитов вибрационным способом вибрационное воздействие приводит к нарушению структуры грунта и частич-

ному искажению его физико-механических свойств в большей степени, чем другие виды воздействия.

Вибрационный способ допускается при отборе монолитов из глин с коэффициентом пористости $\varepsilon < 1{,}1$; суглинков с $\varepsilon < 0{,}9$; супесей с $\varepsilon < 0{,}7$ при показателе консистенции $B < 1$.

3.42. Для эффективной проходки скважины вибрационным способом необходимо поддерживать оптимальный режим работы вибратора и соблюдать технические режимы бурения.

В плотных маловлажных грунтах погружение зонда должно осуществляться при большой величине отскока ударной массы и малой частоте ударов, в слабых обводненных грунтах — при небольшой величине отскока и большом числе ударов. При значительных объемах бурения в песчаных грунтах целесообразно перейти на чисто вибрационный режим работы вибропогружателя.

3.43. Оптимальный режим работы вибропогружателя может быть достигнут только изменением скорости вращения дебалансов.

В вибропогружателе с приводом от двигателя внутреннего сгорания последний достигается небольшим изменением скорости вращения приводного двигателя. При этом, в частности при работе на агрегате АВБ-2М, необходимо следить за тем, чтобы напряжение в сети находилось в пределах 350—420 В, а частота тока 45—55 Гц.

3.44. Длину рейса при вибробурении следует устанавливать на 15—20% меньше предельной величины погружения виброзонда.

В зависимости от глубины скважины, свойств проходимых грунтов, диаметра используемого зонда длина рейса может находиться в пределах от 0,5 до 3 м. Длину рейса следует снижать по мере увеличения глубины скважины. При одинаковой буримости грунтов длина рейса на глубине 10 м должна быть меньше первоначальной примерно в 2 раза и составлять от 0,6 до 1,2 м.

Вибрационное воздействие на виброзонд исходя из условий опробования допускается в песчаных грунтах не более 2—3 мин, в глинистых — не более 5—7 мин.

3.45. При бурении скважин глубиной до 15—20 м в случае отсутствия в скважине воды целесообразно вместо ударного патрона на вибраторе использовать призабойный ударный патрон, размещенный непосредственно над зондом. Для этого может быть использован ударный патрон для забивного бурения (из комплекта к установке УБП-15М или БУГ-100). В этом случае вибратор должен быть переоборудован как для чистого бурения.

3.46. Для ликвидации нередко образующихся в зонде грунтовых «пробок», вызывающих резкое снижение механической скорости бурения, а подчас и прекращение углубки, рекомендуется пробивать их путем подъема бурового снаряда на некоторую высоту и свободного сбрасывания его на забой скважины с одновременным включением в работу вибратора.

3.47. Для ускорения и снижения трудоемкости процесса очистки буровых наконечников при вибрационном бурении следует использовать разъемные и поршневые стаканы.

При проходке песчаных необводненных или слабообводненных грунтов для очистки бурового наконечника после документации может быть использовано вибрирование инструмента, свободно подвешенного на канате.

3.48. При вибробурении целесообразно ориентироваться на применение возможно более жестких бурильных труб, которые снижают влияние глубины на эффект воздействия вибрации.

3.49. Наилучшей буримостью при вибробурении обладают пластичные глинистые грунты, худшей — сухие, плотные, тугопластичные и твердые глины и сухие пески.

При бурении скважин глубиной до 10—15 м в пластичных глинистых грунтах невысокой плотности, а также в тугопластичных и твердых плотных глинах, моренных суглинках с небольшим включением крупнообломочного материала вибрационный способ бурения по производительности превосходит все другие способы.

Производительность вибрационного бурения существенно снижается с увеличением глубины и диаметра бурения.

3.50. Вибробурение реализуется в основном на самоходных буровых установках (АВБ-2М, ВБУ-63, СВБУ-ЛГВХ).

Реализация способа на самоходных буровых установках позволяет весьма производительно использовать его при производстве изысканий в условиях, доступных подъезду автотранспорта.

3.51. Станки вибрационного бурения способны обеспечить производительность до 60 м в смену при глубине бурения до 10—15 м. Выработка на установку в год может достигать 9000 м бурения.

3.52. Вибрационный способ характеризуется большими энергозатратами, высокой металлоемкостью и энерговооруженностью.

Основным рабочим органом вибробуровых установок является вибратор или вибромолот с приводом от одного до двух электродвигателей мощностью 4,5—7 кВт. Электроэнергию для привода электродвигателей вибропогружателей вырабатывают генераторы мощностью 12—28 кВт, привод которых осуществляется от транспортных двигателей установок.

Медленновращательное бурение

3.53. Медленновращательное бурение обеспечивает бурение скважин диаметром от 70 до 650 мм и более на глубину до 30 м в нескальных грунтах. Одним из достоинств медленновращательного бурения является возможность проходки скважин большого диаметра.

Этот способ бурения практически не пригоден для проходки неустойчивых в стенках скважины грунтов, представленных сухими и водонасыщенными песками, а также несцементированными гравийно-галечниковыми отложениями, так как проходимый грунт не может быть доставлен на поверхность.

3.54. Медленновращательное бурение обеспечивает низкое качество инженерно-геологической документации. Граница между слоями грунта в геологическом разрезе, устанавливаемом по образцам грунта при этом способе бурения, может быть зафиксирована с ошибкой, равной 0,50—0,75 м, при этом могут быть пропущены отдельные слои грунта со средней мощностью до 0,3 м.

Образцы грунтов, отобранные при этом способе бурения, позволяют определить лишь литологический разрез и совершенно не пригодны для исследований, требующих ненарушенного сложения грунта.

Отбор монолитов при медленновращательном бурении следует производить грунтоносами обуривающего и вдавливающего типа.

3.55. Медленновращательное бурение осуществляется буровым инструментом для ручного ударно-вращательного бурения (спиральные ложковые буры и т. д.), при бурении скважин большого диаметра — специальными бурами ложкового и шнекового типов.

3.56. В зависимости от вида проходимых грунтов при медленновращательном бурении рекомендуется использовать тот или иной тип бурового наконечника.

3.57. При бурении в глинистых пластичных грунтах следует использовать спиральные буры типа змеевиков, шнеков или цилиндрических спиралей.

Спиральные буры позволяют вести бурение с увеличенной длиной рейса, составляющей 0,8—1 м. При использовании спирального бура рекомендуется длину рейса устанавливать равной 0,5—0,7 длины бура. Превышение длины рейса приводит к образованию сальников над буром, что резко увеличивает усилие, необходимое для извлечения снаряда из скважины, а в ряде случаев к прихвату инструмента.

3.58. При проходке рыхлых грунтов различной влажности и насыщенности крупнообломочным материалом рекомендуется использовать ложковые буры, имеющие режущее лезвие, направленное под острым углом к забою и срезающее слой грунта, равный углубке за один оборот.

Применение ложковых буров обеспечивает минимальную скорость бурения.

Длину рейса при использовании ложковых буров рекомендуется устанавливать не более 0,2—0,4 м.

3.59. Медленновращательное бурение следует осуществлять при скорости вращения бурового инструмента 20—80 об/мин.

При использовании спиральных буров целесообразно вести бурение при повышенных скоростях вращения инструмента; при использовании ложковых буров предпочтительно увеличивать давление на забой.

3.60. Медленновращательное бурение обеспечивает сравнительно невысокую сменную производительность, достигающую 15 м в смену. Особенно низка производительность этого способа бурения при проходке скважин в слабоустойчивых в стенках скважины грунтах.

3.61. Медленновращательное бурение реализуется на буровых станках и установках вращательного и комбинированного бурения (УГБ-50М, СБУДм-150-ЗИВ, УРБ-2А и др.). Единственным требованием к установкам, которые могут быть использованы для бурения этим способом, является наличие вращателя с достаточно высоким крутящим моментом ($M_{кр} \geqslant 100$ кГ·м). Специализированной установкой медленновращательного бурения является установка УРБ-1а.

Шнековое бурение

3.62. Шнековое бурение обеспечивает проходку скважин диаметром 70—230 мм, глубиной до 30 м и более в нескальных грунтах при отсутствии в разрезе крупных валунов. Наиболее эффективно этот способ бурения используется в мягких, устойчивых в стенках буровых скважин грунтах. Неэффективно использование этого способа бурения при проходке плотных глинистых грунтов, а также валунно-галечниковых отложений.

При инженерно-геологических изысканиях бурение скважин шнековым способом осуществляется сплошным и кольцевым забоем. Бурение сплошным забоем производится непрерывным рейсом (поточное бурение), рейсовыми заходками (рейсовое бурение) и завинчиванием.

3.63. Одним из серьезных недостатков шнекового бурения является трудность проведения качественной геологической документации. Наиболее неудовлетворительный материал для геологической документации дает шнековое поточное бурение, так как оно не позволяет точно определить глубину залегания определенных слоев грунта, кроме того, доставляемый на поверхность грунт деформирован и сильно перемешан. Ошибка в определении границ между слоями грунта в геологическом разрезе, устанавливаемом по скважине, при использовании этого способа превышает 0,75 м, при этом могут быть пропущены отдельные слои грунта со средней мощностью до 0,50 м.

Шнековое рейсовое бурение позволяет определять границы между слоями грунта в геологическом разрезе с ошибкой, находящейся в пределах 0,50—0,75 м; т. е. также обеспечивает низкую точность инженерно-геологической документации.

3.64. Шнековое рейсовое бурение следует использовать при проходке пластичных и тугопластичных глинистых грунтов.

При проходке толщ очень слабых грунтов (оплывающие водоносные пески, пески-плывуны, глинистые грунты текучей консистенции, слабые торфы, илы и т. д.) и подстилающих их плотных грунтов следует переходить на винтовое бурение, отличающееся от рейсового бурения тем, что спиральное долото со шнековой колонной завинчивают как винт на такую глубину, при которой колонну без вращения можно извлечь из скважины с помощью лебедки станка. Шнековое бурение характеризуется высокой сменной производительностью, достигающей 50—60 м/см.

3.65. Шнековое бурение реализуется в станках различной конструкции и модификации (от переносных — Д-10М, М-1, ПБУ-10, УБП-25, ПВБСм-15 — до самоходных: УГБ-50М, УШБ-16), что значительно расширяет область его применения.

Комбинированные способы бурения

3.66. Повышение производительности эффективности буровых работ может быть достигнуто за счет рационального сочетания различных способов бурения. Такое сочетание в ряде случаев (особенно при наличии пестрых геологических разрезов с перемежающимися слоями грунта, отличающимися физико-механическими свойствами) является не только рациональным, но и неизбежным.

3.67. При бурении несвязных, неустойчивых в стенках буровых скважин грунтов (песчаные и крупнообломочные сухие и водонасыщенные) хорошие показатели дает сочетание медленновращательного и ударно-канатного бурения с одновременной или опережающей посадкой обсадных труб.

Подобное сочетание по сравнению с другими комбинациями способов бурения в указанных грунтах обеспечивает высокую производительность и удовлетворительное качество опробования при бурении скважин диаметром до 219 мм и более, глубиной до 50 м.

3.68. При бурении скважин в районах распространения мерзлых грунтов ввиду наличия подмерзлотных водоносных горизонтов целесообразно применять колонковый способ бурения «всухую» в комбинации с ударно-канатным.

3.69. Достаточно эффективна комбинация ударно-канатного бурения с колонковым за счет придания буровым установкам откидных вращателей. Наличие последних позволяет бурить прослои твердых

грунтов и добуривать скважины в скальных грунтах колонковым способом.

3.70. Вибрационное бурение целесообразно сочетать с ударно-канатным, что обеспечивает возможность эффективного бурения скважин глубиной более 25 м с пересечением неустойчивых грунтов (особенно песчаных, крупнообломочных) и плотных глин. В этом случае при бурении неустойчивых песчаных грунтов погружение и извлечение обсадных труб может производиться с помощью вибромолотов. Особенно эффективно применение вибромолотов, имеющих центральное проходное отверстие.

Опыт работы ряда организаций (УкрГИИНТИЗ, ХарьковГИИНТИЗ и др.) свидетельствует о том, что эффективность использования виброустановок может быть повышена за счет доукомплектования их планетарными лебедками, электродвигателем и дополнительным блочком, что позволит производить бурение ударно-канатным способом.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН*

4.1. Эффективность способов бурения оценивается в зависимости от условий его использования по трем факторам: инженерно-геологическому, техническому, экономическому.

4.2. Инженерно-геологические факторы определяют инженерно-геологическую информативность способа бурения, которая является определяющей при бурении скважин инженерно-геологического назначения. К ним относятся точность отражения геологического разреза, представительность описания разреза, возможность отбора качественных монолитов, возможность качественного проведения опытных работ.

4.3. Под точностью отражения геологического разреза понимается точность фиксации положения слоев грунта при описании разреза по образцам грунта, полученным в виде керна (шлама) при использовании того или иного способа бурения по сравнению с разрезом, устанавливаемым по шурфу, либо обнажению грунтов.

4.4. Критериями точности отражения геологического разреза служат количественные характеристики, среднеарифметическая ошибка определения глубины залегания границ слоев грунта, среднеквадратичное отклонение этой ошибки, показатель неполноты отражения геологического разреза и средняя мощность пропущенного слоя.

4.5. Среднеарифметическая ошибка определения положения границы слоев грунта ($\overline{X}$) характеризует закономерную величину ее смещения, присущую определенному способу бурения, и определяется формулой

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n},$$

---

* Пример опытно-производственной оценки эффективности различных способов бурения инженерно-геологических скважин дан в приложении.

где x_i — разница между индивидуальным замером положения границы слоев по скважине и по шурфу;

n — число индивидуальных замеров (объем выработки).

4.6. Среднеквадратичное отклонение этой ошибки σ характеризует случайную составляющую смещения границы и определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\overline{X} - x_i)^2}{n-1}}.$$

4.7. Показатель неполноты отражения геологического разреза $K_п$ характеризует количество пропущенных слоев грунта в разрезе, устанавливаемое при бурении скважины, по отношению к эталонному. Определяется по формуле

$$K_п = \frac{N_п}{N_о},$$

где $N_п$ — число пропущенных слоев;

$N_о$ — общее число пересеченных слоев.

Средняя мощность пропущенного слоя определяется по формуле

$$m_п = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_{п\,i}}{n},$$

где $m_{пi}$ — мощность единичного пропущенного слоя;

n — количество пропущенных слоев.

4.8. Понятие «точность отражения разреза» следует дополнять качественной характеристикой, отражающей состояние извлекаемого на поверхность грунта (в виде столбика керна при вибрационном, колонковом и других способах, в виде перемятых комков и кусков грунта — при шнековом). Эта качественная характеристика существенно влияет на точность фиксации границ между слоями грунта.

4.9. Под представительностью понимается возможность достаточно полного и точного описания по керну текстурных и структурных особенностей грунта в массиве.

В качестве меры представительности может служить условная точность визуальной оценки природных свойств грунта в массиве по керну, полученному при бурении.

Точность оценки природных свойств грунта может быть выражена отношением

$$M_{пр} = \frac{C}{\overline{X}_{св}},$$

где C — истинное свойство грунта в массиве, выражаемое в различных показателях в зависимости от характера свойства;

$\overline{X}_{св}$ — среднеарифметическое значение количественной оценки свойств грунта по керну,

$$\overline{X}_{св} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

(x_i — индивидуальное значение количественной оценки свойств грунта по керну; n — число наблюдений).

4.10. Дополнительной мерой, характеризующей возможный разброс индивидуальных значений свойств, является среднеквадратичное отклонение σ, которое также необходимо учитывать при оценке представительности описания разреза.

4.11. Представительность описания разреза определяется в первую очередь достаточным объемом грунта в получаемом при бурении керне, который зависит от диаметра бурения. Количественные оценки представительности могут быть получены путем постановки натурных наблюдений и с помощью физического моделирования.

4.12. Отбор образцов грунта ненарушенной структуры (монолитов) для определения физико-механических свойств грунтов является одной из важнейших задач инженерно-геологического опробования, вследствие чего возможность отбора монолитов при использовании того или иного способа проходки буровых скважин представляет существенный фактор, определяющий эффективность способа бурения.

Отбор монолитов из буровых скважин в зависимости от свойств грунтов производят грунтоносами, отличающимися конструктивными особенностями и способом погружения. В связи с этим буровая установка, используемая на бурении скважин тем или иным способом, должна обеспечивать оптимальные режимы погружения грунтоноса, в свою очередь обеспечивающие качественный отбор монолитов.

Под возможностью качественного отбора монолитов при использовании того или иного способа бурения понимается возможность способа обеспечить технологические приемы отбора монолитов из различных по своим физико-механическим свойствам грунтов, в соответствии с требованиями ГОСТ 12071—72.

4.13. Инженерно-геологическая информация о свойствах грунтов и строении исследуемого разреза может быть получена также с помощью полевых опытных работ, выполняемых в буровых скважинах, в связи с чем бурение следует производить с использованием таких способов и технологии, которые обеспечивают качественное проведение в буровых скважинах опытных работ, обеспечивающее точность получаемых данных.

Под возможностью качественного проведения опытных работ в буровых скважинах понимается возможность способа обеспечить проходку скважин необходимого в зависимости от вида опытных работ диаметра и глубины. При этом технология бурения должна обеспечить получение скважины с соблюдением требований, предъявляемых к ним характером последующих опытных работ.

4.14. Техническую эффективность способа бурения рекомендуется оценивать производительностью, универсальностью способа, транспортабельностью бурового оборудования, реализующего способ бурения, энергоемкостью и металлоемкостью этого оборудования.

4.15. Производительность способа бурения в первую очередь определяет его техническую эффективность.

Объективным критерием для сравнения способов бурения по производительности могут служить достигнутая среднесменная производительность и выработка на установку в год (при использовании рассматриваемого способа). Кроме того, вспомогательными критериями оценки способов бурения по производительности могут служить механическая и рейсовая скорости бурения, а также данные

о распределении затрат времени на производство отдельных операций в процессе бурения.

Величина рейсовой скорости и ее изменение под влиянием различных внешних факторов могут характеризовать технологические возможности способа в данных условиях, поскольку отражают различные стороны процесса бурения скважины.

Баланс затрат рабочего времени при бурении скважин позволяет судить о специфике отдельного способа бурения и особенностях оборудования.

4.16. Универсальность способа бурения следует оценивать по возможности его использования для бурения скважин различных диаметров и глубин в разнообразных грунтах, отличающихся физико-механическими свойствами, т. е. технологическими возможностями способа.

Технологические возможности различных способов бурения следует рассматривать применительно к группам пород, объединяемых определенными структурными и текстурными особенностями и физико-механическими свойствами, а также в зависимости от диаметра и глубины бурения, что определяется назначением скважин.

4.17. Транспортабельность оборудования, реализующего тот или иной способ бурения, оказывает существенное влияние на возможность и эффективность его использования в зависимости от характера условий производства работ.

4.18. Энергоемкость и металлоемкость бурового оборудования, реализующего различные способы бурения, целесообразно оценивать по двум значениям: абсолютному (конкретной величине приводной мощности и веса станка для бурения данным способом) и относительному (мощности или весу, отнесенному к 1 м производительности).

Абсолютные значения энергоемкости и металлоемкости имеют значение при выборе бурового станка для бурения данным способом, а относительные значения — для сопоставления этих показателей по различным способам бурения.

4.19. Экономическая эффективность способа бурения инженерно-геологических скважин является важным фактором оценки эффективности способа бурения. Очевидно, что при прочих равных условиях (особенно в части инженерно-геологической информативности) применяться должны способы, обладающие большой экономической эффективностью.

Экономическая эффективность способов бурения может определяться соотношением затрат, которые необходимо произвести к достигнутой производительности того или иного способа бурения. Для сопоставления различных способов бурения по экономической эффективности можно использовать величину условной себестоимости станко-смены, в которой учитываются лишь нормируемые затраты, необходимые для обеспечения процесса бурения.

Стоимость станко-смены следует определять затратами, которые обеспечивают процесс бурения, условиями (инженерно-геологическими, географическими) производства работ и их организацией, зарплатой инженерно-технических работников (основная и дополнительная), материалами, амортизацией, износом, услугами, транспортом и ремонтом.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИМЕР ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН В ГЕОЛОГО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВЕРХНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

1. Оценка точности

Работы по оценке точности способов бурения выполнялись по следующей методике: на заранее выбранной площадке проходились шурфы с весьма точным и тщательным описанием геологического разреза по каждому шурфу.

Выделение слоев и контактов производилось по ясно выраженным не вызывающим сомнения признакам (литологическим, генетическим, по изменению окраски грунтов). Геологические разрезы по шурфам рассматривались в качестве эталонных. В непосредственной близости от каждого шурфа проходились скважины различными способами. Глубина скважин соответствовала глубине шурфа. По керну, извлекаемому в процессе бурения, велось описание разрезов и выделение слоев. Для описания скважин, проходимых различными способами, привлекались разные техники-геологи, ранее незнакомые с исследуемым геологическим разрезом, примерно равной квалификации.

Экспериментальные работы проводились в районе городов Иванова и Костромы. В районе Иванова под почвенно-растительным слоем мощностью 0,3—0,6 м залегают покровные безвалунные суглинки, которые на глубине 1,05—1,45 м подстилаются мелкими среднеплотными маловлажными песками. В толще песков отмечены отдельные маломощные (0,10—0,25 м) прослои суглинков. С глубины 2—2,75 м вскрыты валунные суглинки, которые прослежены до глубины 6—7 м. В толще валунных суглинков красновато-бурого цвета четко прослеживается слой их буровато-серых разностей. В нижней части разреза отмечены прослойки мелкого песка мощностью 0,05—0,15 м. Число выделенных слоев в одной выработке колеблется от 6 до 12. Грунтовые воды не вскрыты.

Участок, расположенный в районе Костромы, характеризуется большей пестротой разреза (отмечено большее число слоев), кроме того, отмечено наличие нижней морены. Нижние слои песчаных грунтов водонасыщенны.

Скважины бурились вибрационным, ударно-канатным кольцевым забоем (забивным и клюющим), колонковым, медленновращательным, шнековым рейсовым и шнековым поточным способами.

Проходка шурфов осуществлялась механическим вращательным способом с помощью буровой установки УГБ-50А. В качестве наконечника использовался шнековый бур диаметром 650 мм.

Проходка скважин вибрационным способом осуществлялась агрегатами АВБ-1М и АВБ-2М. Применялись виброзонды диаметром 108 и 146 мм. Длина рейса составляла 0,5; 1 и 1,5 м. Ударно-канатное бурение кольцевым забоем производилось забивным и «клюю-

щим» способами установкой УБП-15М. Диаметр забивного стакана 127 мм. Длина рейса колебалась от 0,3 до 0,5 м. Все виды вращательного бурения осуществлялись установкой УГБ-50А при скорости вращения 70 об/мин. Колонковое бурение производилось «всухую». Применялась коронка типа С диаметром 93 мм. Длина рейса не превышала 0,5 м. При медленновращательном бурении использовались ложковые и спиральные буры диаметром 146 мм. Длина рейса составляла 0,2—0,75 м. При шнековом бурении применялись шнеки диаметром 180 мм. В качестве породоразрушающего наконечника использовались трехперные долота конструкции СКБ МГиОН. При рейсовом бурении углубка за рейс составляла 1,5 м.

При установлении границ между слоями грунта по керну учитывалось, что они могут оказаться смещенными вверх или вниз относительно их истинного положения, а также пропущены (пропуск отдельных слов). Смещение границы связано с технологическими особенностями способа бурения, а также с влиянием множества случайных неконтролируемых факторов (например, ошибки геологов в установлении этой границы). Ошибки, связанные со способом бурения, являются закономерными, т. е. обусловленными постоянно действующими факторами. Ошибки, обусловленные неконтролируемыми факторами, являются случайными.

При определении точности фиксации положения слоев грунта необходимо учитывать также соотношение слоев грунта по их плотности.

Были выделены три случая:

I — верхний слой грунта более плотен, чем нижний;

II — плотность обоих слоев одинакова;

III — верхний слой грунта менее плотен, чем нижний.

Описание разреза велось по общепринятой методике по извлекаемому керну. (Шнековое поточное бурение документировалось по методике, изложенной в работе Башкатова Д. Н. и Олоновского Ю. А. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин. «Недра», М., 1968).

Величина индивидуальной ошибки при отбивке границы между слоями вычислялась как разность между глубиной ее залегания, измеренной в шурфе и определенной по данным бурения. Положительное значение ошибки свидетельствовало о смещении глубины залегания этой границы вверх, отрицательное — о смещении вниз. Полученные значения ошибок рассматривались как случайные величины. Отработка и анализ значений ошибок производился для различных случаев соотношения слоев по плотности для каждого из исследуемых способов бурения.

Результаты обработки материалов приведены в табл. 1. Из нее следует, что все способы бурения для случая I соотношения слоев по плотности смещают границу между слоями вниз. Величина этого смещения для различных способов различна. Для вибрационного бурения она минимальна, для медленновращательного — максимальна. Среднеквадратичное отклонение ошибки также минимально при вибрационном бурении. Существенное возрастание отклонения наблюдается для всех других способов бурения и особенно шнекового.

Для случая II имеют место как отрицательные, так и положительные значения ошибок. Но в этом случае отмечается увеличение среднеквадратичного отклонения ошибки от вибрационного к шнековому способу бурения.

Таблица 1

Значения количественных характеристик точности фиксации положения слоев в геологическом разрезе различными способами бурения

Способы бурения	Состояние извлекаемого грунта	Случаи соотношения слоев по плотности	Объем выборки	Показатели точности фиксации положения контактов		Показатель неполноты отражения разреза $K_п$ $(K)_п$ % $\left(\frac{1}{м}\right)$	Средняя мощность одного пропущенного слоя, м	Предлагаемая градация способов бурения по точности
				$\bar{X}$, м	σ, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вибрационный	Керн в виде столбика грунта	I	42	—0,03	±0,11	—	—	Высокая $(\bar{x}+\sigma)$
		II	25	+0,03	±0,12	5	0,10	$<0,25$;
		III	54	+0,01	±0,10	(0,05)	—	$K_п < 10\%$
Ударно-канатный кольцевым забоем (забивной)		I	16	—0,11	±0,19	—	—	Средняя $(\bar{x}+\sigma) =$
		II	13	—0,07	±0,23	13	0,18	$= 0,25—0,50$ м;
		III	20	—0,06	±0,18	(0,17)	—	$K_п$ 10—20%
Ударно-канатный кольцевым забоем («клюющий»)		I	6	—0,09	±0,22	—	—	Средняя $(\bar{x} \pm \sigma) =$
		II	9	—0,04	±0,15	20	—	$= 0,25 \div 0,50$ м;
		III	9	—0,01	±0,31	—	0,17	$K_п = 10 — 20\%$

Продолжение табл. 1

Способы бурения	Состояние извлекаемого грунта	Случаи соотношения слоев по плотности	Объем выборки	Показатели точности фиксации положения контактов		Показатель неполноты отражения разреза $K_{\text{п}}\,(K)_{\text{п}}$ % $\left(\frac{1}{\text{м}}\right)$	Средняя мощность одного пропущенного слоя, м	Предлагаемая градация способов бурения по точности
				$\bar{X}$, м	σ, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Колонковый «всухую»	Керн в виде столбика грунта	I II III	14 13 20	—0,06 +0,09 —0,03	±0,22 ±0,20 ±0,24	— 14 (0,19)	— 0,22 —	—
Медленновращательный	Комки грунта с нарушенным сложением	I II III	10 21 16	—0,13 +0,01 10,17	±0,27 ±0,36 ±0,38	— 28 (0,38)	— 0,30 —	Низкая $(\bar{x} \pm \sigma) =$ $= 0{,}50$—$0{,}75$ м; $K_{\text{п}} = 20 - 30\%$
Шнековый рейсовый	Комки грунта с нарушенным природным сложением	I II III	16 23 21	—0,10 +0,20 +0,13	±0,38 ±0,41 ±0,33	— 20 (0,20)	— 0,20 —	Низкая $(\bar{x} \pm \sigma) =$ $= 0{,}50$—$0{,}75$ м; $K_{\text{п}} = 20 - 30\%$
Шнековый поточный		I II III	12 16 18	—0,24 —0,08 +0,19	±0,45 ±0,66 ±0,47	— 38 (0,51)	— 0,38 —	Весьма низкая $(\bar{x} + \sigma) >$ $> 0{,}75$ м; $K_{\text{п}} > 30\%$

Характерным является распределение показателя неполноты отражения разреза $K_п$. Этот показатель увеличивается от 3,2% для вибрационного способа до 38,5% для шнекового поточного способа. Вместе с увеличением показателя неполноты отражения разреза возрастает и средняя мощность одного пропущенного слоя соответственно от 0,08 до 0,39 м. Медленновращательный способ по этим двум показателям оказался менее качественным, чем шнековый рейсовый способ, хотя имеющаяся разница невелика.

Таким образом, группа способов бурения, дающих керн в виде столбика грунта, характеризуется более низкими значениями показателей точности, что свидетельствует о более высокой точности отражения разреза этими способами.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для указанных районов из всех применяемых в настоящее время способов проходки инженерно-геологических скважин наиболее высокой точностью обладает вибрационный способ. Ударно-канатный и колонковый способы по точности близки между собой, однако оба они уступают вибрационному. Несколько более низкие значения среднеквадратичных ошибок и показателя неполноты отражения разреза дают основание считать, что ударно-канатный способ более точен, чем колонковый.

Медленновращательное и шнековое рейсовое бурение по точности существенно уступает вибрационному, ударно-канатному кольцевым забоем и колонковому способам. Более предпочтительным из этих двух способов является медленновращательный.

Шнековый поточный способ даже при соблюдении всех необходимых требований к правилам геологической документации обеспечивает весьма низкую точность отражения геологического разреза.

2. Изменения показателей физико-механических свойств грунта в монолитах, отбираемых из скважин забивным и вибрационным погружением грунтоносов

Содержание исследований заключалось в сопоставлении показателей физико-механических свойств в монолитах, отобранных забивным и вибрационным способами с эталонными значениями, определенными в монолитах, отобранных из шурфов ручным вырезанием. Исследования были поставлены на двух широко развитых в этом районе разновидностях грунтов — покровных и моренных суглинках. Покровные суглинки характеризуются числом пластичности 13—16 и коэффициентом пористости в пределах 0,6—0,8. Эти грунты, как правило, не содержат включений крупнообломочного материала. Моренные суглинки имеют число пластичности в пределах 7—12 и коэффициент пористости — 0,4—0,6. В моренных суглинках содержатся включения крупнообломочного материала до 10—15%. Показатель консистенции суглинков не превышает 0,25.

Экспериментальные работы выполнялись в районе г. Иванова Выбирались площадки, на которых, по предварительным данным, имели развитие исследуемые грунты. Затем на каждой из выбранных площадок бурились скважины, по которым выяснялось геолого-литологическое строение разреза до глубины 6—8 м. Были выбраны и изучены две площадки. На каждой из площадок намечали контур шурфа сечением 2×2 м и на расстоянии 0,5—0,7 м от него бури-

лись скважины, из которых через 0,5 м отбирались монолиты. Затем вручную отрывали шурф. По мере проходки из забоя на тех же глубинах, что и в скважинах ручным вырезанием, отбирались монолиты сечением 15×15×15 см.

Упаковка, транспортирование и хранение запарафинированных монолитов грунтов, отобранных из скважин и шурфов, производились в соответствии с ГОСТ 12071—72 и Рекомендациями по отбору, упаковке, транспортированию и хранению образцов.

Для отбора монолитов использовали серийно выпускаемый грунтонос ГК-3 с внутренним диаметром 108 мм. При забивном способе отбора применялась установка УБП-15М, при вибрационном — АВБ-1М. Зачистка забоя скважин перед отбором монолитов осуществлялась забивными стаканами и виброзондами.

Лабораторные определения показателей физико-механических свойств выполнялись согласно действующим стандартам и инструкциям. Сдвиговые испытания проводились по методике «быстрого» сдвига.

При обработке полученных данных выделялись пары монолитов (эталонных и отобранных забивным или вибрационным способом), которые удовлетворяли условиям приблизительной идентичности. Для сопоставлений брались лишь те пары монолитов, у которых пределы пластичности и число пластичности отличались не более чем на 4% (т. е. на двойную точность лабораторного определения названных показателей). Всего было отобрано 25 пар монолитов для забивного и 28 — для вибрационного способа.

При дальнейшей обработке вычислялись средние значения показателей и их среднеквадратичные отклонения, определенные по монолитам, отобранным из шурфов (эталонные значения), и соответствующие их парам монолитов, отобранных из скважин, раздельно для покровных и моренных суглинков.

Анализ полученных данных свидетельствует, что показатели физических свойств в монолитах, отобранных из скважин забивным и вибрационным погружениями грунтоносов, отличаются от своих эталонных значений на величину, в основном не превышающую точность их лабораторного определения, хотя при этом отмечается некоторое увеличение объемного веса для обеих разновидностей грунтов. Показатели прочностных свойств, определенные в монолитах, отобранных грунтоносами, отличаются от их эталонных значений несущественно и при этом также отмечается некоторое увеличение удельного сцепления. Величина модуля деформации несколько занижена в монолитах из скважин по сравнению с монолитами из шурфов.

3. Оценка производительности способов бурения

Для оценки производительности различных способов бурения по механической и рейсовой скорости бурения был проведен хронометраж бурения около 100 скважин глубиной до 10 м. На основании этих исследований было установлено, что наиболее высокой производительностью обладает вибрационное бурение, несколько уступает ему шнековое, существенно меньшая производительность у медленновращательного бурения. Ударно-канатный кольцевым забоем и колонковый «всухую» способы характеризуются в целом близкими значениями по производительности бурения.

4. Расчет экономической эффективности способов бурения

Экономическая эффективность (т. е. себестоимость 1 м бурения) определялась для вибрационного, колонкового, ударно-канатного кольцевым забоем, шнекового и ручного ударно-вращательного способов бурения. В качестве станков, на которых реализуются эти способы бурения, приняты наиболее распространенные на изысканиях установки: АВБ-2М, СБУД-150-ЗИВ, УГБ-50А, УБП-15М и комплект ручного бурения.

Таблица 2

Расчет условной себестоимости станко-смены (комплектно) для различных способов бурения, руб.

Наименование расходов	Вибробурение АВБ-2М	Колонковое бурение СБУД-150-ЗИВ	Ударно-канатное бурение УБП-15М	Шнековое бурение УГБ-50М	Ручное ударно-вращательное бурение
1	2	3	4	5	6
Основная зарплата ИТР и рабочих	16,21	18,62	11,18	16,21	14,17
Дополнительная зарплата ИТР и рабочих	1,10	1,19	0,76	1,10	0,88
Отчисления на социальное страхование	0,83	0,95	0,58	0,83	0,72
Зарплата, всего	18,14	20,76	12,52	18,14	15,77
Материалы, всего	2,78	8,57	1,59	2,01	0,29
В том числе:					
истирающие	—	4,63	—	—	—
колонковые и шламовые трубы	—	0,41	—	—	—
электроэнергия	1,48	—	—	—	—
бензин	0,94	1,89	0,74	1,58	—
смазочные	0,16	0,32	0,16	0,24	—
глина	—	0,47	—	—	—
прочие	0,19	0,85	0,69	0,19	0,29
Амортизация	6,41	4,24	2,99	4,74	0,15
Износ	1,71	1,46	1,97	1,71	0,71
Услуги	0,90	1,87	1,04	0,90	0,24
Транспорт	0,17	0,17	2,43	0,17	4,36
Ремонт	4,52	2,96	1,13	2,77	0,43
Всего прямые затраты	34,63	40,03	23,67	30,44	31,95
Накладные расходы	3,59	4,12	2,48	3,59	3,12
Плановые накопления	0,45	0,52	0,32	0,45	0,39
Итого стоимость 1 станко-смены	38,67	44,67	24,47	34,48	25,46

Стоимость станко-смены определялась необходимыми затратами, которые обеспечивают процесс бурения, условиями (инженерно-геологическими, географическими) производства работ и их организацией: зарплата инженерно-технических работников (основная и дополнительная), материалы, амортизация, износ, услуги, транспорт и ремонт. В себестоимость смены ручного бурения дополнительно включены затраты транспорта на перевозку бурового оборудования из расчета один автомобиль на два комплекта. Затраты на ремонт условно приняты от себестоимости станко-смены в следующих размерах: УБП-10М — 5%; АВБ-2М — 15%; СБУД-150-ЗИВ — 8%; УГБ-50А — 10%; ручной комплект — 2%.

Накладные расходы и плановые накопления составляют соответственно 19,8 и 2,5% зарплаты.

Все расчеты выполнены для следующих условий; благоприятный период — работы производятся без выплаты полевого довольствия, диаметр бурения до 160 мм, глубина скважин до 20 м, вторая категория грунтов, первый пояс цен (средняя полоса европейской части СССР). Результаты расчета приведены в табл. 2.

Себестоимость 1 м бурения определена с учетом среднесменной производительности и приведена в табл. 3.

Таблица 3

Расчет экономической эффективности и условной себестоимости 1 м бурения различными способами

	Вибробурение АВБ-2М	Колонковое бурение СБУД-150-ЗИВ	Ударно-канатное кольцевым забоем УБП-15М	Шнековое бурение УГБ-50А	Ручное ударно-вращательное
Условная себестоимость 1 станко-смены, руб.	38,67	44,67	26,47	34,48	25,46
Средняя производительность, м/см	33,9	12,7	14	19,3	13,1
Условная себестоимость 1 м, руб. . . .	1,12	3,51	1,9	1,79	1,95
Отпускная цена 1 м, руб.	1,7	8,29	7,01	1,02	6,08

Как следует из табл. 3, условная себестоимость 1 м бурения имеет минимальное значение для вибрационного бурения. Себестоимости ударно-канатного, шнекового и ручного ударно-вращательного бурения в целом близки между собой. Достаточно высокой себестоимостью 1 м бурения характеризуется колонковое бурение. По условной себестоимости 1 станко-смены наиболее низкие значения у ударно-канатного и ручного ударно-вращательного бурения.

5. Рациональные области применения различных способов бурения в условиях Верхне-Волжского треста инженерно-строительных изысканий

1. Рациональная область применения вибрационного бурения определяется его высокой точностью и производительностью при

бурении инженерно-геологических скважин глубиной до 15 м в песчано-глинистых грунтах при отсутствии в них значительных включений крупнообломочного материала.

2. Ударно-канатный кольцевым забоем способ бурения обеспечивает возможность получения точной геологической документации. Область его рационального использования — бурение скважин на глубину до 30 м во всех разновидностях нескальных грунтов.

3. Медленновращательный способ, обеспечивающий низкую точность геологической документации и характеризующийся низкой производительностью при бурении песчано-глинистых грунтов на глубину до 30 м, в значительной степени может быть заменен вибрационным и ударно-канатным способами. Область использования медленновращательного бурения может быть расширена за счет использования его для проходки скважин большого диаметра (от 500 до 850 мм), глубиной до 10 м.

4. Шнековое рейсовое бурение (рейсами не более 1—1,5 м) обеспечивает низкую точность геологической документации, но обладает весьма значительной производительностью. Область его рационального использования определяется простыми геологическими разрезами при изысканиях на ранних этапах для бурения зондировочных скважин с целью получения общих сведений о геологическом строении района.

5. Для использования в условиях Верхнего Поволжья не рекомендуется шнековый поточный способ.

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Л. И. Кралина

СООРУЖЕНИЕ НЕФТЯНЫХ, ГАЗОВЫХ И ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов специальности
21.0503 Технология и техника разведки МПИ

очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

Оглавление

1. Общие положения 3
2. Методические указания по разработке основных разделов
курсового проекта по технологии бурения на нефть и газ …….....3
Введение ……3
2.1. Выбор конструкции скважин и буровой установки . ……...4
2.2. Расчет обсадных труб 5
2.3. Расчет цементирования скважин 5
2.4. Испытание обсадных колонн на герметичность…….....6
2.5. Выбор способа бурения скважины.....6
2.6. Технология бурения 7
2.7. Вскрытие продуктивных пластов и освоение скважины ……...7
3. Методические указания по разработке основных разделов
курсового проекта по технологии бурения скважин на воду……8
Введение……..8
3.1. Гидрогеологическая характеристика разреза 8
3.2. Выбор и характеристика средств откачки . . …….....9
3.3. Выбор и расчет фильтра…….....9
3.4. Выбор способа бурения и расчет конструкции скважины …….11
3.5. Технология бурения……11
3.6. Выбор бурового оборудования и инструмента ……...12
3.7. Вскрытие и освоение водоносного пласта……...13
3.8. Техника безопасности и охрана окружающей среды……..13
Список литературы 14

Приложения

Приложение 1. Пример оформления титульного листа курсового
проекта ……...15
Приложение 2. Задание на курсовой проект по технологии бурения
на нефть и газ 16
Приложение 3. Геологические разрезы скважин на нефть и газ……...18
Приложение 4. Пример оформления геолого-технического наряда
по технологии бурения на воду ……...20
Приложение 5. Пример оформления геолого-технического наряда
по технологии бурения на нефть и газ 21

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью курсового проекта по дисциплине "Сооружение нефтяных, газовых и геотехнологических скважин" является закрепление навыков применения теоретических знаний для решения технико-технологических задач, возникающих при проектировании скважин на нефть, газ или воду.

Заданием на курсовой проект предусматривается выполнение технического проекта на сооружение скважины на нефть, газ или воду в конкретных геологических условиях.

Проект должен носить конкретный характер. Следует избегать общих рассуждений и описания стандартного оборудования и инструмента. Вместе с тем выбранные инженерные решения необходимо обосновать примерами из практики, техническими и экономическими расчетами. Проект разрабатывается с учетом современных достижений техники и технологии бурения.

В расчетной части проекта должна быть сформулирована задача и определены исходные данные. Затем выбирается расчетная схема и приводятся расчетные формулы. При этом необходимо сделать ссылку на источник формулы, раскрыть ее содержание и указать размерности. Результаты расчетов необходимо сводить в таблицы и графики.

Пояснительная записка пишется на бумаге формата 210×297 мм и брошюруется в следующей последовательности: титульный лист (приложение 1); задание на проектирование; содержание; введение; основные разделы, включившие описание, технические расчеты и пояснения; выводы; список использованной литературы; приложения»

Геолого-технический наряд оформляется на листе ватмана формата А3.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ НА НЕФТЬ И ГАЗ

Задание по курсовому проекту выдается индивидуально каждому студенту согласно приложениям 2 и 3.

Курсовой проект должен содержать следующие основные разделы:

Введение

1. Выбор конструкции скважины и буровой установки.
2. Расчет обсадных труб.
3. Расчет цементирования скважины.
4. Испытание обсадных колонн на герметичность.
5. Выбор способа бурения скважины.
6. Технология бурения.
7. Вскрытие продуктивных пластов.
8. Мероприятия по технике безопасности и охране окружающей среды.
9. Расчет расхода основных материалов на сооружение скважины.

Введение

Во введении формулируется назначение проектируемой скважины. Приводятся общие сведения о районе работ, даются его краткая физико-географическая и экономическая характеристики, оцениваются условия производства работ по бурению и оборудованию скважин, отмечается обеспеченность электроэнергией, топливом, водой, глиной и т. д.

2.1. Выбор конструкции скважины и буровой установки

Конструкция скважины состоит из ствола, пробуренного в горных породах, нескольких обсадных колонн и тампонажного камня, заполняющего цементом полностью или частично пространство между колоннами и стенками ствола. Конструкцию скважины характеризуют число спущенных в нее обсадных колонн, их диаметры и длина, диаметры ствола под каждую колонну, местоположение интервалов цементирования.

Конструкция скважины выбирается на основании детального изучения геологического разреза. Особое внимание уделяется изучению зон, в которых возможны осложнения (обвалы стенок скважины, поглощения промывочной жидкости, проявления высоконапорных пластов и т. д.).

Выбор размеров обсадных колонн и диаметров ствола на отдельных интервалах скважины осуществляют методом снизу вверх, т. е. начиная с выбора эксплуатационной колонны.

Диаметр эксплуатационной колонны выбирают в зависимости от вида полезного ископаемого и ее дебита. Ниже показаны примерные сочетания диаметров эксплуатационных колонн и дебитов применяемых на практике скважин (табл. 1, 2).

Таблица 1

Нефтяные скважины

Дебит, $м^3$/сут.	40	40-100	100-150	150-300	300
Примерный диаметр эксплуатационной колонны, мм	114	127-140	140-146	168-178	178-194

Таблица 2

Газовые скважины

Дебит, тыс.$м^3$/сут.	75	250	500	1000	5000
Примерный диаметр эксплуатационной колонны, мм	114	114-146	146-148	168-219	219-273

После выбора диаметра эксплуатационной колонны определяют количество обсадных колонн и глубину их спуска. Число обсадных колонн определяют на основании анализа геологического разреза в месте заложения скважины.

Определив число обсадных колонн и глубину их спуска, приступают к согласованию расчетным путем нормализованных диаметров обсадных колонн и породоразрушающего инструмента. Исходным для расчета является диаметр эксплуатационной колонны.

Таким образом, порядок проектирования конструкции скважины сводится к следующему:

- выбирают диаметр эксплуатационной колонны;
- решают вопрос о числе и глубине спуска технических (промежуточных) колонн;
- определяют глубину спуска кондуктора и шахтного направления;
- выбирают диаметр долота для бурения скважины (ствола) под эксплуатационную колонну;
- определяют диаметр технической колонны;
- выбирают диаметр долота для бурения скважины под техническую колонну;
- определяют диаметр кондуктора;
- выбирают диаметр долота для бурения скважины под кондуктор;
- определяют диаметр шахтного направления;
- определяют интервалы цементирования кондуктора, технической и эксплуатационных колонн.

При выборе типа буровой установки в качестве исходного условия принимают глубину бурения, а затем проверяют, подходит ли она по нагрузке на крюке. Расчетный вес самой тяжелой обсадной колонны или нагрузка, возможная при ликвидации прихвата бурильной колонны, не должны превышать допустимую нагрузку на крюке.

Выбранная буровая установка должна обладать высокими технико-эксплуатационными характеристиками и в полной мере соответствовать условиям бурения и транспортирования на точку.

2.2. Расчет обсадных труб

Обсадные трубы применяют для компоновки шахтных направлений, кондукторов, технических (промежуточных) и эксплуатационных колонн. В зависимости от назначения колонны изменяются и условия работы обсадных труб. В наиболее тяжелых условиях находится эксплуатационная колонна. При спуске, цементировании и последующей работе в колонне возникают ряд напряжений, главнейшими из которых являются:

- растяжение от собственного веса;
- смятие от действия столба промывочной жидкости, находящейся в затрубном пространстве, и от давления обрушающихся горных пород;
- внутреннее давление, возникающее при цементировании или фонтанировании скважины;
- сжатие, возникающее при частичной разгрузке обсадной колонны вследствие установки ее на забой скважины;
- температурные напряжения, возникающие в эксплуатационной колонне.

Многолетняя практика свидетельствует, что наиболее вероятным нарушением прочности обсадных колонн от растягивающих усилий является расстройство муфтовых соединений обсадных труб.

Величина растягивающих усилий и внешнего сминающего давления изменяется по длине эксплуатационной колонны. Страгивающие усилия в момент спуска колонны достигают наибольшего значения в самой верхней трубе (у устья скважины), а наибольшее сминающее бывает в нижних трубах (у забоя) в процессе эксплуатации по мере снижения уровня жидкости в колонне. Одновременно на самые нижние трубы, расположенные в фильтровой зоне скважины, может действовать высокое пластовое давление, достигающее значительной величины в процессе эксплуатации. Таким образом, эксплуатационная колонна для нефтяных скважин рассчитывается на смятие от внешнего гидростатического столба жидкости и на страгивание (расстройство) резьбовых соединений, а для газовых скважин – дополнительно и на внутреннее избыточное давление соединений труб.

2.3. Расчет цементирования скважин

Цементирование включает пять основных видов работ: приготовление тампонажного раствора, закачку его в скважину, подачу (продавку) тампонажного раствора в затрубное пространство, ожидание затвердения закачанного материала (ОЗЦ) и проверку качества цементировочных работ.

Расчет цементирования является инженерным обоснованием выбора технических средств и их количества и проверкой реализуемости их на практике принятой технологии. На основании расчетов уточняют изменения в режиме подачи тампонажного раствора в затрубное пространство, а также определяют необходимое количество исходных материалов для приготовления нужного объема тампонажного раствора, продолжительность отдельных операций и суммарную всех работ по цементированию.

Для выполнения расчетов необходимы следующие исходные данные: глубина спуска цементируемой колонны; диаметр открытого ствола скважины; размеры цементируемой обсадной колонны (ее наружный и внутренний диаметр, длина); высота

подъема цементного раствора в затрубном пространстве; высота цементного стакана внутри цементируемой колонны; глубина спуска предшествующей колонны и ее внутренний диаметр, плотность промывочной жидкости в стволе скважины; высота буферной жидкости за колонной и ее плотность; плотность сухого цемента и в насыпной массе.

Весь расчет цементирования можно подразделить на три основные части: определение расхода материалов, режима работы цементировочных агрегатов и цементосмесительных машин и продолжительности работ по цементированию обсадной колонны. В первой части определяют необходимый объем тампонажного раствора по объему цементируемого пространства за колонной и цементного стакана в колонне. Объем цементируемого пространства рассчитывают с учетом среднего фактического диаметра ствола скважины или коэффициента кавернозности для открытой части ствола.

По объему тампонажного раствора и известному содержанию компонентов определяют суммарный расход материалов, в том числе и объем воды для затворения. Подсчитывают объемы буферной и продавочной жидкостей.

Во второй части расчета определяют максимально допустимую скорость течения раствора в затрубном пространстве и, сопоставляя ее с критической скоростью, определяют режим его подачи.

Зная подачу раствора, определяют суммарные потери напора на разных этапах и по ним судят о давлении нагнетания на цементировочной головке. Давления нагнетания позволяют обоснованно выбрать тип цементировочного агрегата и режим его работы, а суммарная подача позволяет определить количество агрегатов. В числе агрегатов необходимо предусмотреть один резервный. По общему количеству сухих тампонажных материалов с учетом одновременно действующих цементировочных агрегатов определяют необходимое количество цементно-смесительных машин и режим их работы.

В третьей части по режимам подачи рассчитывают продолжительность работ по закачке тампонажного раствора в скважину и продавке его в затрубное пространство. При определении общей продолжительности работ учитывают резервное время около 15 мин. на навинчивание цементировочной головки после введения нижней пробки в обсадную колонну. Общая расчетная продолжительность работ не должна превышать 0,75 от времени начала схватывания тампонажного раствора.

2.4. Испытание обсадных колонн на герметичность

Данный раздел курсового проекта носит описательный характер. Методы испытаний обсадных колонн приведены в работах (метод опрессовки или понижение уровня жидкости).

2.5. Выбор способа бурения скважины

Принятие решения об использовании того или иного способа бурения - один из ответственных этапов при проектировании технологии проходки скважины, так как в дальнейшем выбранный способ определяет многие технические решения - режимы бурения, гидравлическую программу, буровой инструмент, тип буровой установки и как следствие технологию крепления скважины.

В качестве исходной информации для принятия решения о способе бурения используют следующие данные: глубину бурения и забойную температуру, профиль ствола и диаметр долот, тип породоразрушающего инструмента и бурового раствора.

На основании этой информации в соответствии с табл. 3 может быть выбран способ бурения по интервалам или для всей скважины в целом.

Таблица 3

Рекомендуемые области применения способов бурения

Геолого-технические условия бурения	Способ бурения		
	роторный	гидравлическими забойными двигателями	электробуром
Глубина бурения, м:			
3500	+	+	+
3500-4200	+	-	+
4200	+	-	-
Забойная температура, °С:			
140	+	+	+
140	+	-	-
Диаметры долот, мм:			
190	+	-	-
190	+	+	+
Профиль ствола скважины:			
вертикальный	+	+	+
наклонный	-	+	+
Породоразрушающий инструмент:			
2- и 3-лопастные долота и шарошечные типа М	+	-	-
Долота типов МС, МСЗ, С, СЗ, СТ, Т, ТЗ, ТК, ТКЗ, К и ОК	+	+	+
Долота истирающего типа и алмазные	-	+	+
Тип очистного агента:			
газы, пена	+	-	-
Буровые растворы плотностью, кг/м^3 :			
1000	+	-	+
1000	+	+	+

2.6. Технология бурения

В данном разделе выбирается тип породоразрушающего инструмента, вид очистных агентов и режимы бурения скважины в различных интервалах.

Тип породоразрушающего инструмента выбирают в зависимости от физико-механических свойств горных пород, глубины, вида и способа бурения.

Вид очистного агента (его компонентный состав) зависит главным образом от геологических условий бурения: пластового давления вскрытых скважиной горизонтов, устойчивости пород, слагающих эти горизонты, минералогического состава разбуриваемых пород, забойной температуры.

При роторном способе бурения рассчитывают следующие параметры режима бурения: осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, частоту вращения бурового снаряда и расход промывочной жидкости. В случае применения забойных двигателей определяются те же параметры режима бурения, а затем они уточняются с рабочими характеристиками забойных двигателей.

2.7. Вскрытие продуктивных пластов и освоение скважины

В данном разделе должны быть приведены вопросы вскрытия нефтегазоносных пластов и испытания скважины на продуктивность: обоснование выбора способа первичного вскрытия продуктивных пластов; выбор аппаратуры для опробования перспективных объектов в

процессе бурения, режимов и продолжительности работ по опробованию; выбор способа вторичного вскрытия и жидкости для заполнения эксплуатационной колонны в этот период, способа создания депрессии для вызова притока из пласта; выбор колонн насосно-компрессорных труб (НКТ); выбор оборудования для испытания скважин, режимов и продолжительности испытания; обоснование необходимости стимулирующего воздействия на испытуемые объекты.

На основании геологического задания, выбора бурового оборудования, конструкции скважины и разработанной технологии бурения составляют геолого-технический наряд на бурение скважины, форма которого приведена в приложении 5.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ВОДУ

Курсовой проект разрабатывается на основании фактических материалов, собранных студентом на производственной практике.

Эти материалы включают геологическую карту района производства работ, геологический разрез с указанием места заложения и профиля проектных скважин, гидрогеологическую характеристику разреза с подробными данными о всех водоносных горизонтах и ориентировочным проектным удельным дебитом каждого из них.

Курсовой проект должен содержать следующие основные разделы:

Введение.

1. Гидрогеологическая характеристика разреза.
2. Выбор и характеристика средств откачки.
3. Выбор и расчет фильтра.
4. Выбор способа бурения и расчет конструкции скважины.
5. Технология бурения скважины.
6. Выбор бурового оборудования и инструмента.
7. Вскрытие и освоение водоносного пласта.
8. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Список используемой литературы.

Приложения.

Введение

Во введении обосновывается назначение проектируемой скважины.

Приводятся общие сведения о районе работ, даются его краткая физико-географическая и экономическая характеристики, оцениваются условия производства работ по бурению и оборудованию скважин, отмечается обеспеченность электроэнергией, топливом, водой, глиной и т. д.

3.1. Гидрогеологическая характеристика разреза

Приводится описание литологического состава горных пород, указывается их мощность, физические свойства, категория буримости, дается характеристика коллекторских свойств пород водоносных горизонтов (трещиноватость, гранулометрический состав), величина дебита каждого водоносного горизонта и статический уровень подземных вод.

Затем приводится характеристика тектонических зон и указываются возможные осложнения при их бурении. Геологический разрез составляется в масштабе 1:200 или 1:500.

3.2. Выбор и характеристика средств откачки

В зависимости от целевого назначения скважины и ее дебита выбирается наиболее рациональный способ подъема воды из скважины. Выбор водоподъемной установки осуществляют с учетом следующих исходных данных:

– проектного дебита скважины;

– глубины установки водоподъемных средств;

– особых условий производства откачки, вызванных повышенной температурой, минерализацией или высоким загрязнением воды. При этом фактические производительность и напор выбранного водоподъемника должны быть равны или несколько больше проектных. Особое внимание уделяется размерам водоподъемника, особенно его диаметру, который влияет на выбор размера водоподъемных труб и, следовательно, на конструкцию скважины. Обычно необходимо выбирать водоподъемники с минимально возможными размерами рабочих органов, что упрощает и удешевляет конструкцию скважины.

Водоподъемные установки выбирают по справочникам на основании данных о проектном дебите и динамическом уровне откачки.

Эрлифты применяют на стадии испытания, освоения водоносных горизонтов и при откачке из разведочных скважин. Выбранная схема эрлифта должна быть рассчитана для определения основных его параметров: глубины погружения смесителя, удельного расхода воздуха и производительности эрлифта, диаметров водоподъемных и воздухопроводных труб.

3.3. Выбор и расчет фильтра

Производительность скважины в процессе откачки зависит от правильного выбора типа фильтра и от его геометрических размеров.

Тип, конструкцию фильтра выбирают в зависимости от характера пород (гранулометрического состава) водоносного горизонта, назначения скважины, ее производительности и глубины, агрессивности вод и ряда других факторов (табл. 4).

Таблица 4

Условия применения различных типов фильтров

Водосодержащие породы	Рекомендуемый тип фильтра	Характеристика фильтра
1	2	3
Скальные и полускальные устойчивые породы	Не рекомендуется	-
Полускальные, неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые породы с преобладающей крупностью щебня и гальки от 20 до 100 мм (50 % по весу)	Трубчатые фильтры с круглой перфорацией	Скважность каркаса фильтра 20-25 %, диаметр круглых отверстий 15-25 мм.
	Фильтры щелевые	Щели: ширина 10-30 мм, длина 250-300 мм.
	Стержневые фильтры	Скважность 10-30 % Скважность до 60 %

1	2	3
Пески крупные с преобладанием частиц крупностью 1-2 мм (более 50 % по весу)	Трубчатые фильтры с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, штампованного стального листа или сетки квадратного плетения. Скважность штампованного листа 20-25 %. Стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, стального штампованного листа или сетки квадратного плетения; диаметр проволоки 2-4 мм, скважность стального листа 20-25 %	Скважность фильтра 30-50 %, ширина щели 10-30 мм. Расстояние между витками проволоки и диаметр отверстий в листе зависят от диаметра частиц породы. Скважность, зазор между витками и диаметр отверстия зависят от размера зерен породы
Пески средние с преобладанием частиц крупностью от 0,25 до 0,5 мм (более 60 % по весу)	Трубчатые и стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из сеток гладкого (галунного) плетения; сетка из латуни или нержавеющей стали. Трубчатые и стержневые фильтры с однослойной гравийной обсыпкой (гравийные фильтры); толщина обсыпки не менее 30-40 мм	Скважность каркаса фильтра 30-50 %, размер ячеек сетки зависит от крупности преобладающей фракции породы. Сортированный гравий с $К_н$=1,5+3,0
Пески различной зернистости при наличии устойчивой кровли	Бесфильтровые скважины	
Гравий и гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм и преобладанием частиц от 2 до 5 мм (более 50 % по весу)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией, с водопритоками. Стержневые фильтры с обмоткой проволокой из нержавеющей стали 3-4 мм или из нержавеющей листовой стали толщиной 0,8-1 мм, штампованной	Скважность от 25 до 70 %. Зазор между витками проволоки зависит от диаметра частиц породы или обсыпки. Скважность до 60 % Скважность 20-25 %
Пески мелкие с преобладанием частиц крупностью от 0,25 до 0,5 мм (более 50 % по весу)	Трубчатые и стержневые фильтры с одно-, двух- или трехслойной обсыпкой гравием (гравийные фильтры), фи-льтры ФКО	Сортированный гравий с $К_н$=1,5-3,0

Необходимые конструктивные размеры фильтра для конкретных условий откачки определяют расчетом.

Диаметр и длину рабочей части фильтра подбирают и рассчитывают с учетом дебита скважины, коэффициента фильтрации пород водоносного горизонта и его мощности. При этом необходимый диаметр фильтра уточняется исходя из диаметра выбранного водоподъемника, а точнее диаметра эксплуатационной колонны. При мощности водоносного горизонта, не превышающей 5 м, диаметр фильтра рассчитывают с учетом проектного дебита скважины, рабочей длины фильтра и коэффициента фильтрации пород. В данном случае длину рабочей части фильтра принимают равной мощности водоносного горизонта (5 м), а при мощности более 5 м рассчитывают на основании проектного дебита скважины и диаметра фильтра. Скважность фильтра выбирают с учетом характеристики пород водоносного горизонта. Она должна обеспечивать водопропускную способность фильтра с минимальным сопротивлением движению и с допустимой скоростью движения воды, которая не приводит к переносу частиц шлама в скважину.

При правильном выборе и расчете параметров фильтра его водопропускная способность должна быть равна или больше проектного дебита скважины.

3.4. Выбор способа бурения и расчет конструкции скважины

Выбор способа бурения скважин на воду производят с учетом гидрогеологических условий, проектной глубины скважины, ее целевого назначения, экономичности и качественных показателей по вскрытию и освоению водоносного горизонта.

В настоящее время применяют следующие способы бурения скважин на воду: роторный, колонковый, ударно-вращательный и канатно-ударный.

Роторный способ применяют при бурении разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных скважин на воду в твердых, трещиноватых породах с промывкой водой; в мягких породах, а также в тектонических зонах сильно рассланцованных, перемятых пород с промывкой глинистым раствором. В районах с затрудненным водоснабжением (Крайний Север. Средняя Азия) роторное бурение целесообразно использовать с продувкой воздухом или применять пневмоударное бурение. Роторное бурение рекомендуют использовать при вскрытии глубокозалегающих водоносных горизонтов, и оно отличается более высокой производительностью и экономичностью по сравнению с другими способами.

Канатно-ударное бурение применяют для бурения разведочно-эксплуатационных, эксплуатационных и дренажных скважин большого диаметра (свыше 500 мм) при вскрытии низконапорных горизонтов. Оно отличается высокой металлоемкостью конструкции скважин и является более дорогостоящим по сравнению с роторным бурением. Канатно-ударный способ рекомендуется при бурении скважин глубиною до 150 м в породах осадочного комплекса, представленного средне- и крупнозернистыми песками, валунно-галечными отложениями, а также сильнотрещиноватыми и кавернозными породами, в которых использование роторного бурения весьма затруднительно.

Колонковый способ в основном применяют при бурении разведочных скважин на воду небольшого диаметра (до 200 мм) в породах различной крепости.

После выбора способа бурения проектируется конструкция скважины. При бурении скважин на воду выделяют следующие элементы конструкции скважин: кондуктор (направление), эксплуатационную колонну и фильтр. Устье скважины оборудуют направлением или кондуктором. Эксплуатационная колонна обеспечивает крепление ствола скважины, в ней устанавливают насос для подъема воды. В скважинах со сложным геологическим разрезом, в котором может встречаться несколько зон осложнений, устанавливают иногда промежуточную колонну, которая обычно следует после кондуктора. Выбор конструкции разведочно-эксплуатационной скважины необходимо начинать с определения типа водоподъемника и его диаметра, который обуславливает внутренний диаметр эксплуатационной колонны.

При проектировании конструкции скважины необходимо учитывать специфику и возможности выбранного способа бурения. В частности, расчетные диаметры бурения и обсадных труб должны быть увязаны со стандартными размерами бурового инструмента конкретно для выбранного способа бурения.

3.5. Технология бурения

Технологию бурения разрабатывают на основании составленного ранее геологического разреза с учетом физико-механических свойств горных пород и характеристик водоносных горизонтов. При этом для каждой разновидности горных пород выбирают рациональные конструкции породоразрушающего инструмента и определяют технологические параметры режима бурения.

При выборе породоразрушающего инструмента устанавливают его необходимые характеристики в соответствии с конструкцией скважины и способом бурения.

Затем для вращательных способов бурения выбирают вид промывочной жидкости и определяют необходимые параметры (например, глинистых растворов), характеризующие

их качество. Параметры промывочных жидкостей (плотность, вязкость, водоотдача, статическое напряжение сдвига, содержание песка и др.) применяют в зависимости от возможных осложнений при бурении скважин.

После этого рассчитывают рациональные значения технологических параметров режима бурения. Для вращательных способов бурения это осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент, частота вращения бурового снаряда и количество промывочной жидкости, нагнетаемой в скважину. Для канатно-ударного бурения определяют вес, высоту подъема и частоту ударов бурового снаряда.

Необходимо также разработать мероприятия по борьбе с возможными осложнениями при бурении скважин (обвалы стенок скважин, поглощения промывочной жидкости и др.). Особое внимание уделяется технологии бурения скважин в интервалах водоносных горизонтов, направленной на сохранение естественной водопроницаемости водоносных пластов.

В случае бурения разведочных скважин устанавливают интервалы бурения с отбором керна для составления детального геологического разреза и проведения исследований образцов горных пород. Особое внимание необходимо уделить разработке мероприятий по обеспечению получения качественного керна с интервалов водоносных горизонтов. С целью обеспечения получения качественных образцов горных пород при бурении необходимо выбрать комплекс технических средств и разработать специальные технологические и организационные мероприятия.

3.6. Выбор бурового оборудования и инструмента

Буровое оборудование выбирают с учетом целевого назначения скважины, ее конструкции, характера пород геологического разреза и разработанной технологии бурения.

В настоящее время буровое оборудование комплектуется в буровые агрегаты и установки, которые выпускаются отечественной промышленностью. Поэтому выбор основного бурового оборудования сводится к выбору буровой установки.

Выбор буровой установки производится в зависимости от проектной глубины бурения, величины начального и конечного диаметров, которые обычно даются в ее характеристике. Также учитываются и другие данные характеристики буровой установки, такие как скорости вращения, осевое усилие, развиваемое механизмом подачи, которые обеспечивают необходимые технологические параметры режима бурения. В зависимости от наличия источников энергоснабжения в районе бурения скважин, буровые установки выбирают с электроприводом (от электролинии) или с автономным приводом от двигателя заутреннего сгорания (при отсутствии электролинии).

Вспомогательное буровое оборудование (труборазвороты, элеваторы, КИП, талевая оснастка, вертлюги-сальники и др.) выбирают в зависимости от его потребности и условий производства работ.

После выбора всего комплекса бурового оборудования, необходимого для бурения проектируемой скважины, приводятся его технические характеристики.

Выбор породоразрушающего инструмента (коронок, долот) производят с учетом физико-механических свойств горных пород и их буримости.

Для вращательного бурения выбирают типы бурильных труб и их диаметры, конструкцию и тип колонковой трубы для обеспечения качественного выхода керна, длину и диаметр утяжеленных труб при бурении скважин сплошным забоем большого диаметра (более 150 мм).

Для ударно-канатного бурения выбирают компоновку и размеры ударного снаряда, тип и размеры желонок. Для ликвидации наиболее распространенных аварий (обрыва бурильных канатов, колонковых, обсадных труб) необходимо предусмотреть ловильный аварийный инструмент (метчики, колокола, труболовки, крючки, штропы, овершоты).

В приложении нужно дать спецификацию всего бурового оборудования, инструмента с указанием его наименования и количества, необходимого для бурения скважины.

На основании геологического задания, выбора бурового оборудования, конструкции скважины и разработанной технологии бурения составляют геолого-технический наряд на бурение скважины, форма которого приведена в приложении 4.

3.7. Вскрытие и освоение водоносного пласта

Ответственными операциями при сооружении скважин на воду являются вскрытие и освоение водоносного пласта, которые оказывают большое влияние на производительность и долговечность скважины.

Вскрытие водоносного пласта включает комплекс технологических операций, направленных на успешное бурение горных пород водоносного пласта при обеспечении их устойчивости и сохранения естественной водопроницаемости.

Выбор технологии вскрытия водоносного пласта зависит от глубины его залегания, устойчивости и коллекторских свойств горных пород, слагающих водоносный пласт, пластового давления, мощности водоносного пласта и дебита скважины.

Неустойчивые горные породы водоносного пласта не рекомендуется вскрывать с применением глинистого раствора, так как глинистые частицы вызывают кольматацию пор и трещин и резкое снижение их водопроницаемости. В этом случае применяются специальные промывочные жидкости: малоглинистые, меловые, полимерные, аэрированные, самораспадающиеся промывочные жидкости, пены и др.

Безнапорные пески при наличии устойчивой кровли водоносного пласта могут вскрываться гидроразмывом фильтра, а также формированием каверны в водоносном пласте. Существуют и другие методы с применением различных схем промывки.

Освоение скважины обычно включает такие технологические операции, как установка фильтра в скважину, восстановление естественной водопроницаемости или ее искусственное увеличение, устройство гравийной обсыпки фильтров, откачки воды из скважины с целью формирования водоприемной части скважины и осветления воды.

При выборе способа освоения скважины необходимо учитывать эффективность и простоту его технического выполнения.

3.8. Техника безопасности и охрана окружающей среды

В этом разделе необходимо предусмотреть мероприятия по охране здоровья работающего персонала и средства по оказанию первой медицинской помощи пострадавшим.

Мероприятия по технике безопасности, противопожарной технике и охране окружающей среды проектируют в соответствии с действующими инструктивными указаниями при выполнении различного вида работ: монтаж установок, бурение скважины, транспорт, демонтаж установки, эксплуатация скважин.

Список рекомендуемой литературы

1. *Башкатов Д. Н.* Справочник по бурению скважин на воду. – М.: Недра, 1979. – 560 с.

2. *Бейсебаев А. М., Туякбаев Н. Т., Федоров Б. Д.* Бурение скважин и горно-разведочные работы. – М.: Недра, 1990. – 303 с.

3. *Булатов А. И.*, Долгов С. В. Спутник буровика: справ. пособие в 2 кн. – М.: Недра-бизнесцентр, 2006. 1 кн. - 379 с., 2 кн. – 534 с.

4. *Калинин А. Г., Левицкий А. З., Никитин Б. А*. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ: учебник для вузов. – М.: Недра, 1998. - 440 с.

5. *Подгорнов Ю. М*. Эксплуатационное и разведочное бурение на нефть и газ. – М.: Недра, 1988. – 325 с.

6. *Щукин А. А.* Строительство скважин: Учебное пособие. – Томск: Изд-во STT, 2005. – 588 с.

7. *Элияшевский И. В*. Типовые задачи и расчеты в бурении. – М.: Недра, 1982. – 296 с.

8. *Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование*/ А. М. Гусман, К. П. Порожский и др.; УГГГА. – Екатеринбург, 2002. - 592 с.

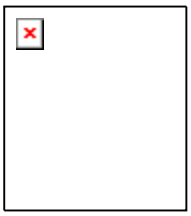
9. *Бурение и оборудование геотехнологических скважин*/ И. А. Сергиенко, А. Ф. Мосев, Э. А. Бочко, М. К. Пименов. – М.: Недра, 1984. -224 с.

10. *Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду: справочник* / Д. Н. Башкатов, С. Л. Драхлис, В. В. Сафонов, Г. П. Квашник. – М.: Недра, 1988. – 269 с.

Приложения

Приложение 1

Пример оформления титульного листа курсового проекта



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ РАЗВЕДКИ МПИ

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

НА ТЕМУ: « »

Руководитель_____
Студент_____
Группа _____

Екатеринбург 201__г.

Приложение 2

Задание на курсовой проект по технологии бурения на нефть и газ

Глубина скважины, м; номер геологического разреза	Вид полезного ископаемого			
	нефть			
	дебит, т/сут			
	100	150	200	300
1500 П2.1	№35 $P_{пл}$ = 12 МПа Сужение ствола скважины в интервале 500-800 м	№48 $P_{пл}$ = 13 МПа Обрушение стенок скважины в интервале 800-850 м	№39 $P_{пл}$ = 14 МПа Водопроявление в интервале 900-950 м	№33 $P_{пл}$ = 15 МПа Пласт соли в интервале 900-1000 м
2000 П2.2	№41 $P_{пл}$ = 19 МПа Поглощение в интервале 1200-1300 м	№26 $P_{пл}$ = 20 МПа Водопроявление в интервале 300-400 м	№11 $P_{пл}$ = 21 МПа Кавернообразование в интервале 1380-1450 м	№13 $P_{пл}$ = 23 МПа Поглощение в интервале 400-500 м
2500 П2.3	№23 $P_{пл}$ = 23 МПа Образование сальников в интервале 800-950 м	№20 $P_{пл}$ = 24 МПа Обрушение стенок скважины в интервале 1650-1700 м	№5 $P_{пл}$ = 25 МПа Газопроявление в интервале 1000-1100 м	№7 $P_{пл}$ = 26 МПа Поглощение в интервале 1700-1800 м
3000 П2.4	№44 $P_{пл}$ = 24 МПа Водопроявление в интервале 1900-2000 м	№30 $P_{пл}$ = 29 МПа Сужение ствола скважины в интервале 2100-2000 м	№22 $P_{пл}$ = 31 МПа Пласт соли в интервале 2000-2050 м	№1 $P_{пл}$ = 30 МПа Газопроявление в интервале 2600-2650 м
3500 П2.5	№36 $P_{пл}$ = 32 МПа Водопроявление в интервале 1600-1700 м	№16 $P_{пл}$ = 34 МПа Образование сальников в интервале 800-1500 м	№2 $P_{пл}$ = 35 МПа Поглощение в интервале 2600-2700 м	№6 $P_{пл}$ = 36 МПа Обрушение стенок скважины в интервале 2950-3000 м
4000 П2.6	№32 $P_{пл}$ = 34 МПа Нефтегазо-проявление в интервале 1500-1600 м	№10 $P_{пл}$ = 35 МПа Сужение ствола скважины в интервале 1400-1500 м	№18 $P_{пл}$ = 36 МПа Газопроявление в интервале 3000-3100 м	№14 $P_{пл}$ = 37 МПа Поглощение в интервале 2500-2600 м

Продолжение приложения 2

Глубина скважины, м; номер геологического разреза	Вид полезного ископаемого			
	газ			
	дебит, $м^3$/сут			
	75	250	500	1000
1	2	3	4	5
1500 П2.1	№37 $Р_{пл}$ = 13 МПа Газопроявление в интервале 800-850 м	№43 $Р_{пл}$ = 14 МПа Кавернообразование в интервале 900-1000 м	№28 $Р_{пл}$ = 15 МПа Сужение ствола скважины в интервале 500-580 м	№8 $Р_{пл}$ = 16 МПа Сальнико- образование в интервале 450-600 м
2000 П2.2	№17 $Р_{пл}$ = 19 МПа Газопроявление в интервале 800-850 м	№9 $Р_{пл}$ = 20 МПа Образование глинистой корки в интервале 1150-1250 м	№24 $Р_{пл}$ = 21МПа Обрушение стенок скважины в интервале 1200-1300 м	№46 $Р_{пл}$ = 22 МПа Пласт соли в интервале 1000-1050 м
2500 П2.3	№3 $Р_{пл}$ = 23 МПа Газопроявление в интервале 700-800 м	№15 $Р_{пл}$ =26 МПа Кавернообразование в интервале 900-1000 м	№31 $Р_{пл}$ = 28 МПа Сужение ствола в интервале 800-900 м	№45 $Р_{пл}$ = 31 МПа Сальнико- образование в интервале 800-900 м
3000 П2.4	№44 $Р_{пл}$ = 24 МПа Водопроявление в интервале 1900-2000 м	№30 $Р_{пл}$ = 29 МПа Сужение ствола скважины в интервале 2100-2000 м	№22 $Р_{пл}$ = 31 МПа Пласт соли в интервале 2000-2050 м	№1 $Р_{пл}$ = 30 МПа Газопроявление в интервале 2600-2650 м
3500 П2.5	№36 $Р_{пл}$ = 32 МПа Водопроявление в интервале 1600-1700 м	№16 $Р_{пл}$ = 34 МПа Образование сальников в интервале 800-1500 м	№2 $Р_{пл}$ = 35 МПа Поглощение в интервале 2600-2700 м	№6 $Р_{пл}$ = 36 МПа Обрушение стенок скважины в интервале 2950-3000 м
4000 П2.6	№32 $Р_{пл}$ = 34 МПа Нефтегазо- проявление в интервале 1500-1600 м	№10 $Р_{пл}$ = 35 МПа Сужение ствола скважины в интервале 1400-1500 м	№18 $Р_{пл}$ = 36 МПа Газопроявление в интервале 3000-3100 м	№14 $Р_{пл}$ = 37 МПа Поглощение в интервале 2500-2600 м

Приложение 3

Геологические разрезы скважин на нефть и газ

Разрез П2.1

1. Супеси с галькой, суглинки, м 0-200
2. Известняки, глины известковистые, м 200-450
3. Известняки плотные, кристаллические, местами окремненные, м 450-500
4. Алевролиты плотные, глины алевролитистые, м 5 00-900
5. Песчаники кварцевые, плотные, м 900-1300
6. Известняки, м 1300-1500

Продуктивная толща в интервале, м 1350-1480

Разрез П2.2

1. Пески чистые и глинистые, красно-бурые; суглинки, м 0-320
2. Песчаники кварцевые, грубозернистые; алевролиты, м 320-1100
3. Лески кварцевые, рыхлые, местами глинистые; глины слабослюдистые, м 1100-1350
4. Алевролиты и песчаники разнозернистые, плотные, известковые; аргиллиты известковые, м 1350-1800
5. Известняки, м 1800-2000

Продуктивная толща в интервале, м 1850-1950

Разрез П2.5

1. Суглинки сильнослюдистые, пески кварцевые, разнозернистые, серые, м 0-400
2. Глины известковистые и чистые, пески, песчаники глинистые, алевролиты слюдистые, м 400-900
3. Глины сильнопесчанистые, слоистые с песчано-алевролитовыми пропластками, м 900-1500
4. Алевролиты и песчаники разнозернистые, кварцевые, различной цементации, м 1500-2100
5. Известняки плотные, плитчатые, местами окремненные и трещиноватые, м 2100-2900
6. Песчаники, пески, алевролиты кварцевые, слюдистые, м 2900-3200
7. Аргиллиты трещиноватые, сланцы окремненные, известняки, м 3200-3500

Продуктивная толща в интервале, м 3340-3450

Разрез П2.6

1. Супеси, суглинки, пески и глины с галькой и валунами, м 0-300
2. Песчаники кварцевые, слабоизвестковые, иногда глинистые, темно-серые; известняки плотные; мергели, м 300-1000
3. Глины красно-бурые, кирпично-красные с прослоями песчаников, алевролитов, м 1000-1500
4. Песчаники аркозовые, разнозернистые, серо--розоватые, зеленовато-серые, м 1500-2450
5. Доломиты; глины алевролитистые, песчанистые,

пестроцветные, м	2450-3000
6. Песчаники, м	3000-3600
7. Известняки, м	3600-4000
Продуктивная толща в интервале, м	3850-3950

Разрез П2.3

1 Суглинки буровато-желтые, супеси с галькой и валунами, м	0-250
2. Известняки чистые и глинистые, глины темно-серые с гнездами гипса, м	250-750
3. Глины известковистые, известняки доломитизированные, кристаллические с тонкими прослоями алевролитов, м	750-1100
4. Известняки плотные, кристаллические, песчаники кварцевые, средне- и мелкозернистые, м	1100-1650
5. Алевролиты плотные, разнозернистые, аргиллиты темно-серые с тонкими прослоями песчаников, м	1650-2200
6. Песчаники кварцевые мелкозернистые, плотные, м	2200-2500
Продуктивная толща в интервале, м	2350-2480

Разрез П2.4

1. Лёссовидные суглинки и галечник из песчаника, м	0-70
2. Песчаники известковые, глинистые, различной цементации; глины, м	70-600
3. Песчаники кварцевые, м	600-2000
4. Глины известковистые и чистые, неравномерно песчанистые; мергели, м	2000-2400
5. Известняки, м	2400-2600
6. Пески серые и темно-серые, м	2600-2800
7. Песчаники, м	2800-3000
Продуктивная толща интервале, м	2840-2950

Приложение 4

Пример оформления геолого-технического наряда по технологии бурения на воду

ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИЙ НАРЯД

ПГО_____ Буровой станок_____
ГРЭ_____ Буровой насос_____
Проектная глубина_____ Двигатель_____
Начало бурения_____ Мачта_____
Окончание бурения_____ Бурильные трубы_____

Геологическая часть							Техническая часть										
масштаб глубин	стратиграфическая колонка	наименование горных пород	категория пород по буримости	интервалы и вид возможных осложнений	проектный выход керна, %	уровень грунтовых вод, м	Конструкция скважины	Тип и размер породоразрушающего инструмента	Диаметр и длина УБТ	Диаметр и количество ударных штанг	Параметры режимов бурения			Количество бурового раствора	Способы борьбы с геологическими осложнениями	Способы вскрытия и освоения водоносных пластов	Примечание
											осевая нагрузка или вес бурового снаряда, даН	частота вращения или ударов	расход промывочной жидкости, л/мин				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Приложение 5

Пример оформления геолого-технического наряда по технологии бурения на нефть и газ

ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИЙ НАРЯД

Министерство_____
ПГО_____
ГРЭ_____
Площадь_____
Цель бурения_____
Проектная глубина_____
Проектный горизонт_____
Способ бурения_____
Угол наклона_____
Вид энергии_____
Начало бурения_____
Окончание бурения_____

Буровая установка_____
Лебедка (тип)_____
Грузоподъемность талевой системы_____
Ротор_____
Буровой насос_____
Двигатель к насосу_____
Двигатель лебедки и ротора_____
Вышка_____
Превентер_____

Геологическая часть											Техническая часть													
Глубина, м	Стратиграфический разрез				проектный	фактический	интервалы проходки с отбором керна	интервалы нефтегазопроявлений, осложнения ствола скважины, пластовое давление	крепость пород	промыслово-геофизические исследования и испытания в процессе бурения	конструкция скважины, способ испытания	геометричность колонн, высота подъема цемента, объекты опробования	параметры и обработка промывочной жидкости	тип и размер долот	Режим бурения						Подъем инструмен-та			примечание
	Проект факт														частота вращения ротора (турбобура), с	осевая нагрузка, даН	кол-во и производительность насосов, л/с	предельное давление на манометре насоса, МПа	тип и размер турбобура	компоновка и конструкция бурильной колонны, мм	скорость, м/с	количество свечей	оснастка талей	
	система, отдел	ярус, толща	система, отдел	ярус, толща																				
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

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Л. И. Кралина, Ф. П. Сердюков, Г. А. Усов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В БУРЕНИИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по профилирующим дисциплинам
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
21.05.02 Прикладная геология
очного обучения

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено в помощь преподавателям и студентам при проведении занятий по бурению скважин, а также для подготовки курсовых и квалификационных работ по профилирующим дисциплинам. Сборник выполнен для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки и 21.05.02 Прикладная геология. При выполнении работ используются справочные материалы, которые приведены в таблицах каждого расчета. Большинство работ рассчитано на выполнение и оформление непосредственно на занятиях. Если работа не закончена, то с разрешения преподавателя она может быть оформлена и сдана к следующему занятию.

В конце приводится список литературы, использованной при написании данного учебно-методического пособия.

Расчет №1
Расчет предельного значения кернопотерь

1. Расчет предельного значения кернопотерь

$$B_k^{\min}=F(\text{НП, И},[m_k]).$$

При НП, И $[m_k]$ табличные значения (см. таблицу) расчет по формуле для реального (различного) B_k и по данным лабораторных анализов P, $P_к$, $P_{сред}$

$$B_k^{\min} = \frac{(\text{НП}-1)*\text{И}}{(\text{НП}-1)*\text{И}+m_k^{доп}} * 100\ \%$$

где $B_k^{\min}$- выход керна минимальный, %;
НП- неоднородность оруденения, %;
И- избирательность кернопотерь, %;
$m_k^{доп}$ - погрешность опробования, %.

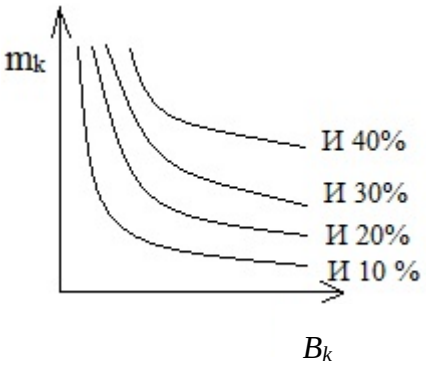
Группировка месторождений по значениям НП и И

Группы и типы руд	Примеры руд и месторождений	Характерные значения	
		НП, %	И
I. Сплошные массивные			
I.1. Мономинеральные	Сплошные мартитовые, магнетитовые, гидромагнетитовые и другие богатые железные руды криворожского типа, сплошные мономинеральные руды каменной соли, бокситы Боксонского месторождения, тальк Алгуйского месторождения и т. п.	1,2±10	40±15
I.2. Полиминеральные	Сплошные колчеданные медные и медно-цинковые месторождения ураль-ского типа, сплошные полиметаллические руды Горевского, Риддер-Сокольного и других месторождений. Апатиты Ошурковского месторождения и т. п.	4±10 2,5±10	15±10 20±10
II. Вкрапленные			
II. 1. В массивных изверженных и осадочных породах	Вкрапленные руды полиметаллических месторождений Садовое, Миргалимсай. медные руды Алмалыка, редкометал-льных месторождений Белозиминское, Африкандское и т. п.	6,5±10	7± 5
II. 2. В жилах и дайках	Руды жильных золоторудных месторождений Средней Азии, Забайкалья, Якутии, оловянных и вольфрамовых месторождений Приморья, Якутии и др.	16±5	5±4
III. Прожилково- и слоисто-вкрапленные			
III. 1. Руды штокверковых месторождений	Руды вольфрамовых, молибденовых, медно-молибденовых месторождений Забайкалья, Казахстана и Средней Азии	6,5±5	10±8
III. 2. В линейно-вытянутых зонах трещиноватости	Руды полиметаллических месторождений Алтая, Средней Азии, Прибайкалья, оловорудных месторождений Комсомольского района, ртутных месторождений Терлиг-Хая и частично Никитовки и т. п.	8,3±6	10±8
IV.Прожилковые, слоистые и переливающиеся			
IV. 1. Прожилковые	Медные руды месторождения Дальнего: никель-кобальтовые руды Тувинской АССР, асбестовое месторождение Молодежное; оловянные - Тарбальджей, Иигода, Хрустальное; золотые - Советское, Коммунар и др.	3,3±15	25±15
IV. 2. Переслаивающиеся и полосчатые	Железистые кварциты Кольского полуострова, Кривого Рога, сферосидериты Дагестана	1,7±10	30±15
V. Прожилково-гнездовые			
V. Прожилково-гнездовые	Руды ртутных месторождений Средней Азии (Хайдаркан, Акташ, Чувай), отдельных участков Никитовки и др. Мусковит Луговского, Чуйского и Согдиондонского месторождений	20±10 6,5±5	4±3 8±5

2. Изучение влияния выхода керна на погрешность опробования для различных сортов руд (для бакалаврской работы)

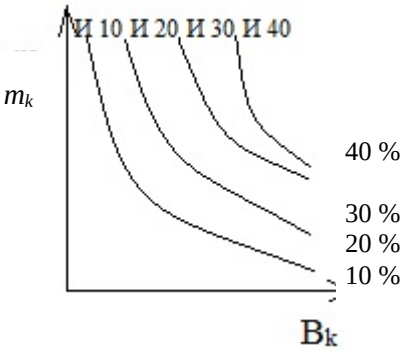
Слабонеоднородные руды **НП=2**

m_k\И	10 %	20 %	30 %	40 %
5 %	B_k^{1-1}	B_k^{1-2}	…	…
10 %	…	B_k		B_k^{2-4}
15 %	B_k^{3-1}			
20 %	…			B_k^{4-4}
25 %	B_k^{5-1}	…	…	B_k^{5-4}

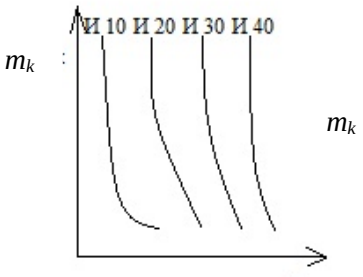


Средненеоднородные руды **НП=6**

m_k\И	10 %	20 %	30 %	40 %
5 %	B_k^{1-1}	B_k^{1-2}	…	…
10 %	…	B_k		B_k^{2-4}
15 %	B_k^{3-1}			
20 %	…			B_k^{4-4}
25 %	B_k^{5-1}	…	…	B_k^{5-4}



Сильнонеоднородные руды **НП=15**



m_k\И	10 %	20 %	30 %	40 %
5 %	B_k^{1-1}	B_k^{1-2}	…	…
10 %	…	B_k		B_k^{2-4}
15 %	B_k^{3-1}			
20 %	…			B_k^{4-4}
25 %	B_k^{5-1}	…	…	B_k^{5-4}

3. Основные аналитические задачи:

3.1. Для каких руд избирательность истирания более всего влияет на погрешность опробования?

3.2. При какой избирательности и в каких сортах руд наибольший эффект дают мероприятия по повышению выхода керна?

3.3. Постройте таблицу нормативных значений минимального выхода керна, при допустимой погрешности m_k=5 % (10 %, 15 %, 20 %, 25 %) для всех сортов руд (для всех табличных комбинаций НП и И).

Расчет №2

Определение рациональной частоты вращения бурового снаряда при твердосплавном бурении, рад/с

$$n = \frac{60*0,105\omega_0}{\pi*D_0} \approx \frac{2*\omega_0}{D_0};$$

$$n = \frac{60*\omega_0}{\pi*D_0} \approx \frac{20*\omega_0}{D_0}.$$

Таблица исходных данных

Обозначение	Наименование	Ед.изм	Пределы изменения		Примечание
			от	до	
ω_0	Окружная скорость движения резцов	м/с	1,0 крепкие породы (YI-YIII кат.)	3,0 мягкие породы (II-IYкат.)	Ограничивается сверхнормативным износом
D_0	Средний диаметр коронки	м	$46*10^{-3}$	$223*10^{-3}$	Стандарт
n_0	Частота вращения	Рад/с об/мин	9,3 93	65 500	Ограничение техническими условиями бурения

Расчет №3

Минимальная (критическая) частота вращения шнекового снаряда, рад/с

$$n_{\min} = \frac{30}{\pi} * \frac{\sqrt{g*(\tan a + f)}}{f' * R * (1 - f * \tan a)}.$$

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Единица измерения	Пределы измерения	
			от	до
R	Радиус вала шнека	м	$50*10^{-3}$	$89*10^{-3}$
a	Угол подъема винтовой ленты	град	10	30
f	Коэффициент трения породы о шнек	-	0,25	1,4
f'	Коэффициент трения породы о породу	-	0,2	1,5
g	Ускорение силы тяжести	м/с^2	9,8	

Основные аналитические задачи

1.1. Оцените влияние коэффициента трения породы о шнек и породы о породы на $n_{\min}$. Постройте графики зависимости $n_{\min}$ от f и f' для различных значений R и a.

1.2. Оцените влияние конструктивных параметров шнека (R и a) на $n_{\min}$ для вязких (f'=1,5; F=0,25). Постройте графики.

Расчет №4

Определение критической скорости восходящего потока и расхода очистного агента по предельным нормативным характеристикам (для воды малоглинистых растворов)

1. Критическая скорость восходящего потока очистного агента, м/с:

$$U_{kp} = K_{\text{ф}}\sqrt{\frac{d_u(\gamma_{\text{п}}-\gamma_{\text{р}})}{\gamma_{\text{р}}}}.$$

2. Рациональная скорость восходящего потока, м/с:

$$U_{\text{р}} = U_{\text{кр}} + U\ .$$

3. Расход промывочной жидкости, обеспечивающий рациональную скорость движения восходящего потока, м^3/с:

$$Q_{\text{кр}} = U_{\text{р}} * \frac{\pi(D^2_{\text{скв}}-d^2_{\text{бур.тр.}})}{4}.$$

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
$K_{\text{ф}}$	Коэффициент формы частиц шлама	-	2,5 (плоские)	5,11 (ид. шар)
d_u	Диаметр (средний размер) частиц	м	$0{,}1*10^3$	$1{,}5*10^3$
$\gamma_{\text{п}}$	Удельный вес горной породы, руды	т/м^3	2,0	5,5
$\gamma_{\text{р}}$	Удельный вес раствора	т/м^3	1	1,15
U	Желательная скорость движения шлама вверх	м/с	0,1	0,3
$d_{\text{бур.тр.}}$	Диаметр бурильной колонны, номинальный (без учета износа)	м	$32*10^{-3}$	$73*10^{-3}$
$d'_{\text{бур.тр.}}$	Диаметр бурильной колонны, с учетом износа	м	$30*10^{-3}$	$70*10^{-3}$
$D_{\text{скв}}$	Диаметр скважины, номинальный	м	$46*10^{-3}$	$225*10^{-3}$
$D'_{\text{скв}}$	Диаметр скважины, с учетом разработки ствола	м	$47*10^{-3}$ $230*10^{-3}$	$50*10^{-3}$ $250*10^{-3}$
$D''_{\text{скв}}$	Диаметр скважины, с учетом каверн	м	По геолого-геофизическим и гидрогеологическим данным $D_{\text{скв}}$ $500*10^{-3}$	
Q	Расход очистного агента	м^3/с л/мин	0,0002 10,0	0,003 160

Расчет №5

Критический расход глинистого раствора с учетом реологии раствора

$$Q_{\text{кр}} = 0{,}392 * \text{ŋ} * \frac{D+d}{\gamma}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{2*10^{-3}*\gamma*t_0*(D-d)^2}{3*\text{ŋ}}}\right]$$

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы измерения		Примечания
			от	до	
D	Диаметр долота	мм	46	225	
d	Диаметр колонны	мм	32	73	
ŋ	Пластическая вязкость	Пуаз (Па*с)	0,05	0,4	В зависимости от содержания глины в качестве раствора
γ	Уд. вес раствора	г/см^3	1,01	1,2	
$\boldsymbol{t}_0$	Динамическое напряжение сдвига	Дин/ см^2	50	600	
Q	Расход глинистого раствора Критическая скорость восходящего потока	л/с м/с	0,1	5,0	В зависимости от диаметра скважины

Расчет №6

Расчет осевой нагрузки при твердосплавном бурении, кН

$$P = \frac{b^2 * m}{\eta \sqrt{\frac{2\omega * \mu_К * D_Н * n * K * \tan a}{b * P_Ш}}}.$$

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
b	Ширина резца	м	$3*10^3$	$30*10^3$
K	Количество резцов на ширине кольца	шт	2 (М-1)	4 (СТ-2)
m	Количество основных резцов	шт	8 (М-1)	30 (СА-3)
$\boldsymbol{\mu_к}$	Коэффициент резцов о породу	-	0,2	1,0
$\boldsymbol{\omega}$	Удельный износ резца	$м^3/Н*м$	2	60
$D_н$	Наружный диаметр коронки	М	$46*10^3$	$225*10^3$
n	Частота вращения снаряда	рад/с	60	360
a	Угол приострения резца	град	45	90
η	Коэффициент угла приострения	-	0,97	0,9
$P_ш$	Твердость породы по штампу	Па	$1*10^6$	$70*10^3$

Расчет №7
Определение механической скорости (интенсивности) углубки скважины при твердосплавном бурении, м/ч

$$V_м = V_0 * e^{-\gamma t} = V_0 * (\frac{1}{e})^{\gamma t}.$$

Если $V_0 = 60 * n * h_0 * K * m$,

то $V_м = 60 * n * h_0 * K * m * e^{-\gamma t}$.

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
n	Частота вращения снаряда	об/мин	40	600
h_0	Торцовый вылет основных резцов	М	$0{,}1*10^{-3}$	$5*10^{-3}$
m	Количество резцов	шт	4	20
K	Коэффициент включения резцов	-	0,3	0,5
e	Основание натуральных логарифмов	1/град	2,71	2,71
γ	Декремент затухания	-	0,1	1
t	Текущее время (длительность рейса)	Ч	0,5	6
$V_м$	Интенсивность углубки (механическая скорость)	м/ч	0,15	25
V_0	Начальная механическая скорость	м/ч		

Здесь $V_м$ - величина приращения глубины скважины в единицу времени на данный момент (интенсивности углубки). Выражается показательной функцией постепенного замедления от максимального начального значения V_0 в соответствии с γ.

V_0 и γ зависят от технологических условий: прочности пород, абразивности, характеристик инструмента, параметров бурения $\{P_ш, K_{абр}, X_и, P_б\}$.

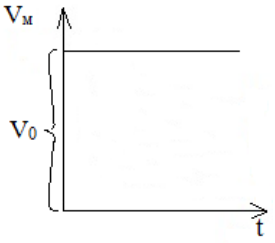
Чем легче условия бурения и лучше инструмент, тем больше V_0 (↑) и меньше γ (↓) - долго не замедляется бурение.

Чем интенсивнее режим бурения (максимальные параметры), тем больше V_0 (↑) и γ (↑) - вначале углубка идет быстро, но очень быстро замедляется - на малой глубине приемлемо.

Чем слабее режим бурения, тем меньше V_0 , но и тем медленнее затухание $V_м$ (см. рисунок).

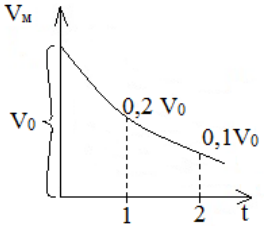
γ =0; $V_м$=V_0

Незатупл. инструмент



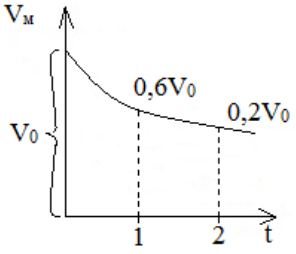
γ =1; $V_м$=V_0*$\left(\frac{1}{2,7}\right)^t$

Интенсивное затупление



γ =0,5; $V_м$=V_0*$\left(\frac{1}{2,7}\right)^t$

Интенсивное затупление



Графики изменения механической скорости
от декремента затухания

Расчет №8

Определение механической скорости бурения на основе физико-механических свойств пород при алмазном бурении, м/ч

$$V_{\text{м}} = L * F_{\text{д}}^{-a} * K_{\text{абр}}^{-a} .$$

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			однослойные алмазные коронки	импрегнированные алмазные коронки
$F_{\text{д}}$	Коэффициент динамической прочности	-	10-15	15-30
$K_{\text{абр}}$	Коэффициент абразивности пород	-	1,1-2,0	2,1-2,6
L	Коэффициент конструктивности коронки	-	5,9	0,14
$-a$	Коэффициент влияния прочности пород	-	0,36	0,2
-β	Коэффициент влияния абразивности пород	-	0,5	0,2
$V_{\text{м}}$	Механическая скорость бурения	м/ч	1,8-1,9	0,15-0,12

Расчет №9

Расчет шпинделя бурового станка

Шпиндель испытывает осевую нагрузку от механизма подачи и крутящий момент.

1. Напряжение от осевой нагрузки, Н/м^2:

$$\sigma = \frac{4Q}{\pi*(D^2-d^2)}.$$

2. Крутящий момент на шпинделе, Н·м:

$$M = 9750\frac{N^{max}}{n}.$$

$$N_{\max} = N_g * \eta * \lambda \text{, кВт}$$

3. Касательные напряжения от крутящего момента, снимаемого со шпинделя, Н/м^2:

$$\tau = \frac{M}{2W};$$

$$W = \frac{\pi}{16} * \frac{D^4-d^4}{D} \text{, м}^3.$$

4. Полное приведенное напряжение в теле шпинделя, Н/м^2:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma^2 - \tau^2}.$$

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
Q	Усилие подачи станка	Н	40000	50000
D	Наружный диаметр шпинделя	м	$51*10^{-3}$	$61*10^{-3}$
d	Внутренний диаметр шпинделя	м	$43*10^{-3}$	$53*10^{-3}$
$N_{\max}$	Мощность, передаваемая на шпиндель	кВт	-	-
n	Число оборотов шпинделя	-	80	1500
N_g	Номинальная мощность шпинделя	-	0,8	
η	КПД передачи от вала двигателя до шпинделя	-		
λ	Коэффициент возможной перегрузки: - электродвигатель -двигатель внутреннего сгорания	 - -	 1,5 1,1	 2,0 1,15

Расчет №10

Расчет механического зажимного патрона

Расчет патрона приведен для двух плашек, управляемых двумя болтами.

1. Допустимое осевое усилие по болту из условий его прочности на сжатие, Н:

$$P = F[\sigma_{сж}] .$$

2. Допустимое осевое давление, развиваемое болтом, Н:

$$P' = \frac{\pi*(d^2-d_t^2)*I*P}{4t} .$$

3. Сила трения, при закреплении ведущей трубы в двух патронах, Н:

$$T = 4P' * f.$$

4. Окружное усилие, передаваемое патроном, Н:

$$P_0 = \sqrt{T_0^2 - Q^2}$$

5. Передаваемая мощность патронами, кВт:

$$N = \frac{P_v*V}{75} .$$

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
F	Площадь поперечного сечения	м^2	0,04	0,06
$[\sigma_{сж}]$	Допустимое напряжение сжатия	Н/м^2	1000*10^5	1400*10^5
d	Наружный диаметр резьбы болта	м	0,03	0,5
d_1	Внутренний диаметр резьбы болта	м	0,025	0,4
I	Длина резьбы болта	м	0,03	0,5
P	Наибольшее удельное давление болта	Н/м^2	65*10^5	75*10^5
t	Шаг резьбы болта	м	0,003	0,004
f	Коэффициент трения между плашками и бурильной трубой	-	0,35	0,4
Q	Осевое усилие	Н	40000	120000
V	Окружная скорость	м/с	0,2	0,85

Расчет №11

Расчет фрикционной лебедки

1. Скорость вращения подъемного вала лебедки, мин$^{-1}$:

$$n_2 = n_1 \frac{d_1}{d_2} \varphi.$$

2. Скорость навивки каната на барабан, м/с:

$$V = \frac{(D+d)n_2}{60}.$$

3. Окружная скорость на ободе большого фрикционного колеса, м/с:

$$V_1 = \frac{\pi * d_2 * n_2}{60}.$$

4. Окружное усилие на ободе барабана, Н:

$$P = \frac{75 * N * \eta}{V}.$$

5. Окружное усилие на ободе фрикционного колеса, Н:

$$P_ф = \frac{75 * N * \eta}{V_1}.$$

6. Необходимое усилие нажатия фрикционных колес друг на друга, Н:

$$Q = \frac{k * P_ф * \sin \alpha}{f}$$

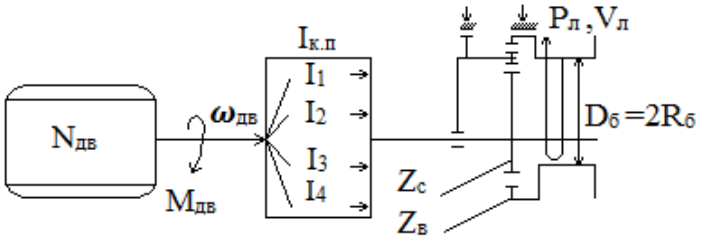
Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
n_1	Число оборотов приводного вала станка	мин$^{-1}$	80	
d_1	Диаметр малого фрикционного колеса	м	0,15	
d_2	Диаметр большого фрикционного колеса	м	0,8	
φ	Коэффициент скольжения при фрикционной передаче	-	0,98	
D	Диаметр барабана	м	0,22	
d	Диаметр каната	м	0,12	
N	Мощность электродвигателя станка	кВт	11	
η	КПД передачи от двигателя до барабана	-	0,8	
k	Коэффициент запаса	-	1,5	
α	Угол наклона боковых поверхностей клиньев	град	12	15
f	Коэффициент трения чугуна по стали	-	0,2	

Расчет №12

Анализ взаимосвязи мощности привода, конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик планетарной лебедки бурового станка

1. Принципиальная расчетная схема



2. Основные расчетные формулы:

$$N_{\text{дв}} = 713 * M_{\text{дв}} * \omega_{\text{дв}}(\text{л.с.}) = 973 * M_{\text{дв}} * \omega_{\text{дв}}, \text{кВт}$$

$$M_{\text{Б}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} * i_{\text{к.п.}} * \frac{Z_{\text{с}}}{Z_{\text{В}}}, \text{Н*м};$$

$$\text{Р}_{\text{л}} = \frac{M_{\text{Б}}}{R_{\text{Б}}}, \text{Н};$$

$$\omega_{\text{Б}} = \frac{N_{\text{ДВ}}}{M_{\text{Б}}} * \frac{i}{i_{\text{К.П.}}} * \frac{Z_{\text{В}}}{Z_{\text{С}}}, \text{об/мин};$$

$$V_{\text{Л}} = \omega_{\text{Б}} * 2\pi * R_{\text{Б}}, \text{м/мин}.$$

Таблица основных исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
$N_{\text{дв}}$	Мощность двигателя	кВт л.с.	10 15	150 220
$\omega_{\text{дв}}$	Число оборотов двигателя	об/мин	1200	5000
$I_{\text{к.п.}}$	Передаточное число коробки перемены передач	-	1 (прямая передача)	10 (высшая передача)
$D_{\text{б}}$	Диаметр барабана лебедки	м	0,2	0,7
$Z_{\text{с}}$	Число зубьев солнечной шестерни лебедки	шт	50	150
$Z_{\text{в}}$	Число зубьев венца лебедки	шт	250	1500

3. Основные эксплуатационные характеристики лебедки

$P_{\text{л}}$ – рабочее усилие (грузоподъемность на прямом канате, кГс, Тс, кН, даН) на конкретной передаче ($P_{\text{л}1}$, $P_{\text{л}2}$, $P_{\text{л}3}$, …);
$V_{\text{л}}$ – скорость подъема груза (на прямом канате, м/мин) на конкретной передаче ($V_{\text{л}1}$, $V_{\text{л}2}$, $V_{\text{л}3}$, …).

4. Основное задание

4.1. Рассчитать и построить графики зависимости эксплуатационных характеристик лебедки ($V_{\text{л}}$, $P_{\text{л}}$) от конкретных параметров бурового станка: $Z_{\text{с}}$ и $Z_{\text{в}}$, $D_{\text{б}}$, i_{i}.

4.2. Рассчитать и построить графики зависимости мощности и механической характеристики ($\omega_{\text{дв}}$=F($N_{\text{дв}}$)) двигателя.

Расчет №13

Расчет талевой системы

1. Натяжение на струне талевой системы, Н:

$$P_m = \frac{P_л}{\beta^m}.$$

2. Натяжение каната наматываемого на барабан лебедки, Н:

$$P_л = Q * \frac{\beta^m(\beta-1)}{\beta^m-1}.$$

3. Натяжение закрепленного конца каната, Н:

$$P_m = Q * \frac{\beta-1}{\beta(\beta^m-1)}.$$

4. КПД талевой системы, Н:

$$\eta = \frac{1}{m} * \frac{(\beta^m-1)}{\beta^m*(\beta-1)}.$$

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
β	Коэффициент сопротивления узла одного ролика	-	1,03	1,04
m	Число струн талевой системы	шт	1	6
Q	Нагрузка на крюке	Н	15000	55000

Расчет №14

Расчет колонны бурильных труб на прочность

Сечение I-I

1. Напряжение растяжения, Н/м^2:

$$\sigma_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{кр}}}{F}.$$

2. Напряжение кручения, Н/м^2:

$$\tau = \frac{M_{\text{б}}}{W_{\text{р}}}.$$

3. Крутящий момент при бурении, Н*м:

$$M_{\text{б}} = \frac{N_{\text{б}}}{\omega}.$$

4. Мощность, затрачиваемая на бурение, кВт:

$$N_{\text{б}} = N_{\text{тр}} + N.$$

5. Первый момент сопротивления, м^3:

$$W_{\text{р}} = 0{,}1 * \frac{d_{\text{н}}^4 - d_{\text{в}}^4}{d_{\text{н}}}.$$

6. Суммарное напряжение в сечение I-I:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{р}}^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma_g].$$

Сечение II-II

7. Напряжение сжатия, Н/м^2:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{ос}}}{F}.$$

8. Напряжение изгиба, Н/м^2:

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{\pi^2 * E * D * f}{2 * 1^2}.$$

9. Напряжения кручения, Н/м^2:

$$\tau = \frac{M_{\text{б}}}{W_{\text{р}}}.$$

10. Мощность, затрачиваемая на бурение, кВт:

$$N_{\text{б}} = 1{,}5 * N_{\text{з}}.$$

11. Суммарное напряжение в сечение II-II, Н/м^2:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{из}})^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma_g].$$

12. Запас статической прочности колонны:

$$n = \frac{\sigma_г}{\sigma_\Sigma} \geq 1{,}7 .$$

13. Запас прочности по нормальным напряжениям:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{из} * k_g} .$$

14. Запас прочности по касательным напряжениям:

$$n_\tau = \frac{\tau_г}{\tau} .$$

15. Суммарный запас прочности:

$$n_\Sigma = \frac{n_\sigma * n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 * n_\tau^2}} .$$

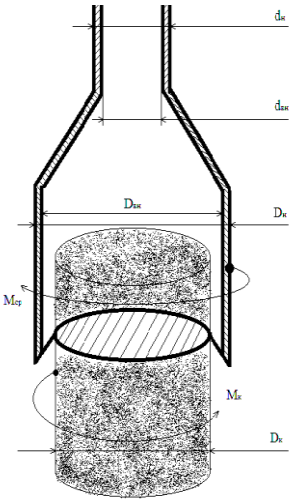
Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
$Q_{кр}$	Нагрузка на крюке	Н	0	55000
F	Площадь опасного сечения	м^2	2,16*10^{-4}	7,06*10^{-4}
$M_б$	Крутящий момент при бурении	Н*м	70	6500
$W_р$	Полярный момент сопротивления	м^3	5,4*10^{-6}	10,6*10^{-6}
$N_б$	Мощность, затрачиваемая на бурение	кВт	1,5	70
$d_н$	Наружный диаметр бурильных труб	м	42	54
$d_в$	Внутренний диаметр бурильных труб	м	22	40
$P_{ос}$	Осевая нагрузка на забой	Н	0	120000
E	Модуль упругости	Н/м^2	0,7*10^{11}	2,1*10^{11}
D	Диаметр скважины	м	0,037	0,133
f	Стрела прогиба	м	0,01	0,025
I	Длина полуволны	м	5	30
$\boldsymbol{\omega}$	Угловая скорость вращения снаряда	с$^{-1}$	8,3	156
$N_{гр}$	Затраты мощности на вращение колонны бурильных труб	кВт	12	40
$N_з$	Затраты мощности на разрушение забоя	кВт	1,2	2,5
$[\sigma_g]$	Предел прочности материала, из которого изготовлены бурильные трубы	Н/м^2	230*10^5	683*10^5

Расчет №15

Сопоставление конструктивных характеристик бурового снаряда и параметров керна при срыве вращением

1. Принципиальная схема и таблица исходных расчетных данных



Пара-метр	Наименова-ние	Ед. изм.	Пределы изменения	
			от	до
$d_н$	Наружный диаметр бурильных труб	м	$32*10^{-3}$	$73*10^{-3}$
$d_{вн}$	Внутренний диаметр бурильных труб	м	$22*10^{-3}$	$59*10^{-3}$
$D_н$	Наружный диаметр колонковой трубы	м	$34*10^{-3}$	$219*10^{-3}$
$D_{вн}$	Внутренний диаметр колонковой трубы	м	$27*10^{-3}$	$203*10^{-3}$
$D_к$	Диаметр керна	м	$23*10^{-3}$	$199*10^{-3}$
$[\tau_{тр}]$	Прочность материала труб при кручении	МПа	162	284
$[\tau_к]$	Прочность горных пород при кручении	МПа	1,5	56,0

2. Основные аналитические зависимости.

Момент срыва керна $M_{ср}$ равен моменту реакции керна $M_к$, Н*м :

$$M_{ср} = [\tau_{тр}] * W_{тр} = [\tau_к] * W_к = M_к$$

где $W_{тр}$- момент сопротивления поперечного сечения труб, м^3:

а) бурильных труб:

$$W_{тр}^{б.тр} = \frac{\pi}{16} * \frac{d_н^4 - d_{вн}^4}{d};$$

б) колонковых труб:

$$W_{тр}^{к} = \frac{\pi}{16} * \frac{D_{н.к.т.}^4 - D_{вн.к.т}^4}{D_{н.к.т}};$$

$W_к$- момент сопротивления поперечного сечения керна, м^3:

$$W_к = \frac{\pi * D_к^4}{32}.$$

3. Основные аналитические задачи

3.1. Задайте некоторое значение прочности горной породы и материала труб. Постройте графики зависимости минимальных значений наружного диаметра бурильных труб (при постоянной толщине стенок) от диаметра керна.

3.2. При тех же условиях постройте график зависимости диаметра колонковой трубы от диаметра срываемого керна.

3.3. Задайте некоторый постоянный диаметр керна и материала труб. Постройте графики зависимости минимального диаметра бурильных труб от прочности горной породы.

3.4. При тех же условиях постройте график зависимости диаметра колонковой трубы от прочности горной породы.

3.5. Задайте диаметры труб и керна, постройте график зависимости необходимой прочности труб от диаметра срываемого керна.

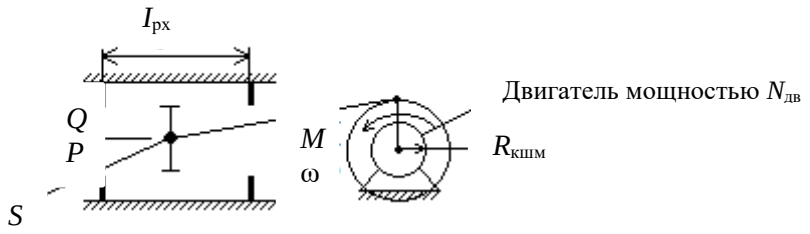
3.6. Задайте диаметры труб, прочность горной породы и постройте график зависимости необходимой прочности труб от диаметра срываемого керна.

3.7. Повторите расчеты 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 при измененных начальных условиях.

Расчет №16

Анализ взаимосвязи мощности привода, конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик бурового промывочного насоса

1. Принципиальная расчетная схема



2. Основные расчетные формулы

$$N_{дв} = K_i * M * \beta ,$$

где М – крутящий момент, кГс*м;
ω- частота вращения, об/мин;
$N_{дв}$- мощность двигателя (при K_1=973 кВт, а при K_2=713 л. с.).

$$Q = S * I_{рх} * \omega;$$

$$P = \frac{M}{R_{кшм}} * \frac{1}{S};$$

$$I_{рх} = 2 * R_{кшм} ,$$

где Q – расход промывочной жидкости, м^3/мин;
S – площадь поршня, м^2;
$I_{рх}$ – ход поршня, м;
P – рабочее давление в напорной магистрали, кГс/м^2
$R_{кшм}$ – радиус кривошипа, м.

3. Расчетно-аналитические задачи

3.1. При постоянной мощности асинхронного двигателя:
- Как влияет площадь поршня S на эксплуатационные характеристики насоса (построить графики $P=f_1(S)$ и $Q=f_2(S)$ для N=10, … 50 кВт).
- Как влияет радиус кривошипа и величина рабочего хода поршня на эксплуатационные характеристики насоса.

3.2. С изменяемой мощностью:
- До какой глубины возможно применение насоса с приводом 10, 20, …50 кВт, если гидросопротивления на каждые 100 м скважины при алмазном бурении (Q=300 л/мин) составляют 10 атмосфер, при твердосплавном бурении (Q=60 л/мин) 7 атмосфер, при шарошечном бурении (Q=100 л/мин) 15 атмосфер.

Расчет №17

Расчет эрлифта для откачки воды из скважины

Условия откачки:

- Проектный дебит откачки Q, м^3/ч.
- Глубина статического уровня в скважине h_0, м.
- Проектное понижение уровня воды при откачке $h_п$, м.
- Мощность водоносного горизонта m, м.
- Глубина залегания водоносного горизонта L, м.
- Конструкция эрлифта с расположением эрлифтных труб по схеме «рядом».

Расчетная схема представлена на рисунке.

1. Расчет глубины погружения смесителя

1.1 Определяется проектный динамический уровень воды в скважине, при откачке воды относительно излива:

$$h_g = h_0 + h_п + h_и ,$$

где h_g – проектный динамический уровень, м;

h_0– статический уровень, м;

$h_п$– проектное понижение уровня, при откачке ($h_п \leq 0{,}4\ m$), м;

m – мощность водоносного горизонта, м;

$h_и$ – высота расположения излива относительно устья скважины (0,5 м), м.

1.2. Определяется глубина погружения смесителя относительно уровня излива, при проектном динамическом уровне воды в скважине:

$$H = K + h_g ,$$

где H- погружение смесителя относительно уровня излива, м;

h_g- динамический уровень относительно излива, м;

K- коэффициент погружения смесителя.

Абсолютная величина коэффициента погружения смесителя K в зависимости от динамического уровня определяется опытным путем и поэтому принимается при расчетах согласно табл.1.

Таблица 1

Зависимость коэффициента погружения смесителя эрлифта от динамического уровня

h_g	70-40	60-20	30-10
K	1,4-1,6	1,7-2	2,5-3

2. Расчет расхода и давления воздуха, нагнетаемого в эрлифтную систему

2.1. Определяется удельный расход воздуха для откачки из скважины 1 м^3 воды:

$$W_0 = \frac{h_g}{C_0 * \log_{10} \frac{h_g * (K-1) + 10}{10}} ,$$

где W_0 – удельный расход воздуха, приводимый к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин;

h_g– динамический уровень воды в скважине, м;

K – принятый коэффициент погружения смесителя;

C_0 – опытный коэффициент, зависящий от коэффициента погружения смесителя, принимается согласно табл. 2.

Таблица 2

Зависимость коэффициента C_0 от K

K	4	3,35	2,85	2,5	2,2	2	1,8	1,7	1,55
C_0	14,3	13,9	13,6	13,1	12,4	11,5	10	9	8

При расчете удельного расхода воздуха для откачки из скважины жидкостей, имеющих удельный вес больше единицы ($\gamma_ж > 1$), г/см^3, необходимо W_0 умножить на $\gamma_ж$.

2.2. Определяется полный расход воздуха для откачки воды из скважины с проектной производительностью Q, м^3/ч:

$$\sum W_0 = \frac{Q * W_0}{60},$$

где $\sum W_0$ – суммарный полный расход воздуха, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин;
Q – проектный дебит откачки, м^3/мин
W_0 – удельный расход воздух, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин.

3. Расчет необходимого давления и производительности для выбора компрессора

3.1. Определение необходимого давления сжатого воздуха, при спуске компрессора:

$$P_п = 0{,}01 * \left(K * (h_g - h_0\right) + P_1),$$

где $P_п$ – пусковое давление компрессора, МПа;
K – принятый коэффициент погружения смесителя;
h_g – динамический уровень воды в скважине, м;
h_0 – статический уровень воды в скважине, м;
P_0 – потери напора в воздухопроводах, при спуске компрессора: $P_1 = 1$ м. вод. ст.

3.2. Определение рабочего давления компрессора в процессе откачки воды из скважины:

$$P_р = 0{,}01 * (h_g * (K - 1) + P_2,$$

где $P_р$ – рабочее давление компрессора, МПа;
h_g – динамический уровень воды в скважине, м;
K – принятый коэффициент погружения смесителя;
$P_р$ – потери напора в воздухопроводах, при процессе откачки.

3.3.Определение рабочего расхода сжатого воздуха в процессе откачки воды из скважины с проектной производительностью Q, м^3/ч:

$$W_р = \sum W_0 * \frac{P_0}{P_p},$$

где $W_р$ – рабочий расход промывочной жидкости, м^3/мин;
$\sum W_0$ – полный расход воздуха, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин;
P_0 – атмосферное давление воздуха, P_0=0,1 МПа;

$P_р$ – рабочее давление сжатого воздуха, МПа.

3.4. Выбор компрессора для оборудования эрлифта.

Для откачки воды из скважины м проектной производительностью Q давление компрессора $P_к$ и производительностью компрессора $q_к$ выбирается согласно следующим условиям:

$$Р_к \geq Р_п; \quad P_к \geq Р_р; \quad q_к \geq W_р.$$

4. Расчет внутренних диаметров эрлифтных колон

4.1. Выбор скоростей движения потоков воздуха и аэрированной воды в эрлифтных колоннах труб.

Для устойчивой и эффективной работы эрлифта необходимо обеспечить следующие скорости движения потоков воздуха и аэрировонной воды в эрлифтных колоннах труб:

$V_в$ – скорость потока в воздухопроводной колонне труб:

$$V_в=10 \text{ м/с};$$

$V_с$ – скорость потока аэрированной воды в водоподъемной колонне труб над смесителем

$$V_с=(2\text{-}4) \text{ м/с};$$

$V_н$ – скорость потока аэрированной воды в водоподъемной колонне труб, перед изливом

$$V_н=(6\text{-}12) \text{ м/с}.$$

$V_с$ и $V_н$ зависят от h_g (чем больше h_g, тем больше $V_с$ и $V_н$).

4.2. Расчет площади сечения потока воздуха в воздухопроводной колонне:

$$\omega_в = \frac{W_р}{60 * V_в},$$

где $\omega_в$ – площадь сечения потока воздуха в воздухопроводной колонне, м^2;

$W_р$ – рабочий расход сжатого воздуха, м^3/мин;

$V_р$ – скорость потока воздуха в воздухопроводной колонне, м/с.

4.3. Расчет площади потока аэрированной воды в водоподъемной колонне

4.3.1. Определение расхода воды над смесителем:

$$q_c = \frac{Q}{360} + \frac{W_p}{60},$$

где $q_с$– расход аэрированной воды над смесителем, м^3/с;

Q – проектный дебит откачки, м^3/ч;

$W_р$ – рабочий расход сжатого воздуха, м^3/мин.

4.3.2. Расчет площади сечения потока аэрированной воды над смесителем:

$$\omega_с = \frac{q_с}{V_с},$$

где $\omega_с$ – площадь сечения потока над смесителем, м^2;

$q_с$ – расход потока над смесителем, м^3/ч;

$V_с$ – скорость потока над смесителем, м/с.

4.3.3. Определение расхода аэрированной воды перед изливом:

$$q_н = \frac{Q}{3600} + \frac{\sum W_0}{60},$$

где $q_н$ – расход аэрированной воды перед изливом, м^3/ч;

Q – проектный дебит откачки, м^3/ч;

$\sum W_0$– суммарный полный расход воздуха, приведенный к 1 атм или 0,1 МПа, м^3/мин.

4.3.4. Расчет площади сечения аэрированного воды перед изливом:

$$\omega_{н} = \frac{q_{н}}{V_{н}},$$

где $\omega_{н}$ – площадь потока перед изливом, м^3;

$q_{н}$ – расход потока перед изливом, м^3/ч;

$V_{н}$ – скорость потока перед изливом, м/с.

4.4. Расчет внутренних диаметров внутренних эрлифтных колонн

Внутренние диаметры эрлифтных колонн определяются на основании площадей сечений потоков воздуха в воздухопроводной колонне и аэрированной воды в водоподъемной колонне по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4\omega_{н}}{\pi}},$$

где d- внутренний диаметр трубы, м;

$\omega_{н}$- площадь сечения потока в трубе, м^2.

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы изменений	
			от	до
L	Глубина залегания водоносного горизонта	м	50	150
h_0	Статический уровень воды	м	8	26
$h_{н}$	Понижение уровня воды	м	1	5
Q	Дебит	м^3/ч	10	130
m	Мощность водоносного горизонта	м	2	14

Расчет №18

Цементирование скважин

Основная цель цементирования – получение прочного водогазонефте непроницаемого, концентрично расположенного в затрубном пространстве кольца цементного камня, который по всей высоте обеспечивал бы разобщение и надежную изоляцию вскрытых скважиной продуктивных горизонтов и зон осложнений.

Способ цементирования выбирается в зависимости от температуры в ее стволе, опасности поглощения при заданной высоте подъема цементного раствора и возникновения затрубных проявлений в период ОЗЦ для каждой конкретной скважины.

Расчет цементирования сводится к определению:

- потребного количества сухого цемента, воды, промывочной жидкости;
- конечного давления при цементировании и выбора типа и потребного количества цементировочных агрегатов и цементно-смесительных машин;
- продолжительности цементирования.

1. Определение потребного количества сухого цемента, воды, продавочной жидкости при цементировании обсадной колонны

1.1. Определение потребного количества цементного раствора, м^3:

$$V_{\text{п.р.}} = \frac{\pi}{4}\left[(k^2 \cdot D^2 - d^2) \cdot h_{\text{ц}} + h_0 \cdot d_{\text{в}}^2\right],$$

где k – коэффициент увеличения ствола скважины (k = 1,1÷1,25).

1.2. Определение удельного веса цементного раствора, г/с^3:

$$\gamma_{\text{ц.р}} = \frac{\gamma_{\text{ц}} \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot (1+m)}{m \cdot \gamma_{\text{ц}} + \gamma_{\text{в}}},$$

где $\gamma_{\text{ц}}$, $\gamma_{\text{в}}$ - соответственно удельный вес сухого цемента и воды ($\gamma_{\text{ц}}$ = 3,15 г/см^3, $\gamma_{\text{в}}$ =1,0 г/см^3);

m – цементное отношение.

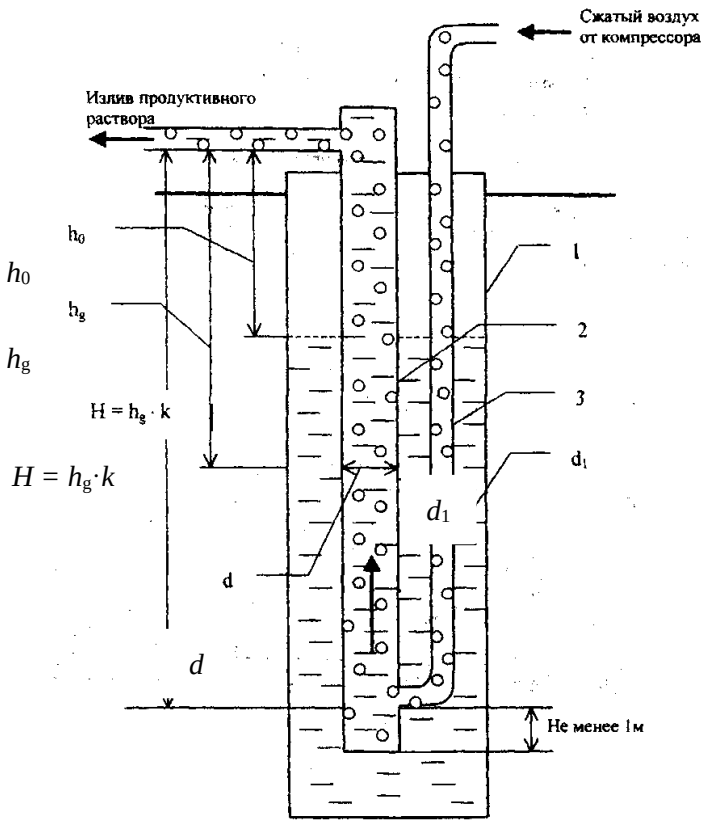


Схема эрлифта с расположением труб «рядом»:

1 – обсадные трубы; 2 – водоподъемные трубы; 3 – воздухопроводные трубы

1.3. Определение потребного количества сухого цемента, т:

$$Q_{\text{ц}} = e \cdot \frac{1}{1+m} \cdot \gamma_{\text{ц.р}} \cdot V_{\text{ц.р}} ,$$

где e – коэффициент, учитывающий потери сухого цемента при транспортировке и затворении (e = 1,03÷1,05).

1.4. Определение потребного количества воды для затворения цемента, м^3:

$$V_{\text{в}} = m \cdot Q_{\text{ц}} .$$

1.5. Определение объема продавочной жидкости, м^3:

$$V_{\text{пр}} = \Delta \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2_{\text{вн.ср}} \cdot (L - h_0) ,$$

где Δ - коэффициент, учитывающий сжатие жидкости (Δ = 1,03 ÷ 1,05).

Таблица исходных данных

Пара-метр	Наименование	Ед. изм.	Пределы измерений		Примечание
			от	до	
D	Диаметр долота	м	161	445	D (161, 172, 190, 214, 243, 269, 295, 320, 346, 370, 394, 445)
d	Диаметр обсадных труб	м	114	340	d (114, 127, 146, 168, 178, 194, 219, 245, 273, 299, 324, 340, 508)
δ	Толщина стенки обсадных труб	мм	6,5	12	
$d_{\text{вн.ср}}$	Средний внутренний диаметр обсадных труб	м	$(d-\delta)$		
$h_{\text{ц}}$	Высота подъема цементного раствора за колонной	м	50	4000	
h_0	Высота цементного стакана в колонне	м	20	20	
L	Глубина спуска обсадных труб	м	50	4000	

2. Определение конечного давления при цементировании

2.1 Определение давления в цементировочной головке в конце цементирования, атм:

$$P_{\max} = P_{\text{гидр}} + 0{,}1 \cdot \left[\left(L - h_{\text{ц}}\right)\gamma_{\text{г.р}} + \left(h_{\text{ц}} - h_0\right)\gamma_{\text{г.р}} - (L - h_0)\gamma_{\text{пр.ж}}\right] + (15 \div 20),$$

где $P_{\text{гидр}}$ – гидравлические сопротивления, атм.:

$$P_{\text{гидр}} = 0{,}01L + 8, (V_{\text{восх}} \leq 1 \text{ м/с и 1 агрегатом}),$$

$$P_{\text{гидр}} = 0{,}02L + 16, (V_{\text{восх}} > (1 \div 2)\text{м/с});$$

L – длина эксплуатационной колонны, м;

$h_{\text{ц}}$ - высота цементирования, м;

h_0 - высота цементного стакана, м;

$\gamma_{\text{г.р}}$ - плотность глинистого раствора, г/см^3;

$\gamma_{\text{п}}$ – плотность продавочной жидкости, г/см^3.

$(15 \div 20)$ - скачок давления на манометре в момент посадки продавочной пробки на упорное кольцо, атм.

Выбор ЦА $P_{\text{агр}} \geq P_{\max}$(выписываем характеристику ЦА – P и q).

2.2. Определение производительности цементировочного кольца агрегата в конце цементировочного агрегата в конце цементирования, м^3/с:

$$\sum q = \frac{\pi}{4} \cdot (K^2 \cdot D^2 - d^2) \cdot V_{\text{восх,}}$$

где K – коэффициент кавернозности;

$V_{\text{восх}}$ - скорость восходящего потока, м/с.

2.3. Определение необходимого количества цементировоч-ных агрегатов по скорости, шт:

$$n = \frac{\sum q}{q^{\text{v}}} + 1,$$

где $\sum q$ – необходимый расход для обеспечения заданной скорости поднятия цементного раствора за эксплуатационную колонну, м^3/с;

q^v – производительность выбранного агрегата на высшей скорости, л/с.

Характеристика 3ЦА-400

Скорость	Число двойных ходов поршня насоса в 1мин	d = 100 мм		d = 115 мм		d = 127 мм	
		подача, л/с	давление, атм	подача, л/с	давление, атм	подача, л/с	давление, атм
I	53,2	6,5	400	8,6	305	11,25	232
II	76,2	9,6	270	12,7	205	16,10	163
III	112,5	14,2	182	18,7	138	23,8	110
IV	156,0	19,7	131	26,0	100	33,0	79

Характеристика ЦА-320М

Режим работы	Скорость	Число двойных ходов поршня насоса в 1мин	d = 90 мм		d = 100 мм		d = 115 мм		d = 127 мм	
			подача, л/с	подача, л/с	давление, атм	давление, атм	давление, атм	давление, атм	давление, атм	давление, атм
Максимальная производительность	I	28	2,4	390	3,0	305	4,1	225	5,1	182
	II	54	4,5	202	5,8	159	7,9	117	9,9	95
	III	97	8,3	113	10,4	88	14,2	65	17,6	52
	IV	125	10,6	87	13,5	69	18,3	50	22,8	40
Максимальное давление	I	27	2,3	400	2,9	320	3,9	230	4,9	185
	II	41	3,5	231	4,4	182	6,0	134	7,5	109
	III	73	6,2	130	7,8	103	10,7	75	13,3	61
	IV	94	8,0	102	10,1	80	13,8	59	17,1	47

2.4. Определение количества цементно-смесительных машин, шт:

$$i = \frac{Q_{\text{ц}}}{20},$$

где $Q_{\text{ц}}$ - количество цемента, необходимое для цементирования эксплуатационной колонны, т.

Таблица исходных данных

Параметр	Наименование	Ед. изм.	Пределы измерений	
			от	до
D	Диаметр долота	м	161	445
d	Диаметр обсадных труб	м	114	340
L	Глубина спуска обсадной колонны	м	50	4000
$h_{\text{ц}}$	Высота подъема цементного раствора за колонной	м	50	4000
h_0	Высота цементного стакана в колонне	м	20	20
$\gamma_{\text{г.р}}$	Удельный вес глинистого раствора	г/см^3	1,2÷1,25÷ 1,3	
$\gamma_{\text{ц.р}}$	Удельный вес цементного раствора	г/см^3	1,9÷ 1,85 ÷ 1,8	
$\gamma_{\text{п}}$	Удельный вес продавочной жидкости	г/см^3	1,0÷ 1,25	
$V_{\text{восх.}}$	Скорость подъема восходящего потока цементного раствора в затрубном пространстве: - для кондукторов и технических колонн - для эксплуатационных колонн	м/с	 (0,6÷ 0,8) (1,2÷1,5)	
k	Коэффициент увеличения диаметра ствола скважины	-	1,1	1,25

3. Определение продолжительности цементирования обсадной колонны

Возможность начала закачки определяется следующим условием:

$$P^V > P_г,$$

где P^V – максимальное давление, развиваемое ЦА на наивысшей скорости, атм;
$P_г$ - давление на преодоление в скважине в скважине гидравлических сопротивлений, атм.

$$P_г = 0{,}01L + 8 \text{ (при } V_{восх} \leq 1 \text{ м/с)};$$

$$P_г = 0{,}02L + 16 \text{ (при } V_{восх} \leq 2 \text{ м/с)}.$$

Если условие не выполняется, выбираем ближайшую скорость, на которой

$$P_{агр} > P_г.$$

3.1. Определяем, сколько цементного раствора будет закачано на этих скоростях:

$$h_{ц.р}^{IV} = \frac{10(P_г - P^V)}{(\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р})},$$

где $h_{ц.р}^{IV}$ - высота столба цементного раствора, который необходимо закачать на IV скорости, м;

P^V – давление, создаваемое насосом агрегата на V скорости.

Определяем объем раствора, закачанного на IV скорости, м^3:

$$V_{ц.р}^{IV} = \frac{\pi \cdot d_{вн.ср}^2}{4} \cdot h_{ц.р}^{IV},$$

Определяем объем цементного раствора, закачанного на V скорости, м^3:

$$V_{ц.р}^{V} = V_{ц.р} - V_{ц.р}^{IV}.$$

3.2. Определение высоты столба продавочной жидкости в колонне при работе агрегата на V скорости, м:

$$I_i^V == \frac{L \cdot (d_{вн}^2 + k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2) + (k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2) \cdot \frac{10(P_н^V - P_г)}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}} - \frac{4V_{ц.р}}{\pi}}{(k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2)\frac{\gamma_{ц.р} - \gamma_{пр.ж}}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}} + d_{вн}^2}.$$

Определяем постоянные элементы для данной формулы:

$$a = L \cdot (d_{вн}^2 + k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2);$$

$$b=(k^2 \cdot D_с^2 - d_{э.к}^2);$$

$$c = \frac{\gamma_{ц.р} - \gamma_{пр.ж}}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}};$$

$$Z = \frac{4V_{ц.р}}{\pi};$$

$$I_1^V = \frac{a + b \cdot \frac{10(P_н^V - P_г)}{\gamma_{ц.р} - \gamma_{гл.р}} - Z}{b \cdot c + d_{вн}^2}.$$

3.3. Определение высоты подъема цементного раствора за колонной на V скорости агрегата, м:

$$I_2^V = \frac{a + b \cdot \frac{10(P_{\text{н}}^V - P_{\text{г}})}{\gamma_{\text{ц.р}} - \gamma_{\text{гл.р}}} - Z}{b \cdot c + d_{\text{вн}}^2},$$

т. е.

$$I_2^v = \frac{Z - d^2(L - I_1^v)}{b}.$$

3.4. Высота столба продавочной жидкости на IV скорости агрегата, м:

$$I_1^{IV} = \frac{a + b \cdot \frac{10(P^{IV} - P^V)}{\gamma_{\text{ц.р}} - \gamma_{\text{гл.р}}} - Z}{b \cdot c + d_{вн}^2}.$$

3.5. Высота подъема цементного раствора за колонной на IV скорости агрегата, м:

$$I_2^{IV} = \frac{Z - d^2(L - I_1^{IV})}{b}.$$

3.6. Высота столба продавочной жидкости на III скорости агрегата, м:

$$I_2^{III} = \frac{a + b \cdot \frac{10(P^{III} - P^{IV})}{\gamma_{\text{ц.р}} - \gamma_{\text{гл.р}}} - Z}{b \cdot c + d_{\text{вн}}^2}.$$

3.7. Высота подъема цементного раствора за колонной, на III скорости агрегата, м:

$$I_2^{III} = \frac{Z - d^2(L - I_1^{III})}{b}.$$

3.8. Определяем количество продавочной жидкости, закачиваемой на различных скоростях агрегата, м^3:

$$V_{\text{пр}}^V = e \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot I_1^V;$$

$$V_{\text{пр}}^{IV} = e \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot (I_1^{IV} - I_1^V);$$

$$V_{\text{пр}}^{III} = e \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot (I_1^{III} - I_1^{IV});$$

$$V_{\text{пр}}^{II} = V_{\text{пр}} - V_{\text{пр}}^I - V_{\text{пр}}^{III} - V_{\text{пр}}^{IV} - V_{\text{пр}}^V;$$

$$V_{\text{пр}}^I = 2.$$

3.9. Определяем время работы одним агрегатом на разных скоростях, мин:

$$t^{\text{V}} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^V + V_{\text{пр}}^V)}{q^V \cdot 60};$$

$$t^{IV} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{IV} + V_{\text{пр}}^{IV})}{q^{IV} \cdot 60};$$

$$t^{III} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{III} + V_{\text{пр}}^{III})}{q^{III} \cdot 60};$$

$$t^{II} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{II} + V_{\text{пр}}^{II})}{q^{II} \cdot 60};$$

$$t^{I} = \frac{(V_{\text{ц.р}}^{I} + V_{\text{пр}}^{I})}{q^{I} \cdot 60}.$$

3.10. Общее время цементирования, мин:

$$T' = t^{\text{I}} + t^{\text{II}} + t^{\text{III}} + t^{\text{IV}} + t^{\text{V}}.$$

С учетом подготовительно-заключительных работ

$$T_{\text{ц}} = T' + 15 \text{ мин}.$$

3.11. Определяем температуру на забое скважины, ℃:

$$t_{\text{заб}} = t_{\text{ср}} + 0{,}025L,$$

где $t_{\text{ср}}$ – среднегодовая температура воздуха, ℃,

L – глубина скважины, м.

3.12. Определяем количество агрегатов, шт:

По времени схватывания

$$n_{ЦА} = \frac{T}{0{,}75T_{\text{скв}}} + 1,$$

по скорости

$$n = \frac{\sum q}{q^{\text{v}}} + 1,$$

где $\sum q$ – необходимый расход для обеспечения заданной скорости поднятия цементного раствора за эксплуатационную колонну, л/с;

q^{v} – производительность выбранного агрегата на высшей скорости, л/с.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Технология бурения разведочных скважин / А. Г. Калинин, В. И. Власюк, О. В. Ошкордин, Р. М. Скрябин. - М.: Техника, ТУМА ГРУПП, 2004. - 528 с.
2. Башкатов Д. Н., Кривошеев В. В., Соловьев Н. В. Бурение разведочных скважин: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2007.
3. Гусман А. М., Порожский К. П. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование. – Екатеринбург, 2002. - 592 с.

Дополнительная:

1. Ошкордин О. В. Технологическое проектирование в разведочном бурении на твердые полезные ископаемые: учебное пособие. – Екатеринбург: УГГГА, 1994.
2. Калинин А. Г., Ошкордин О. В. Разведочное бурение. – М.: Недра, 2000.
3. Михайлова Н. Д. Техническое проектирование колонкового бурения. – М.: Недра, 1985.
4. Ганджумян Р. А. Практическое расчеты в разведочном бурении. – М.: Недра, 1986.
5. Поляков Г. Д., Булгаков Е. С. Проектирование, расчет и эксплуатация буровых установок. – М.: Недра, 1983.
6. Кирсанов А. Н., Зиненко В. П., Кардыш В. Г. Буровые машины и механизмы. –М.: Недра, 1986.
7. Элияшевский И. В., Орсуляк А. М. Типовые задачи и расчеты в бурении. – М.: Недра, 1974.
8. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду /под общей ред. В. В. Дубровского – Второе издание, перераб. и доп. – М.: Недра, 1972.
9. Справочник по бурению скважин на воду / под общей ред. Д. Н. Башкатова. – М.: Недра, 1979.
10. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин /авторский колл.; гл. ред. проф. Е. А. Козловский. – СПб, 2000.

ФГБОУ ВО
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕР-СИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых

М.А. Саламатов, И.В. Малахов

ТЕХНОЛОГИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ

Методические указания к контрольной работе
для студентов специальности

21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общая характеристика контрольной работы 5
2.Исходные данные для выполнения контрольной работы..... 6
3.Рекомендации по содержанию и методике выполнения контрольной работы7
3.1Введение..... 7
3.2Геологические и гидрогеологические условия сооружения гидроизоляционных ограждений..... 8
3.3Проектирование технологических параметров и технологических схем сооружения гидроизоляционных ограждений методом тампонажа..... 9
3.3.1Выбор тампонажного раствора и его физико-механических и реологических параметров..... 9
3.3.2Проектирование гидроизоляционных ограждений 9
3.3.3.Определение необходимого количества тампонажных скважин для формирования гидроизоляционного ограждения в водоносном пласте 14
3.3.4.Выбор координат заложения на поверхности земли и профиля тампонажных скважин..... 14
3.3.5.Расчет необходимого количества тампонажных материалов 14
3.4.Технология и технические средства производства тампонажных работ.. 16
3.4.1.Техника и технология бурения тампонажных скважин..... 16
3.4.2.Техника и технология приготовления тампонажного раствора..... 17
3.4.3.Техника и технология тампонажа 17
Список рекомендуемой литературы..... 19
Приложение 1 20
Приложение 2 21
Приложение 3 22

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа является самостоятельной формой изучения теоретических и практических вопросов техники и технологии тампонажа, рассмотренных на лекциях и практических занятиях по дисциплине «Технология специальных тампонажных работ».

Студент должен в контрольной работе самостоятельно разработать технологию тампонажа и технологические схемы производства тампонажных работ, выбрать необходимые технические средства для сооружения гидроизоляционной занавесы в определенных горнотехнических условиях, основываясь на комплексе исходных данных о геологических и гидрогеологических условиях залегания водоносных горизонтов, а также их структурных и фильтрационных параметрах.

Решаемые задачи в контрольной работе по своему содержанию подразделяются на две группы:

- проектирование технологических параметров и технологических схем сооружения гидроизоляционных ограждений способом тампонажа;
- разработка технологии тампонажа и выбор технических средств для производства тампонажных работ.

В соответствии с принятой логической схемой решаемых задач и их взаимной обусловленности рекомендуется следующая структура контрольной работы.

1. Введение
2. Геологические и гидрогеологические условия сооружения гидроизоляционных ограждений
3. Проектирование технологических параметров и технологических схем сооружения гидроизоляционных ограждений методом тампонажа

3.1. Выбор тампонажного раствора и его физико-механических и реологических параметров

3.2. Проектирование гидроизоляционных ограждений

3.2.1. Расчет параметров проницаемости водоносных горизонтов трещиноватых горных пород

3.2.2. Расчет геометрических параметров гидроизоляционных ограждений

3.2.3. Расчет предельно возможных контуров инъекционных потоков

3.3. Определение необходимого количества тампонажных скважин для формирования гидроизоляционного ограждения в водоносном пласте

3.4. Выбор координат заложения и профиля тампонажных скважин

3.5. Расчет необходимого количества тампонажных материалов

4. Технология и технические средства производства тампонажных работ

4.1. Техника и технология бурения тампонажных скважин

4.2. Техника и технология приготовления тампонажного раствора

4.3. Техника и технология тампонажа

4.3.1. Общая технологическая схема тампонажа

4.3.2. Выбор технических средств для тампонажа

4.3.3. Технологические схемы нагнетания тампонажного раствора в водоносные горизонты

Список используемой литературы

Приложения: схема формирования гидроизоляционной занавесы;

схема расположения тампонажных скважин;

общая технологическая схема тампонажа;

технологические схемы нагнетания тампонажного раствора в водоносные горизонты.

Контрольная работа оформляется на бумаге формата 210х297 и брошюруется в следующей последовательности: титульный лист, задание на проектирование, содержание работы, приложения.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа выполняется на основании материалов, собранных в период производственной практики или полученных из архивных фондов производственных и проектных организаций, выполняющих тампонажные работы. Содержание контрольной работы определяется индивидуальным заданием, которое составляется руководителем совместно со студентом в соответствии с

учебной программой дисциплины «Технология специальных тампонажных работ».

Задание по контрольной работе «Технология специальных тампонажных работ» должно содержаться следующие исходные данные:

- характеристику капитальной горной выработки, для которой сооружается гидроизоляционные ограждения;
- характеристику геологического разреза с указанием вида, мощности, физико-механических свойств, категории буримости, гидрогеологических и фильтрационных характеристик горных пород;
- глубины, условия залегания, строение и структуру водоносных горизонтов с оценкой их проницаемости и пластового давления.

В задании также указывается способ условия производства тампонажных работ.

Содержание и форма задания по контрольной работе приводятся в приложении 3.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ И МЕТОДИКЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1 Введение

Вводная часть контрольной работы содержит сведения о разрабатываемом месторождении полезного ископаемого, а также о географо-климатических и гидрогеологических условиях строительства и эксплуатации капитальных горных выработок в условиях этого месторождения. Дается общая характеристика строящейся капитальной горной выработки (глубина заложения, диаметр), перечисляются водоносные горизонты, пересекаемые горной выработкой, выбираются и обосновываются способы подавления водопритоков. Формулируются задачи, которые необходимо решить в контрольной работе.

3.2 Геологические и гидрогеологические условия сооружения гидроизоляционных ограждений

Проектирование гидроизоляционных ограждений и технологических параметров тампонажа основывается на количественных показателях трещиноватости и гидродинамических характеристиках каждого водоносного горизонта, пересекаемого капитальной горной выработкой. Эти данные устанавливаются путем изучения всех известных геологических документов, а также при проведении специальных гидродинамических исследований методами расходометрии и восстановления давления, определения соотношения проницаемости основных систем трещиноватости горных пород. Для более точной оценки условий производства тампонажных работ, как правило, бурится контрольно-техническая скважина, в которой выполняются геофизические, расходометрические и другие исследования.

При выполнении контрольной работы условия производства тампонажных работ и условия сооружения гидроизоляционных ограждений формулируется на основании материалов, собранных на производственной практике и индивидуального задания на курсовую работу.

Характеристика условий сооружения гидроизоляционных ограждений в водоносном пласте должна содержать следующую информацию:

- глубина залегания кровли водоносного пласта;
- глубина залегания почвы водоносного пласта;
- мощность водоносного пласта;
- структура трещиноватости горной породы;
- коэффициент трещинной анизотропии;
- пластовое давление;
- фильтрационные характеристики водоносного пласта-коэффициент проницаемости и коэффициент фильтрации;
- оценка агрессивности пластовых вод.

3.3 Проектирование технологических параметров и технологических схем сооружения гидроизоляционных ограждений методом тампонажа

3.3.1 Выбор тампонажного раствора и его физико-механических и реологических параметров

При сооружении гидроизоляционных ограждений капитальных горных выработок в водоносных трещиноватых горных породах наиболее целесообразно использовать глиноцементные тампонажные растворы. Состав глиноцементного тампонажного раствора, а также его физико-механические и реологические параметры выбираются с учётом условий производства тампонажных работ на основании лабораторных исследований или справочной литературы. Основные параметры, характеризующие глиноцементные растворы различного состава, приведены в приложении 1.

Для расчета параметров проектируемых гидроизоляционных ограждений необходимо выбрать и обосновать следующие физико-механические и реологические параметры выбранного тампонажного раствора:

- удельная масса, $\gamma\ {}^{\text{г}}/_{\text{см}^3}$;
- пластическая (структурная) вязкость, η Па · с;
- динамическое напряжение сдвига, τ_0 Па;
- пластическая прочность стабилизировавшегося тампонажного раствора, $\text{Р}_m\ {}^{\text{г}}/_{\text{см}^2}$.

3.3.2 Проектирование гидроизоляционных ограждений

- Рассмотрим методику проектирования гидроизоляционных ограждений, сооружаемых в трещиноватых водоносных горизонтах для подавления водопритоков при строительстве и эксплуатации шахтного ствола.

Расчет параметров трещиноватости водоносных горизонтов, пересекаемых шахтным стволом

Общая скважность (трещинная пустотность) определяется по формуле:

$$m_{\text{т}} = 49{,}2\sqrt[3]{\text{К}_{\text{пр}}}\,, \qquad (1)$$

где $m_{\text{т}}$ - скважность (трещинная пустотность), долиед;

$К_{пр}$ - коэффициент проницаемости трещиноватого горизонта, м^2.

При наличии трещинной анизотропии проницаемость в направлении основных двух систем трещиноватости $К_{11}$ и $К_{22}$ определяется из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} К_{пр} = \sqrt{К_{11}\ К_{22}}\ ; \\ \varepsilon = \sqrt{К_{11}\ /_{К_{22}}}\ ; \end{cases} \quad (2)$$

$$К_{11} = \varepsilon\, К_{пр}; \quad (3)$$

$$К_{22} = {К_{пр}}/{\varepsilon}; \quad (4)$$

где $К_{11}$; $К_{22}$ – проницаемость основных систем трещиноватости, м^2;

ε - коэффициент трещинной анизотропии;

$К_{пр}$ - коэффициент проницаемости трещиноватого горизонта, м^2.

Скважность, обусловленная основными системами трещин, можно рассчитать по формулам:

$$m_{т11} = \frac{m_т}{1+\frac{1}{\sqrt{3}}}; \quad (5)$$

$$m_{т22} = \frac{m_т}{1+\sqrt{3}}; \quad (6)$$

где $m_{т11}$; $m_{т22}$ - скважность трещиноватой горной породы, обусловленная основными системами трещин, доли ед.

Раскрытие трещин в каждой основной системе найдем по формулам:

$$h_{11} = 4{,}83\sqrt{\frac{К_{11}}{m_{т11}^{2,1}}}; \quad (7)$$

$$h_{22} = 4{,}83\sqrt{\frac{К_{22}}{m_{т22}^{2,1}}}; \quad (8)$$

где h_{11}; h_{22} - среднее раскрытие трещин в главных системах трещиноватости, м.

Расчет геометрических параметров гидроизоляционных ограждений

Гидроизоляционная завеса в водоносном трещиноватом пласте с трещинной анизотропией по простиранию пласта имеет форму эллипса. Поэтому геометрическими параметрами гидроизоляционного ограждения будут полуоси эллипса, направление которых совпадает с направлением основных систем трещин.

Полуоси эллипса, характеризующие размеры гидроизоляционной занавесы относительно вертикальной оси шахтного ствола, определяются по формулам:

$$R_1 = \frac{\propto h_{11} P_{\text{пл}}}{2|P_m|} + R_{\text{ств}}; \quad (9)$$

$$R_2 = \frac{\propto h_{22} P_{\text{пл}}}{2|P_m|} + R_{\text{ств}}; \quad (10)$$

где R_1; R_2 – полуоси эллипса, м;

$R_{\text{ств}}$ – радиус шахтного ствола, м;

$P_{\text{пл}}$ – пластовое давление, ;

h_{11}; h_{22} – раскрытие трещин в основных системах (при наличии трещин с аномальным раскрытием в расчетах принимается максимально известное раскрытие h_{max}), м;

$\propto$ – коэффициент запаса прочности, $\propto = 3$;

P_m – допустимая пластическая прочность тампонажного камня через 10-12 суток после закачки, Па.

Определяется опытным путем по формуле:

$$|P_m| = \frac{P_m}{K}, \quad (11)$$

где P_m – пластическая прочность тампонажного камня при оптимальном составе компонентов, Па;

K – опытный коэффициент, $K = {P_m}/{P_{m\ min}}$.

Расчет предельно возможных контуров инъекционных потоков

Контур инъекционного потока, формируемого в водоносном трещиноватом пласте с трещинной анизотропией, имеет форму эллипса. Предельно возможные размеры контура будут характеризоваться предельно возможными радиусами распространения тампонажного раствора по направлению полуосей эллипса. Предельно возможные радиусы распространения тампонажного раствора в проницаемые горные породы обусловлены перепадом давления на интервале стенка скважины – контур инъекционного потока, который определяется из условия:

$$\Delta P = P_{\text{снв}} - P_{\text{к}}, \quad (12)$$

где ΔP – перепад давления на радиус распространения тампонажного раствора, Па;

$P_{\text{снв}}$ – давление на стенки скважины в интервале проницаемого горизонта, Па;

$P_{\text{к}}$ – давление на контуре инъекционного потока, $P_{\text{к}} = P_{\text{пр}}$ Па.

Предельно возможный контур инъекционного потока определяется предельно возможным перепадом давления на радиусе распространения при нагнетании выбранным насосом. Поэтому, предельно возможный перепад давления для преодоления гидравлических сопротивлений при формировании инъекционного потока рассчитывается по формуле

$$\Delta P_{\text{пр}} = P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{тр}} + P_{\text{г}} - P_{\text{к}}\,, \qquad (13)$$

где $\Delta P_{\text{пр}}$ – предельно возможный перепад давления при использовании насоса, создающего давление , Па;

$P_{\text{н}}$ – давление тампонажного насоса, Па;

$\Delta P_{\text{тр}}$ – потери напора при течении тампонажного раствора в нагнетательной системе труб, Па;

$P_{\text{г}}$ – гидростатическое давление столба тампонажного раствора в интервале тампонируемого горизонта, Па;

$P_{\text{к}}$ – давление на контуре инъекционного потока, Па.

Давление тампонажного насоса $P_{\text{н}}$ принимается максимальным согласно его технической характеристике.

Потери напора при течении тампонажного раствора в трубах рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0{,}83\lambda_{\text{т}}\frac{\gamma Q^2 l}{d_{\text{в}}^5}\,, \qquad (14)$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ – потери напора в трубах, Па;

γ – удельный вес тампонажного раствора, $^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$;

Q – объемный расход тампонажного раствора, $^{\text{м}^3}/_{\text{с}}$;

l – длина труб, м;

$d_{\text{в}}$ – внутренний диаметр труб, м;

$\lambda_т$ – безразмерный коэффициент гидродинамического сопротивления в трубах.

Для вязкопластичной среды безразмерный коэффициент определяется из условия:

$$\lambda_т = \frac{0{,}3165}{\sqrt{Re^*}}, \quad (15)$$

где Re^* – параметр Рейнольдса,

$$Re^* = \frac{\mathcal{V} D_э \gamma}{\eta g}, \quad (16)$$

где $\mathcal{V}$ – среднеобъемная скорость течения, м/с;

$D_э$ – эквивалентный диаметр сечения канала для труб $D_э = d_8$, м;

γ – удельный вес тампонажного раствора кгс/м^3;

η – пластическая (структурная) вязкость тампонажного раствора, Па·с;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2.

Потери напора при течении в трубах глиноцементного раствора приведены в приложении 2.

Гидростатическое давление столба тампонажного раствора на стенки скважин в интервале водоносного горизонта определяется из выражения:

$$P_г = \frac{\gamma H}{10}, \quad (17)$$

где $P_г$ – гидростатическое давление, Па;

γ – удельный вес тампонажного раствора, кгс/м^3;

Н – глубина залегания кровли водоносного горизонта, м

Предельно возможные радиусы распространения тампонажного раствора из скважины по направлению развития основных систем трещиноватости будут:

$$r_1 = \frac{h_{11} \Delta P_{пр}}{2\tau_0}; \quad (18)$$

$$r_2 = \frac{h_{22} \Delta P_{пр}}{2\tau_0}, \quad (19)$$

где r_1; r_2 – радиусы распространения тампонажного раствора из скважины по направлению основных систем трещиноватости, м;

h_{11}; h_{22} – раскрытие трещин в основных системах трещиноватости, м;

$\Delta P_{\text{пр}}$ – предельно возможный перепад давления на радиусах распространения, Па;

τ_0 – динамическое напряжение сдвига тампонажного раствора, Па.

3.3.3. Определение необходимого количества тампонажных скважин для формирования гидроизоляционного ограждения в водоносном пласте

Зная форму и геометрические размеры гидроизоляционного ограждения, характеризуемые и , а также форму и геометрические размеры инъекционных потоков, которые характеризуются предельно возможными радиусами распространения тампонажного раствора и из скважины, определяется оптимальное число тампонажных скважин и рациональное их расположение для формирования гидроизоляционного ограждения разрабатывается графическим методом.

3.3.4. Выбор координат заложения на поверхности земли и профиля тампонажных скважин

Координаты заложения тампонажных скважин определяются на плане строительства шахтного ствола, совмещенного с технологическими схемами формирования гидроизоляционных ограждений во всех водоносных горизонтах, пересекаемых стволом.

Для совмещения строительных работ по сооружению гидроизоляционных ограждений закладываются наклонно направленные скважины с заложением на определенном расстоянии от шейки шахтного ствола. Профиль наклонно-направленных скважин должен обеспечить подсечение водоносных горизонтов строго в соответствии с разработанными технологическими схемами формирования гидроизоляционных ограждений в каждом водоносном пласте. Профиль и схема расположения наклонно направленных тампонажных скважин разрабатываются на основе геологического разреза.

3.3.5. Расчет необходимого количества тампонажных материалов

Объем нагнетаемого тампонажного раствора через одну скважину для формирования инъекционного потока с предельно возможным контуром определяется из условия

$$V_к = \pi r_1 r_2 M m_т \,, \qquad (20)$$

где $V_к$ – объем тампонажного раствора для нагнетания в одну скважину, ;

$r_1;\ r_2$ – радиусы распространения тампонажного раствора из скважины, м;

M – мощность водоносного горизонта, м;

$m_т$ – скважность водоносного горизонта.

Объем тампонажного раствора для формирования гидроизоляционного ограждения шахтного ствола в одном водоносном горизонте

$$V_i = V_к \cdot n \,, \qquad (21)$$

где V_i – объем тампонажного раствора для формирования ограждения в товом пласте, м^3;

$V_к$ – объем тампонажного раствора для нагнетания в одну скважину, м ;

n – количество тампонажных скважин для формирования ограждения в готовом пласте.

При формировании ограждений в нескольких водоносных пластах рассчитывается суммарный объём тампонажного раствора

$$\sum V_{т.р.} = \sum_{i=1}^{n} V_i \,. \qquad (22)$$

Потребный объём базового глинистого раствора для приготовления необходимого объёма глиноцементного тампонажного раствора ориентировочно принимается равным его суммарному объему, т.е. $\sum V_{г.р.} = \sum V_{т.р.}$. Тогда потребное количество глины для приготовления необходимого глинистого раствора с заданной плотностью определится по формуле:

$$Q_г = \rho_2 \frac{\rho - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1} \sum V_{г.р.} \,, \qquad (23)$$

где $Q_г$ – вес глины, т;

ρ – заданная плотность глинистого раствора, $^{т}/_{м^3}$;

ρ_1 – плотность воды, $\rho_1 = 1\ ^{т}/_{м^3}$;

ρ_2 – плотность сухой глины, $\rho_2 = 2{,}3 - 2{,}6\ ^{т}/_{м^3}$;

$\sum V_{г.р.}$ – потребный объем глинистого раствора, м^3;

Необходимое количество цемента при расходе 100 кг/м^3 глинистого раствора будет

$$Q_{\text{ц}} = \sum V_{\text{г.р.}} \cdot 100\,, \qquad (24)$$

где $Q_{\text{ц}}$ – вес цемента, кг;

$\sum V_{\text{г.р.}}$ – потребный объем глинистого раствора, м^3.

Потребное количество жидкого стекла при расходе 10 кг/м^3 определится из условия

$$Q_{\text{ж.с.}} = \sum V_{\text{г.р.}} \cdot 100\,, \qquad (25)$$

где $Q_{\text{ж.с.}}$ – вес жидкого стекла, кг;

$\sum V_{\text{г.р.}}$ – потребный объем глинистого раствора, м^3.

3.4. Технология и технические средства производства тампонажных работ

3.4.1. Техника и технология бурения тампонажных скважин

Технологическая схема производства тампонажных работ предусматривает бурение наклонно-направленных тампонажных скважин с поверхности земли. Глубина скважин определяется профилем скважины и глубиной залегания почвы водоносного пласта, в котором сооружается гидроизоляционное ограждение. Диаметр скважины принимается 76 или 93 мм. Устье скважины обязательно закрепляется кондуктором, который цементируется и оборудуется герметирующим устройством для производства расходометрических работ и, при необходимости, нагнетания тампонажного раствора.

Бурение тампонажных скважин осуществляется техническими средствами для вращательного бурения без отбора керна. Выбор буровых установок, бурового инструмента и технологических параметров режима бурения необходимо производить в соответствии с методикой проектирования бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые [1]. При этом необходимо выбрать технологические средства и технологию для корректировки профиля тампонажных скважин в процессе их бурения в случае их отклонения от проектного профиля.

3.4.2. Техника и технология приготовления тампонажного раствора

При использовании для сооружения гидроизоляционных ограждений глиноцементного тампонажного раствора целесообразно тампонажный раствор готовить путем введения цемента и структурообразователя в глинистый раствор с необходимыми заданными свойствами. Поэтому оборудование для приготовления тампонажного раствора целесообразно скомпановать в два независимых технологических комплекса: комплекс для приготовления глинистого раствора из комовой глины и технологический комплекс для приготовления и нагнетания под давлением тампонажного раствора. Необходимо выбрать технические средства и разработать технологические схемы для каждого комплекса. Технологический комплекс для приготовления глинистого раствора следует располагать на площадке с хорошими подъездными путями для доставки глины и с надежной системой водоснабжения. Производительность глинистого комплекса должна соответствовать суточному расходу тампонажного раствора.

При разработке технологии приготовления глинистого и глиноцементного тампонажного растворов согласно [2] необходимо:

- определить источник и дать характеристику исходного глинистого сырья;
- выбрать марку цемента и привести его характеристику;
- в качестве структурообразователя принять жидкое стекло и привести его характеристику;
- выбрать и обосновать параметры исходного глинистого раствора;
- выбрать и обосновать состав глиноцементного тампонажного раствора;
- привести физико-механические и реологические параметры выбранного тампонажного раствора.

3.4.3. Техника и технология тампонажа

При разработке общей технологической схемы тампонажа необходимо прежде всего выбрать способ приготовления тампонажного раствора непосредственно на площадке производства тампонажных работ. Возможны два вари-

анта: раздельное приготовление и нагнетание тампонажного раствора двумя независимыми технологическими комплексами и совмещенный процесс приготовления и нагнетания, реализуемый одним технологическим комплексом [2].

Технические средства для тампонажа выбираются в соответствии с принятой общей технологической схемой тампонажа. При этом необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- максимальное давление цементировочного агрегата или цементировочного насоса должно быть не меньше, чем принято при расчёте предельного контура инъекционного потока;
- расход тампонажного раствора при нагнетании в тампонажную скважину устанавливается из условия минимизации потерь напора и предупреждения гидроразрыва;
- производительность комплекса для приготовления тампонажного раствора должна соответствовать производительности цементировочного агрегата или цементировочного насоса;
- система нагнетательных труб, состоящая из манифольдного комплекса и колонны бурильных труб, должна обеспечивать процесс тампонажа при максимальном давлении нагнетательного насоса.

Для контроля процесса тампонажа необходимо регистрировать следующие основные технологические параметры: плотность нагнетаемого тампонажного раствора, расход нагнетания и давление нагнетания. Эта задача успешно решается станцией контроля цементирования СКЦ-2М. Возможно также использование отдельных приборов типа манометров, расходометров, плотнометров и др.

Нагнетание глиноцементных тампонажных растворов при тампонаже трещиноватых горных пород наиболее эффективно производить по зажимной технологической схеме нагнетания, которая позволяет осуществлять формирование инъекционных потоков при заданном высоком давлении в строго определенные водоносные горизонты. Изоляция тампонируемых горизонтов в скважинах осуществляется с помощью съемных пакетирующих устройств или тампонажных

пробок. Верхние водоносные горизонты тампонируются по зажимной схеме с помощью герметизирующего устройства на устье скважины.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин: в 2х томах. /Под общей ред. проф. Е.А. Козловского – М.: Недра, 1984 – 512 с. 489 с.

2. Справочник по сооружению шахтных стволов специальными способами /Под общей ред. проф. Н.Г. Трупака. – М.: Недра, 1980. – 390 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Физико-механические и реологические параметры глиноцементных тампонажных растворов

Состав тампонажного раствора	Удельная масса, γ г/см^3	Θ, мг/см^2		$P_м$, г/см^2			η, Па·с	$\tau_о$, Па
		1 мин	240 мин	1 мин	240 мин	12 суток		
Глинистый раствор (γ = 1,18 г/см^3) + цемент (100 кг/м^3) + жидкое стекло (10 л/м)	1,23	4100	31000	4,7	116,0	1660	$24{,}10^{-3}$	88
Глинистый раствор (γ = 1,20 г/см^3) + цемент (100 кг/м^3) + жидкое стекло	1,25	4350	35000	5,7	132,0	2150	$42{,}10^{-3}$	140
Глинистый раствор (γ = 1,23 г/см^3) + цемент (100 кг/м^3) + жидкое стекло	1,28	4870	41000	8,4	262,0	2600	10^{-3}	192

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Потери напора при движении тампонажного раствора в бурильных трубах диаметром 50 мм

Расход раствора, л/с	Потери напора (кгс/см^2 100м труб) при движении тампонажного раствора: цемента (100 г/л), жидкого стекла (10 г/л), глинистого раствора плотностью гс/см^3		
	$\gamma = 1{,}18$	$\gamma = 1{,}20$	$\gamma = 1{,}23$
1,0	9,4	12,0	14,7
1,5	9,8	12,7	15,0
2,0	10,3	13,1	15,5
2,5	10,8	13,5	16,0
3,0	11,7	14,1	16,6
3,5	12,5	15,0	17,6
4,0	13,3	16,0	18,9
4,5	14,8	17,6	20,5
5,0	16,8	20,0	23,1
5,5	19,4	22,7	26,1
6,0	22,9	26,0	29,8
6,5	26,3	29,6	33,4
7,0	30,7	33,7	37,9
7,5	35,3	37,3	42,3
8,0	40,1	42,2	47,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Задание по контрольной работе по дисциплине «Технология специальных тампонажных работ»

студенту группы ТТР_ _ _ _

1. Характеристика геологического разреза с указанием названия, мощности, физико-механических свойств, категории буримости и гидрогеологических условий залегания горных пород.
2. Основные параметры капитальной горной выработки для которой сооружаются гидроизоляционные ограждения
3. Условия залегания водоносных пластов, пересекаемых капитальной горной выработкой:

   глубина залегания кровли-

   глубина залегания почвы-

   угол падения пласта-
4. Характеристика структуры трещиноватости водоносного пласта:

характеристика систем трещиноватости –

коэффициент трещинной анизотропии –

5. Гидродинамические и фильтрационные параметры водоносного пласта:

   коэффициент проницаемости –

   коэффициент фильтрации –

   пластовое давление –
6. Обязательные графические приложения:
   1) схемы формирования гидроизоляционных ограждений капитальной горной выработки;
   2) схема расположения тампонажных скважин;
   3) общая технологическая схема производства тампонажных работ;
   4) технологические схемы нагнетания тампонажного раствора в трещиноватые водоносные горизонты.

Задание получил «_ _ _» _ _ _ студент

задание выдал «_ _ _»_ _ _ _руководитель

Методическое пособие по выполнению контрольной работы по дисциплине «Технология специальных тампонажных работ» для студентов специализации «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

Автор: Саламатов М.А., проф., к. т. н.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Г. А. Усов

Промывочные жидкости

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
«Очистные агенты и тампонажные смеси»
для студентов специальности
21.05.03 Технологии геологической разведки

очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

Практические занятия - важнейший элемент подготовки молодого специалиста - предусматривают выполнение студентами под руководством преподавателя самостоятельных заданий, включающих экспериментальные исследования по результатам непосредственного наблюдения изучаемых объектов и процессов.

Главной целью методических указаний является знакомство с теоретическими положениями изучаемой дисциплины, приобретение навыков экспериментальной деятельности, обеспечение глубокого понимания студентами изучаемых явлений, закономерностей и форм их проявления, формирование у будущих специалистов практических умений и навыков в области общеинженерной деятельности и овладения специальностью.

В соответствии с требованиями УМС практические работы должны содержать следующие основные элементы:

- теоретическую часть работы, помогающую понять изучаемые процессы или явления, цели и задачи, стоящие перед студентами при выполнении работы;
- методическую часть, целью которой является изучение применяемых и исследуемых образцов и материалов, методик экспериментов, оборудования, приборов, используемых в практической работе;
- экспериментальную часть, в которой осуществляются процессы подготовки образцов (проб), технологические процессы их обработки, снятие характеристик процесса, определение параметров после завершения процесса;
- обсуждение результатов и составление выводов по работе, что позволяет установить, достигнута ли цель, в краткой форме сформулировать основные сведения об изучаемом материале, процессе, явлении.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед проведением практических работ студенты должны изучить правила безопасного ведения работ и противопожарной безопасности и после инструктирования их преподавателем расписаться в журнале инструктажа.

Практическая работа выполняется по теме, по которой начитан теоретический материал. Для успешного проведения работы студенты должны обладать минимальным запасом теоретических знаний. Контроль этих знаний проводится преподавателем в виде опроса (в устной или письменной форме), на основе новых информационных технологий (тестов).

Студенты, не получившие допуск, отстраняются от выполнения практической работы, а её выполнение проводится студентом после проверки его знаний индивидуально.

Допуск студентов на последующие практические работы производится после контроля знаний по этой работе, сдачи отчёта и защиты по предыдущей работе.

Подгруппа может разбиваться на бригады по 2-3 человека.

Отчёт должен оформляться по каждой практической работе титульным листом и содержать следующие основные разделы:

- цель и основные задачи;
- теоретическая часть;
- описание установок, приборов, инструмента, материалов, реагентов;
- методика выполнения работы;
- результаты наблюдений;
- анализ результатов исследований и выводы;
- список литературы.

Отчёт должен иллюстрироваться таблицами, графиками, рисунками.

Защита практической работы осуществляется каждым студентом отдельно на очередном занятии после представления отчёта.

Практическая работа 1.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЛИНЫ И ВОДЫ.

Цель работы: Изучить методики определения качества глины, как структурообразователя бурового раствора.

Теоретическая часть

Структурированные промывочные жидкости представляют собой дисперсные системы, состоящие из дисперсионной среды и дисперсной фазы.

В качестве дисперсной среды чаще всего используют воду, а в качестве дисперсной фазы структурообразователи: глинистые минералы, полимеры, конденсированную твёрдую фазу. Наиболее доступным и дешёвым структурообразователем являются глинистые минералы: монтморилонит, иллит, каолинит. Эти листовые силикаты, легко диспергируют вследствие их листовой структуры и гидрофильности в воде на тонкие частицы размером в микрон и менее.

Благодаря наличию нескомпенсированного поля межмолекулярных сил и функциональных (полярных) групп с отрицательный зарядом на поверхности частиц происходит адсорбция молекул воды (гидратация частиц) с образованием общей гидратной структуры промывочной жидкости. Прочности структуры (прочность адсорбированного слоя) глинистого раствор, а значит и качество глины определяется суммарно поверхностью частиц (дисперсностью глины) количеством и активностью (гидрофильностью) функциональных групп $\equiv SiO$ $\equiv SiOH$.

Благодаря огромной суммарной поверхности глинистых частиц таких минералов, как монтморилонит, почти вся вода бурового раствора становится адсорбированной (гидратированной). Дисперсная система превращается в гель.

Наиболее легко диспергирует в воде натриевый монтморилонит, представляющий собой совокупность глинистых частиц, состоящих из пакетов двухлистовых кремнекислородных тетраэдров, связанных гидроаргилитовым слоем $Al(OH)^{2+}$.Пакеты

между собой слабо связаны обменными ионами Na которые в воде легко диссоциируют, глинистые частицы расщепляются на более мелкие частицы.

Кальциевые монтморилониты в связи с более прочными связями пакетов диспергируют значительно труднее, поэтому считаются менее качественными.

Ещё хуже диспергируют в воде (вследствие более прочных связей между пакетами) иллиты и каолиниты.

Существенное влияние на диспергирование глинистых частиц оказывают минеральные компоненты воды, в первую очередь ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}. При значительном содержании в воде они способствуют дегидратации (нейтрализации заряда, снижению гидрофильности) частиц и их сшиванию. Поэтому для приготовления глинистых растворов используют воду с общей жёсткостью не более 12-15° (1° жёсткости соответствует 10 мг CaO в 1 л воды). Жёсткость воды определяют титрованием воды с добавкой 2,5 мл аммиачного раствора раствором олеата калия.

$$Н° = 20\ П \cdot \delta\ , \qquad (1.1)$$

где П - количество раствора олеата калия, израсходованного на титрование, мл, δ - титр олеата калия (количество г в I мл).

Таким образом, наиболее качественными глинистыми структурооразователями являются монтморилонитовые (бентонитовые) глины.

Оценку качества глины для приготовления раствора производят визуальным методом, методом смачивания (по Н. А. Максимовичу) и по выходу раствора (количеству $м^3$ раствора, вязкостью 25 *с*).

$$Q_р » 630/ (\delta_р - 1000), \qquad (1.2)$$

где $\delta_р$ - плотность глинистого раствора при условной вязкости 25 с.

Визуальный метод используют для оценки качества комовой глины. Глина считается пригодной, если при естественной влажности и воздушно сухом состоянии:

а) характеризуется большим сопротивлением излому; б) при изломе образует острые края; в) не поддаётся раздавливанию пальцами даже в мелких кусочках; г) даёт тёмную полированную поверхность при резании ножом; д) в эластичном (смоченном

водой) состоянии раскатывается в длинные шнуры, диаметром I мм и менее.

Метод смачивания используют для определения качества порошкообразной глины. С помощью этого метода примерно можно определить и минеральный состав глины.

За показатель качества глины принимают условную величину

$$K = t\,d\,, \qquad (1.3)$$

где L - время впитывания I мл весьма гидрофильного (с высокоэлектроотрицательными атомами) раствора, например, 4 % раствора пирофосфорнокислого натрия ($Na_4P_2O_7$), d – диаметр смоченной раствором глины, мм.

Благодаря высокой гидрофильности раствор интенсивно всасывается глинопорошком. Чем выше дисперсность и гидрофильность частиц глины, тем быстрее и на более значительное расстояние (больший объём) распространяется раствор. При К>300 глина считается монтморилонитовой, при К = 300 100 - иллито-каолинитовой, при К = 100 - 50 - каолинитоиллитовой, при К < 50 - каолинитовой.

Методическая часть

Для определения качества комовой глины необходимо иметь: исследуемую глину в воздушно сухом состоянии, линейку, перочинный нож.

Для определения качества порошкообразной глины: сито с отверстиями 0,5 мм, фарфоровую чашку с пестиком, 4% раствор пирофосфорнокислого натрия, пипетку, секундомер.

Для определения качества воды: аммиачный раствор, раствор олеата калия, мензурку 250мл.

Экспериментальная часть

Подгруппа разбивается на четыре бригады. Одна бригада исследует качество комовой глины. Для этого глину подвергают излому, раздавливанию, режут ножом, в пластичном состоянии раскатывают в шнуры. Затем после размельчения глины в фарфоровой чашке определяют показатель К подобно рассмотренному ниже

$$K = t\,d\,,$$

Результаты испытаний заносят в табл.1.

Вторая бригада исследует качество глинопорошка. Для этого порошок просеивают через сито; 40-50 г просеянного глинопорошка высыпают в фарфоровую чашку, уплотняют пестиком и выравнивают его поверхность.

С помощью пипетки в центр чашки вводят по каплям (по мере впитывания) 1 мл 4 % раствора пирофосфата натрия и засекают время впитывания по секундомеру.

Расстояние нижнего конца пипетки от поверхности глинопорошка должно быть не более 2 см, каждая капля должна направлена в одну точку.

После впитывания последней капли раствора секундомер выключают и линейкой определяют диаметр смоченной поверхности. При неравномерном распространении раствора определяют диаметр в различных направлениях и рассчитывают среднее значение d.

По полученным результатам вычисляют показатель К:

$K = t\,d.$.

Одновременно с этим оценивают характер смоченной поверхности: набухание, усадку, толщину увлажнённого слоя.

По показателю К определяют минеральный состав глины. Глины с показателем К =100, а также при явно выраженной усадке смоченной поверхности для приготовления бурового раствора не пригодны.

Полученные результаты необходимо занести в табл.1.

Таблица 1

	Визуальный метод				Метод смачивания			
	Сопротив. излому	Сопротив. раздавлив.	Характер поверх. разреза	Диаметр и длина шнура	t, мин	d, мм	К =	Характер смоченной поверхности

Третья бригада определяет качество воды (её жёсткость).

Для этого: в мензурку ёмкостью 250 мл заливают 50 мл исследуемой воды; добавляют 2,5 мл аммиачного раствора; проводят медленное титрование раствором олеата калия (титр которого известен) до образования стойкой (мелкопузырчатой) пены, сохраняющейся 4-5 мин.

При титровании после очередного прибавления раствора обязательно нужно встряхивать содержимое мензурки.

После образования стойкой пены вычисляют жёсткость воды

$$Н° = 20 П \delta$$

Результаты испытаний занести в табл.2.

Таблица 2

Проба воды	П, мл	δ , град	$Н^{о}$, град	Примечание

Четвёртая бригада определяет качество глины по выходу раствора. Для этого необходимо приготовить 0,5 л глинистого раствора с условной вязкостью 25 с, замерить его плотность и по формуле (2) определить выход раствора

$$Q_{р} = 630/ (\delta_{р}-1000).$$

Анализ результатов исследований. Выводы

На основании заполненных таблиц необходимо определить минеральный состав, сделать выводы о качестве глины и её пригодности для приготовления глинистых растворов, то же Сделать и по отношению к воде.

Практическая работа 2.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОФИЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БУРОВЫХ (ГЛИНИСТЫХ) РАСТВОРОВ

Цель лабораторной работы - экспериментально раскрыть теоретические положения о природе структурирования глинистых растворов, получить навыки экспериментальной деятельности, обеспечить глубокое понимание явлений структурирования глинистых растворов.

Структурированные промывочные жидкости при бурении скважин применяют с целью кольматации пор и трещин горных пород, закрепления стенок скважин, представленных рыхлыми и неустойчивыми горными породами, создания противодавления на стенки скважин неустойчивых пород. Структурированные жидкости обладают малой водоотдачей, что предотвращает набухание глинистых пород и их обвалы; обладают высокой несущей способностью, что позволяет выносить с забоя тяжёлый шлам.

Теоретическая часть

"Структура - это совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающая его целостность, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях".

В коллоидной химии понятию структура придаётся более широкий смысл. По классификации П. А. Ребиндера для дисперсных систем выделяют два типа структур: кристаллизационный (конденсационный) и коагуляционный (тиксотропный). Если первый тип структур соответствует вышеописанному определению, т. е. представляет собой совокупность устойчивых связей твёрдых частиц с образованием жёсткого каркаса, то второй тип структур представляет собой совокупность неустойчивых связей твёрдых частиц, обеспечивающих устойчивые связи только в состоянии покоя. При течении эти временные структуры (пространственные каркасы) разрушаются.

Таким образом, под структурой дисперсных систем понимают совокупность межмолекулярных связей частиц твёрдой фазы.

Коагуляция частиц (межмолекулярное взаимодействие) возможна лишь на незначительных расстояниях между частицами, измеряемых чаще всего десятками нанометров (т. е. в весьма концентрированных твёрдых дисперсных системах или растворах с гидрофобной твёрдой фазой).

В промывочных жидкостях расстояния между частицами значительно превышают названную величину. В этих системах с гидрофильной твёрдой фазой прочность структуры осуществляется за счёт гидратных слоёв. В зависимости от гидрофильности твёрдой фазы и характера структуры (за счёт коагуляции частиц или за счёт гидратных, адсорбционных слоёв) структуры буровых растворов можно разделить на гидрофобные и гидрофильные. Задачей лабораторной работы является изучение гидрофильной структуры. В качестве структурированных промывочных жидкостей в практике бурения чаще всего применяют глинистые растворы.

Прочность структуры глинистых растворов зависит от количества глинистых частиц в единице объёма (концентрации и дисперсности глины) и их активности (гидрофильности).

Глина - это совокупность глинистых частиц различных фракций и различных минералов (силикатов), чаще всего листовых. Поверхность частиц силикатов представлена кремнекислородными группами (силанольными анионами) $\equiv SiO^-$. Кислород, как известно, обладает весьма высокой электроотрицательностью, поэтому поверхность частиц оказывается полярной с отрицательным зарядом и способна взаимодействовать с различными катионами, наиболее активно (по исследованиям академика Гедройца) с ионами водорода, который способен вытеснить даже трёхвалентные катионы. В результате нейтрализации полярной группы водородом $\equiv SiOH^+$ заряд частиц, а следовательно, её активность понижаются.

Под воздействием заряда частиц вокруг *них* образуется плотный гидратный слой четко соорентированных и прочно связанных молекул-диполей воды. Гидратный слой обладает высокой прочностью, в результате чего и промывочная жидкость становится более вязкой с прочной структурой. Прочность

гидратного слоя (прочность межмолекулярных связей воды) зависит от его толщины

$$f = \frac{c}{r^7} \tag{2.1}$$

где r - толщина слоя.

Чем больше глинистых частиц и меньше расстояния между ними (тоньше гидратный слой), тем прочнее структура промывочной жидкости.

Качество глины определяется как её способностью диспергировать в воде, так и количеством функциональных групп ($\equiv SiO^-$; $\equiv SiOH^-$) и их активностью. Наиболее интенсивно диспергируют в воде натриевые монтморилониты, пакеты которых связаны слабыми одновалентными катионами Na^+, легко диссоциирующими в воде. Труднее диспергируют кальциевые монтморилониты.

С целью удаления или замены натрием обменных катионов Ca^{2+}, сшивающих пакеты глинистых частиц в глинистый раствор добавляют щелочные электролиты, способные взаимодействовать с катионами Ca^{2+} и образовывать нерастворимые соли. Наряду с удалением ионов Ca^{2+} щёлочи способны удалять водородный экран и переводить малоактивные функциональные группы $\equiv SiOH^-$ более активные $\equiv SiO^-Na^+$.

Пример: В воде кальцинированная сода диссоциирует на ионы

$H_2O + Na_2CO_3 \rightarrow HCO3 + OH^- + Na^+ HCO^-_3$ взаимодействует с обменными катионами и выпадает в осадок

$$Ca^{2+} + HCO^-_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Оксигруппа OH^- взаимодействует с водородом функциональной группы и образует воду, а функциональная группа OH переходит в более активную группу $\equiv SiO^-$

$$\equiv SiOH^- + OH^- \rightarrow SiO^- + H_2O$$

Вследствие этого при обработке глинистого раствора щёлочью стабильность (агрегативная и седиментационная устойчивость) раствора повышается.

Однако с увеличением щёлочи увеличивается не только концентрация оксигруппы OH^-, но и концентрация катионов (в

частности Na+),которые при избытке щёлочи способствуют нейтрализации (снижению) гидрофильности глинистых частиц. Поэтому щёлочность глинистого раствора должна контролироваться специальными приборами.

Кроме качества глины, на прочность структуры оказывает влияние её концентрация. Суммарная энергия взаимодействия молекул воды с поверхностью глинистой частицы определяется суммой энергий ориентационного и электростатического взаимодействий.

$$U=\frac{m\,e\,\mu}{2}+\frac{2\,n\,\mu^4}{3r^6\,R\,T}, \qquad (2.2)$$

где e – заряд иона частицы, μ- дипольный момент частиц, *m*-число взаимодействующих ионов.

Для разбавленных растворов (при расстояниях, превышающих действие межмолекулярных сил) между частицами и молекулами воды действуют только электростатические силы

$$f=\frac{m\,e\,\mu}{r^3}=\frac{m\,e\,\mu\,C}{V_{ср}}, \qquad (2.3)$$

где

$$r=\sqrt[3]{\frac{V}{n}}=\sqrt[3]{\frac{V_\phi\,V}{V_{ср}}}=\sqrt[3]{\frac{V_{ср}}{C}}$$

Здесь V- объём раствора, *n* - число глинистых частиц, $V_{ср}$- объём одной усреднённой частицы, V_ϕ - объём всех частиц, C - концентрация глины в растворе.

Из формулы (2.3) следует, что для разбавленных растворов прочность структуры прямо пропорциональна концентрации глины и обратно пропорциональна объёму частиц.

В концентрированных растворах (при расстояниях действия межмолекулярного взаимодействия *r*)

$$f=\frac{2\,n\,\mu^4}{r^7}=2\,n\,\mu^4\left(\frac{C}{V_{ср}}\right)^{7/3}, \qquad (2.4)$$

Методическая часть

Основными показателями гидрофильной структуры глинистых растворов являются величина статистического напряжения сдвига (прочность структуры), водоотдача и стабильность.

Статистическое напряжение сдвига определяют по прибору СНС-2, представляющему из себя два соосных цилиндра (стакана, устанавливаемого на вращающемся столике и боба с рифлённой боковой поверхностью, подвешенного внутри стакана на упругой нити к кронштейну). Стакан через редуктор с частотой вращения 0,2 об/мин приводится в движение от электродвигателя.

Водоотдачу бурового раствора определяют по прибору ВМ-6,имеющему фильтрационный и напорный узлы. Фильтрационный узел состоит из фильтрационного стакана и основания, между которыми устанавливают фильтр. В основании просверлен канал, перекрываемый пробкой.

Напорный узел состоит из напорного цилиндра с тарелкой и клапаном для слива масла и плунжера - груза со шкалой.

Стабильность раствора определяют по суточному отстою в мензурке (в % осветлённой части раствора) и разности плотностей раствора в нижней и верхней частей цилиндра ЦС-I после отстоя его в течение суток

$$C=\rho_{н} - \rho_{в}$$

Порядок измерения статистического напряжения сдвига: 1) с помощью регулировочных винтов добиваются соосности подвешенного на кронштейне цилиндра и стаканна; 2) подвесную головку нити приподнимают и поворачивают до полного совмещения нуля риски с риской указателя (закреплённого на кронштейне); 3) заполняют стакан раствором (при этом не следует смачивать верхний торец цилиндра); 4) путём поворота цилиндра в стакане перемешивают раствор и оставляют его в покое на 1 мин; 5) через минуту включают двигатель и после полной остановки поворота лимба берут отсчёт угла поворота; 6) таким образом, (после перемешивания раствора и минутной выдержки) берут три замера и определяют среднее значение угла поворота $\varphi_{ср}$; 7) вычисляют СНС по формуле $\theta = K\varphi_1$; 8) аналогичным способом замеряют СНС через 10 мин покоя 10= $K\varphi_{10}$. Коэффициент упругости нити K = 1,26.

Порядок измерения водоотдачи: 1) насухо протереть все детали прибора; 2) смочить два листа фильтровальной бумаги и отжать влагу между листами;3) уложить фильтром (а сверху них резиновую прокладку) в гнездо основания;4) закрепить стекай в

основании; 5) установить пробку; 6) заполнить стакан раствором; 7) закрепить напорный цилиндр на стакане; 8) закрыть клапан напорного цилиндра; 9) заполнить цилиндр маслом; 10) вставить плунжер; 11) с помощью клапана спустить масло в тарелку до совпадения нуля шкалы с риской на верхней части цилиндра, после чего клепан закрыть; 12) извлечь пробку в основании прибора; 13) включить секундомер, через 30 мин взять отсчёт по шкале прибора; 14) с помощью клапана слить масло в тарелку; 15) снять плунжер;16) отсоединить напорный цилиндр от стакана и слить масло из тарелки в ведро;17) вылить масло и раствор из стакана, ополоснуть стакан; 18) нельзя ополаскивать детали напорного узла.

Щелочность бурового раствора определяют по лакмусовой бумаге или с помощью специального прибора pH-метра, основанного на способности одного из его электродов в зависимости от концентрации водородных ионов изменять потенциал. Потенциал другого электрода (электрода сравнения) остаётся постоянным.

В результате изменения потенциала измерительного электрода создаётся меняющаяся с изменением pH разность потенциалов, которая с помощью электронного усилителя усиливается и фиксируется прибором со шкалой, протарированной в единицах pH.

В качестве измерительного электрода используют стеклянную трубочку с толщиной стенки 0,01 мм, заполненную 0,1H раствором HC1,в которую помещён вспомогательный хлорсеребряный электрод. Стеклянный электрод имеет отрицательный заряд. С увеличением концентрации катионов водорода заряд постепенно нейтрализуется, потенциал электрода понижается.

В качестве электрода сравнения используют каломельный электрод, состоящий из металлической ртути, покрытой каломелью Hg_2Cl_2, и погруженный в насыщенный раствор KCI.

Экспериментальная часть

Для проведения лабораторной работы заранее приготавливают пасту из бентонитового глинопорошка на пресной воде при соотношении бентонита и воды I:I по массе.

Из приготовленной пасты студенты на миксере готовят 15 % глинистый раствор на водопроводной воде.

Подгруппа разбивается на 3-6 бригад. Каждой бригаде выдаётся задание:

1-й бригаде - замерить статическое напряжение СНС «водоотдачу В и pH необработанного раствора;

2-й бригаде – 15 % раствор обработать кальцинированной содой из расчёта 2 % соды от содержания глины, раствор перемешать (в течение 5 мин) и после этого замерить СНС,В и pH;

3-й бригаде - разбавить 15 % глинистый, обработанный щёлочью раствор до 10 % и после перемешивания замерить СНС,В и pH;

4-й бригаде - разбавить 15 % глинистый, обработанный щёлочью раствор, до 5 % и после перемешивания замерить СНС,В и pH;

5-й бригаде разбавить 15% глинистый обработанный раствор до 2% и после перемешивания замерить СНС,В и pH.

Полученные бригадами замеры занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№	Необраб. 15 % глинистый раствор	15 % обраб. щелочью глинистый раствор	10 % обраб. щелочью глинистый раствор	5 % обраб. щелочью глинистый раствор	2 % обраб. щелочью глинистый раствор	Примечание
ПаН						

По экспериментальным данным необходимо построить графики зависимости статического напряжения сдвигу (прочности структуры) от концентрации глины $\theta = \varphi(C)$, В= $\varphi(C)$, pH= $\varphi(C)$.

Обсуждение результатов. Выводы

На основании таблицы и графиков необходимо сделать выводы о целесообразности обработки глины кальцинированной содой, о влиянии концентрации глины в растворе на статическое напряжение сдвига, водоотдачу, а также выводы о соответствии экспериментальных результатов теоретическим.

Практическая работа 3.

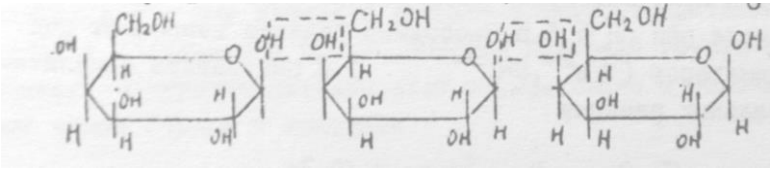
ИЗУЧЕНИЙ ГИДРОФИЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БУРОВЫХ (ПОЛИМЕРНЫХ) РАСТВОРОВ.

Цель работы: экспериментально доказать теоретические положении о природе структурирования полимерных растворов, получить навыки экспериментальной деятельности, обосновать глубокое понимание явление структурирования полимерных растворов.

Теоретическая часть

Полимерами называет соединения, молекулы которых состоят из большого числа атомных групп (звеньев),соединённых химическими связями в длинные цепи и сетки. Полимеры обладают гибкостью цепи, т.е. способностью звеньев под воздействием силового электрического поля какого-либо тела или соседних цепей вращаться относительно друг друга. Все полимеры, в зависимости от состава, подразделяют на органические и неорганические, органические - на природные и синтетические. К неорганическим полимерам можно отнести листовые силикаты. Наиболее широкое применение для приготовления промывочных жидкостей из органических природных полимеров получили производные целлюлозы, а из синтетических производные полиакриловой кислоты.

Целлюлоза (клетчатка) $C_6H_7O_2(OH)_3$ - природный полисахарид, образованный в результате поликонденсации Д - глюкозы $C_6H_{12}O_6$



Это главная составная часть клеточных стенок растений, обуславливающая их прочность. Получают целлюлозу путём растворения древесины и выделения из неё лигнина при сульфидной, сульфатной или щелочной варке. В промышленности целлюлоза используется для получения химических волокон (вискозного, ацетатного), пластмасс, целофана, бумаги, пороха, лаков и др.

В чистом виде целлюлоза в воде не растворяется вследствие наличия в макромолекуле большого количества оксигрупп, способных с атомами водорода соседних макромолекул образовывать прочные водородные связи. Для возможности растворения целлюлозы в воде часть оксигрупп замещают гидрофобными группами (что позволяет снизить прочность их молекулярных водородных связей) или более гидрофильными (полярными) функциональными группами.

*поликонденсация - процесс образования макромолекул с выделением воды.

По первому варианту путём замещения части оксигрупп OH^- гидрофобной метиловой группой $^-OCH_3$ получают метилцеллюлозу (ММЦ) $C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_3)_x$ оксиэтильной группой – оксиэтилцеллюлозу и т. д.

По второму варианту путём замещения части оксигрупп OH^- гидрофильной карбоксиметильной группой $^-OCH_2COONa$ получают карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2C00Na)_x]_n$, сернокислой группой $^-OSO_3Na$-сернокислый эфир целлюлозы (СЭЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OSO_3Na)_x]_n$ и т. д.

Путём комбинаций первого и второго вариантов получают метилкар-боксиметилцеллулозу (МКМЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x-y}(OCH_3)_x(OCH_2COONa)_y]_{,n}$ и т.д. Группа ^-C00Na КМЦ так же, как и соли Na_2CO_3 активно взаимодействует с двухвалентными металлами Ca^{2+} , Mg^{2+} с образованием нерастворимой КМЦ (соли), поэтому в агрессивных средах при наличии катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} КМЦ не применяется. Более устойчивы в этих средах ММЦ, СЭЦ, ОЭЦ, МКМЦ.

Полиакриловая кислота $[CH_2CHC00H]_n$. - синтетический карбоцепной полимер, который получают путём радикальной полимеризацией акриловой кислоты в воде при pH $\leq$ 6,5.Свободный радикал возникает под воздействием инициаторов (Fe^{2+}, CR^{2+}) в результате окислительно-восстановительных реакций

$$ROOH + Fe^{2+} \rightarrow RO^- + OH^- + Fe^{3+}$$

Этот радикал реагирует с двойной связью молекулы мономера и образует более сложный радикал

$$RO^- - + CH_2 = \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix} \rightarrow RO - CH_2 - \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix}$$

способный взаимодействовать со следующей молекулой мономера и т.д.

$$CH_2 - \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix} - CH_2 - \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix} -$$

Как и все кислоты, полиакриловая кислота ухудшает качество промывочных жидкостей (в первую очередь структурно-механические свойства), повышает водоотдачу, поэтому для обработки буровых растворов полиакриловая кислота не применяется.

В качестве структурообразователей используют соли полиакриловое кислоты, которые получают путём этерификации (нейтрализации) полиакриловой кислоты спиртом. Так, при этерификации полиакриловой кислоты нашатырным спиртом получают полиакриламмонит, полиакриламид (ПАА), полиакрилнитрил (ПАН)

$$\text{-COOH} + H_4OH \rightarrow \begin{Bmatrix} -COONH_4 + H_2O \\ -CONH_2 + 2H_2O \\ -CN + 3H_2O \end{Bmatrix}$$

Хорошими структурообразователями являются и сополимеры: метас, М-14, лакрис 20. Метас - термостойкий сополимер метакриловой кислоты и метакриламида, М-14 - термостойкий сополимер метакриловой кислоты и метилметакрилата, лакрис - модификация сополимера М-14.

Качество полимера, как структурообраэователя, определяется длиной макромолекулы (степенью полимеризации - количеством звеньев мономеров в цепи), количеством функциональных групп и их гидрофильностью (полярностью).

Полярность функциональной группы обусловлена величиной электроотрицательности её атомов. Под воздействием электроотрицательности электронное облако атомов группы с меньшей электроотрицательностью смещается в сторону атомов с большей электроотрицательностью, что и приводит к поляризации группы. Энергия полярной группы определяется разностью электроотрицательностей отрицательно и положительно заряженных ионов группы в квадрате

$$E = \frac{(n\text{Э}_1 - \text{Э}_2)^2}{2},$$

где Э_1 - электроотрицательность отрицательно заряженного, а Э_2- положительно заряженного атома, n - число отрицательно заряженных атомов в группе.

Функциональные группы с малой разностью электроотрицательностеп атомов являются гидрофобными.

Наиболее высокой электроотрицательностью обладают анионы фтора (Э_1 =4), кислорода (Э_1 =3,5), азота (Э_1 =3,07), хлора (Э_1 = 3). Наиболее низкой электроотрицательностью - одновалентные катионы калия (Э_2 =0,91) и натрия (Э_2 =0,93). Следовательно, полимеры, имеющие в функциональных группах кислород и азот, весьма гидрофильны.

Причём, чем больше их атомов в группе, тем более гидрофилен полимер. Поэтому для приготовления промывочных жидкостей чаще всего применяет полимеры с кислородо- и азотосодержащими функциональными группами.

Повысить гидрофильность функциональной группы можно путём устранения экрана катионов или их замены на менее электроотрицательные катионы.

С этой целью прибегают к гидролизу (разложению воды) полимера с образованием кислоты и спирта - процессу этерификации.

Так, при гидролизе производных полиакриловой кислоты (в щелочной среде) получают полиакриловую кислоту, которая в щелочной среде теряет водород и превращается в весьма гидрофильный полимер

$$-COONH_4 + H_2O \rightarrow COOH + NH_4OH$$
$$-CONH_2 + 2H_2O \rightarrow COOH + NH_4OH$$
$$-CN + 3H_2O \rightarrow COOH + NH_4OH$$

В щелочной среде карбоксильная группа переходит в более активную группу

$$-COOH + OH^- \rightarrow COO^- + H_2O,$$

а гидроксид аммония разлагается на аммиак и воду

$$NH_4OH \rightarrow NH_3\uparrow + H_2O$$

Так, в результате гидролиза ПАА получают более активный полимер ГПАА и его разновидности РС-1, РС-2, РС-4. В результате гидролиза полиакрилнитрила - ГиПАН и его разновидности: К-4, К-9 , "нитрон"

$[CH_2 - CHC\ N]_x \cdot [CH_2 - CHCONH_2]_y \cdot [CH_2 - CHCOON\ a]_z$.

Методическая часть

Основными показателями прочности структуры полимерных растворов, так же, как и для глинистых растворов, являются статическое напряжение сдвигу, водоотдача и pH. Приборы для определения этих показателей рассмотрены в предыдущей работе.

Экспериментальная часть

Подгруппа разбивается на 3-5 бригад. Каждой бригаде выдаётся индивидуальное задание.

1-й бригаде - приготовить миксером 0,5; 1,0; 1,5% растворы КМЦ, определить СНС, водоотдачу и pH растворов.

Результаты занести в табл.1.

Таблица 3.1

	1-я бригада			2-я бригада			3-я бригада			4-я бригада			5-я бригада		
	КМЦ %			ПАА %			ОЭЦ %			Метас %			Гипан %		
	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2
θ, Па В, см^3/30мин pH															

2-й бригаде - приготовить 0,5; 1,0;2% растворы ПАА, определить показатели СНС, водоотдачу и pH, результаты занести в табл.1.

3-й бригаде - приготовить 1,0;2,0;3% растворы метаса, определить СНС, водоотдачу и pH, результаты занести в табл. 3.1.

4-й бригаде - приготовить 0,5;1,0;2% растворы метаса, определить СНС, водоотдачу и pH, результаты занести в табл. 3.1.

5-й бригаде - приготовить 0,5;1,0;2% растворы гипана, определить СНС, водоотдачу и pH растворов, результаты занести в табл. 3.1.

По экспериментальным данным необходимо построить графики зависимости СНС, водоотдачи и pH от концентрации полимера

Обсуждение результатов. Выводы

На основании таблицы и графиков необходимо сделать выводы о влиянии концентрации полимеров на показатели θ, В, pH, о соответствии зависимостей с теоретическими положениями, о возможности использования полимерных растворов в качестве промывочных жидкостей при следующих условиях СНС = 0,5 ÷I Па, В = 5-10 см3/30 мин.

Практическая работа 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы: экспериментально определить зависимость вязкости буровых растворов от концентрации твёрдой фазы, скорости течения плотности и сечения потока.

Теоретическая часть

Вязкость (внутреннее трение) - свойство жидкостей оказывать сопротивление при её течении.

Вязкость - один из важнейших показателей промывочных жидкостей - существенно влияет на эффективность бурения горных пород. Вязкие структурированные растворы способствуют кольматации пор и трещин в горной породе, закреплению стенок скважин в рыхлых и неустойчивых горных породах; вязкие растворы имеют малую водоотдачу, а, следовательно, предотвращают насыщение пористой глинистой породы водой, её набухание и обвалы стенок скважин. Вязкие растворы обладают высокой несущей способностью и применяются при бурении горных породообразующих шлам высокой плотности.

Природа вязкости промывочных жидкостей та же, что и прочность структуры - межмолекулярное взаимодействие молекул воды и частиц твердой фазы. Поэтому зависимости

вязкости от концентрации твёрдой фазы, температуры и размеров сосудов (диаметра труб, зазора между трубами и стенками скважин, в котором находится или протекает жидкость) те же, что зависимости прочности структуры от этих величин. Однако вязкость не всегда соответствует статическому напряжению сдвига. Так, например, в малоглинистых, активированных растворах, растворах с гидрофильной структурой вязкость значительно ниже, чем СНС, так как при движении жидкости вследствие дезориентации молекул взаимодействие между ними снижается, а в растворах с гидрофобной структурой вязкость значительно выше, чем СНС, так как при течении воды вследствие дезориентации молекул толщина гидратных оболочек уменьшается, а сила межмолекулярного взаимодействия частиц возрастает.

При обработке малоглинистых растворов гибкими полимерами (например, метасом) при повышении концентрации полимера в небольших объёмах СНС понижается (за счёт повышения толщины гидратного слоя), а вязкость повышается. Дело в том, что полярные (функциональные) группы полимера (по закону полярностей Ребиндера) поворачиваются в сторону фазы с большей полярностью. При течении раствора молекулы воды дезориентируются (движутся более хаотично) полярность воды понижается и полярные группы поворачиваются в сторону более полярной поверхности глинистых частиц, а гидрофобной в сторону воды. В результате частицы становятся более гидрофобными и, как следствие, вязкость раствора сначала возрастает (до некоторого предела концентрации полимера, а затем при образовании второго слоя полимера понижается.

За единицу вязкости принимают касательные усилия при течении жидкости, приходящиеся на единицу площади (касательные напряжения, Па) при разности скоростей между слоями равно dv=м/с и расстояние между ними dr= 1 м.

Для ньютоновских жидкостей

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr} = |\eta| , \quad (4.1)$$

где η - коэффициент вязкости.

Для бингамовских (вязкопластичных) жидкостей (глинистых растворов)

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dr} \quad (4.2)$$

где τ_0 - динамическое напряжение сдвига, η - коэффициент пластической вязкости.

Коэффициент пластической вязкости при использовании вискозиметра ВСН-3 определяют из соотношения

$$\eta = (\varphi_{600} - \varphi_{300}), \text{ Па·с} \quad (4.3)$$

а динамическое напряжение сдвига

$$\tau_0 = 0{,}3(2\varphi_{300} - \varphi_{600}), \text{ Па} \quad (4.4)$$

где φ - угол поворота лимба, град, вискозиметра ВСН-3.

Вязкость структурированных жидкостей можно определить и по формуле

$$\tau = \eta_{эф} \frac{dv}{dr} , \text{ Па}, \quad (4.5)$$

где

$$\eta_{эф} = \eta + \tau_0 / \frac{dv}{dr} , \quad (4.6)$$

Вязкость (касательные напряжения сдвига) псевдопластич-ных жидкостей (активированных малоглинистых, полимерных, полимерглинистых растворов) при η =600 об/мин определяют по степенному закону

$$\tau_{600} = \eta_c \frac{v^n}{r} , \quad (4.7)$$

С другой стороны касательные напряжения можно выразить через коэффициент трения и радиальное давление жидкости

$$\tau_{600} = fP \quad (4.8)$$

В соответствии с законом Бернулли у стенок внутреннего цилиндра (боба) вискозиметра ВСН-3, где $V = 0$

$$P_0 = const - \frac{\rho v^2}{2} = const \quad (4.9)$$

у стенок вращающегося внешнего цилиндра $v = v_ц$

$$P_ц = const - \frac{\rho v_ц^2}{2} \quad (4.10)$$

тогда радиальное давление

$$P=P_o-P_ц=\frac{\rho v_ц^2}{2} \quad (4.11)$$

При $V_0 = V_ц$ P=0

Из уравнений (4.7),(4.8) и (4.11)

$$f=\frac{\eta_c(\frac{v}{r})^n}{\rho\Delta v^2}=\frac{\eta_c}{\rho\Delta v^{2-n}r^n}=\frac{\eta_0 C^{7/8}}{\rho\Delta v^{2-n}r^n}, \quad (4.12)$$

где η_0 - показатель вязкости.

Таким образом касательные напряжения сдвига определяются двумя показателями коэффициентом трения f, (межмолекулярного взаимодействия молекул воды и частиц твёрдой фазы), зависящим от концентрации твёрдой фазы, скорости течения и размеров труб с одной стороны и радиального давления $P=\rho v^2/2$ с другой стороны.

При повышении скорости течения коэффициент трения понижается и тем интенсивнее, чем меньше показатель степени (чем ниже гидрофильность глинистых частиц, выше глиноёмкость раствора). При некоторое значительной концентрации, когда молекулярные связи между частицами окажутся выше, чем с поверхностью частиц, скорость течения по всему сечению потока окажется одинаковой $V=V_ц$ радиальное давление снизится до нуля, следовательно, взаимодействие молекул воды со стенками трубы возрастает, и раствор будет перемещаться в трубе как твердое тело. Энергия затрачивается только на трение раствора о трубу $\tau = fr\mathrm{P}_0$, и касательные напряжения не будут зависеть от скорости течения (n=0, $\tau = \tau_0$=*const).*

Методическая часть

Таким образом, основными показателями вязкости бурового раствора являются: для бингамовских (глинистых) растворов - динамическое напряжение сдвигу τ_0 и пластическая вязкость, для псевдопластичных (полимерных) растворов - эффективная вязкость.

Все эти показатели определяют по прибору - вискозиметру ВСН-3.

В полевых условиях пользуются условной величиной вязкости, определяемой по времени истечения 500 $см^3$ раствора из воронки через трубку с внутренним диаметром 5 мм.

Вискозиметр ВСН-3 состоит из станины, внутри которой в нижней части установлен двигатель для привода (через редуктор) гильзы для измерения вязкости раствора, а в верхней части - двигатель для вращения этой же гильзы при определении СНС (с частотой 0,2 об/мин). Внутри гильзы на стержне, установленном в станине на подшипниках, подвешивается подпружинный цилиндр с рифлёной поверхностью (боб). В процессе измерения гильза вводится в стакан с исследуемым буровым раствором при подъёме телескопического столика. На стержне боба закреплён лимб с делениями (в градусах). Редуктор нижнего двигателя с помощью переключателя позволяет менять частоту вращения гильзы (200,300,400,600 об/мин).

Порядок измерения вязкости.

1. Заполнить стакан исследуемым раствором до риски, установить его на подъёмном столике, поднять столик до упора и зафиксировать его поворотом по часовой стрелке. 2. Установить переключатель в положение 600 об/мин и включить двигатель. 3. Выждать 2-3 мин (до полной остановки лимба), взять отсчёт по лимбу f_{600} и отключить двигатель. 4. Переключатель установить в положение ŋ=300 об/мин и включить двигатель. 5. Послеполной остановки лимба взять отсчёт f_{300}.

По полученным значениям в соответствии с формулами (4.3-4.6) определяем пластическую вязкость, динамическое напряжение сдвига, эффективную вязкость и вязкость раствора при 600 об/мин. Вязкость раствора при других числах оборотов гильзы можно определить по формуле

$$T = K \cdot \varphi_n \qquad (4.13)$$

коэффициент К приводится в паспорте вискозиметра.

Статическое напряжение сдвига определяют при 0,2 об/мин после перемешивания раствора при n = 600 об/мин и выдержки после перемешивания в течение 1 мин и 10 мин.

Показания шкалы снимают в момент максимальных знамений перед разрушением структуры

$$\theta = К \bullet \varphi_п \qquad (4.14)$$

Экспериментальная часть:

Из приготовленной заранее пасты черногорского глинопорошка миксером приготавливают 2 л 20 % глинистого раствора, обработанного (2 % от веса с чистой глины) кальцинированной содой.

Группа студентов разбивается на 3-6 бригад. Каждой бригаде выдаётся индивидуальное задание.

1-й бригаде: определить зависимость вязкости глинистого раствора от концентрации глины. Для этого отлить из общей ёмкости 0,3 л. раствора и разлить его в пять частей: 120, 90, 60, 30 мл, разбавить водой четыре последних до 120 мл, получив таким образом по 120 мл: 20, 15, 10, 5 и 2%-х глинистых растворов.*

Для каждого раствора определить по формуле (4.6) значение τ_{600} и формуле (4.14) значения θ.

Полученные значения занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Показатели τ_{600} *и* θ *глинистого раствора при концентрации глины*									
20%		15%		10%		5%		2%	
	600		600		600		600		600

По полученным данным построить график зависимости $\tau_{600} = \varphi$(С), $\theta = \varphi$ (С).

2-й бригаде: определить зависимость вязкости глинистого раствора от скорости вращения цилиндра вискозиметра. Для этого из общей ёмкости отлить 150 мл 20 %-го глинистого раствора, определить по формулам (4.13) и (4.14) значения τ и θ при различной скорости вращения цилиндра: 0,2; 200; 300; 400; 600 об/мин. Затем в 2 раза разбивать раствор водой (до 10 %) и вновь замерить эти показатели.

*Для сокращения времени приготовления растворов получить требуемые растворы можно путём последовательного разбавления одного и того же 20 %-го раствора после определения τ_{600} до 15, затем 10,5 и 2 %.

Полученные результаты занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Концентрация раствора %	θ, Па	Вязкость, Па			
		τ_{200}	τ_{300}	τ_{400}	τ_{600}
20 10					

По экспериментальным данным построить графики зависимости $\tau = \varphi(n)$ для 20 и 10%-х растворов.

3-й бригаде: определить зависимость вязкости и СНС глинистого раствора от зазора между вращающимся цилиндром и бобом.

Для этого из общей ёмкости отлить 150 мл 20 %-го глинистого раствора, определить по формулам (4.7) и (4.16) и τ_{600} при установке различных цилиндров, позволяющих получать зазор….. мм. Разбавить в 2 раза раствор и вновь определить значения θ и τ

Результаты занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Концентрация глины, %	Значения θ и τ_{600} при					
	$\delta =$		$\delta =$		$\delta =$	
	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}
20 10						

По экспериментальным данным построить график зависимости $\tau_{600} = \varphi(\delta)$ и $\theta = \varphi(\delta)$.

4-й бригаде: определить зависимость вязкости и СНС глинистого раствора от его плотности.

Для этого отлить из общей ёмкости 150 мл 20 %-го глинистого раствора, в который добавить 10 % барита и определить на вискозиметре значения θ и τ_{600} и ареометре значения ρ. Затем добавлять по 5 % барита и также определять значения ρ, θ, τ_{600} при 15 и 20 % барита.

Результаты занести в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Показатели θ и τ_{600} при					
10 % барита		15 % барита		20 % барита	
θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}

По полученным результатам построить график зависимости $\tau_{600} = \varphi(\delta)$, $\theta = \varphi(\delta)$.

5-й бригаде: определить зависимость вязкости глинистого раствора от температуры. Для этого отлить 150 мл 20%-го глинистого раствора, замерить его температуру и определить показатели θ и τ_{600} на вискозиметре ВСН-3. Подогреть раствор до 40 °С и определить показатели θ и τ_{600}. Затем подогреть до температуры 60 и 80 °С и замерить значения θ и τ_{600}.

Результаты занести в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Показатели θ и τ_{600} при							
20 ^{0}C		40 ^{0}C		60 ^{0}C		80 ^{0}C	
θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}

По полученным данным построить графики зависимости $\tau_{600} = \varphi$ (*T* °C), $\theta = \varphi$ (T °C).

Обсуждение результатов. Выводы

Полученные различными бригадами исследования обобщить, составить отчёт, сделать выводы.

Практическая работа 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ПРОЧНОСТЬ СТРУКТУРЫ И ВЯЗКОСТЬ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ (ГИДРОФОБНОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ)

Цель работы: экспериментально раскрыть теоретические положения о гидрофобных структурах промывочное жидкости, обеспечить более глубокое понимание происходящих в растворах физико-химических процессов при обработке их электролитами.

Теоретическая часть

Гидрофобная структура промывочной жидкости обусловлена межмолекулярным взаимодействием частиц твёрдой фазы, которые возможны только на незначительном удалении частиц друг от друга. Сближение частиц возможно в двух случаях: при повышении количества частиц твёрдой фазы (повышении концентрации или их диспергировании) и при гидрофобизации частиц (снижении их потенциала электролитами или гидрофобизация гидрофобными полимерами).

Все структурообразователи промывочных жидкостей обладают отрицательным зарядом, поэтому нейтрализацию заряда производят катионоактивными электролитами. В процессе насыщения бурового раствора электролитами вокруг частиц твёрдой фазы образуется двойной электрический слой (ДЭС), состоящий из заряженной поверхности самих частиц и слоя катионов, нейтрализующих этот заряд.

Интенсивность снижения потенциала частиц зависит от заряда катионов, с увеличением заряда она растёт. С помощью одновалентных катионов заряд частиц нейтрализуется частично, с помощью двухвалентных катионов потенциал может быть понижен до нуля, а трёхвалентными катионами можно даже изменить заряд на противоположный.

По адсорбционной способности (способности катионов вытеснять о поверхности частиц силанольного типа $\equiv SiO^-$) катионы располагаются в следующем порядке

$$Al^{3+} > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > NH_4^{+} > Na > Li$$

Ионы водорода с радикалами $\equiv SiO^-$ образуют прочные водородные связи и поэтому способны вытеснять все вышеприведённые катионы.

При нейтрализации потенциалы частиц твёрдой фазы сила взаимодействия с ними молекул воды понижается, понижается толщина гидратного слоя, частицы получают возможность сблизиться на расстояние их межмолекулярного взаимодействия, что резко повышает прочность структуры (связей частиц). При повышении концентрации катионов может произойти полная нейтрализация заряда, агрегатирование (слипание) частиц и их седиментация.

При снижении толщины гидратного слоя увеличивается и кулоновское взаимодействие катионов с частицами твёрдой фазы. Особенно интенсивно оно проявляется при наличии поливалентных катионов, способных “сшивать” частицы уже при малых концентрациях.

Гидрофобиэация частиц сопровождается повышением водоотдачи. Гидрофобное структурирование раствора можно определить по повышению прочности структуры и водоотдачи. При агрегатировании твёрдой фазы водоотдача также растёт, но прочность структуры понижается. При флокуляции частиц (образовании хлопьев) прочность структуры растёт, водо-отдача остаётся постоянной.

Для повышения прочности структуры промывочных жидкостей электролиты используют редко. Чаще электролиты добавляют в раствор с целью ингибирования (ограничения, предотвращения), набухания глинистых пород. В этом случае катионы из раствора за счёт кулоновских сил по порам проникают в глинистую породу, нейтрализуют заряд глинистых частиц, в результате чего предотвращается всасывание воды и набухание породы. Глинистые частицы без гидратного слоя повышают свою прочность за счёт межмолекулярного взаимодействия.

Наиболее эффективными ингибиторами являются поливалентные катионы. Однако поливалентные катионы при высокой их концентрации повышают положительный заряд бурового раствора, что приводит к диспергированию глинистой породы (засасыванию раствором отрицательно заряженных глинистых частиц породы, слагающих стенки скважин), кавернообразованию, авариям и ухудшению качества бурового раствора. Поэтому ингибирующие растворы готовят с использованием солей одновалентных металлов (NaCl, КС1) или слаборастворимых в воде соединений поливалентных металлов, вследствие чего обеспечивающих раствор незначительным количеством поливалентных катионов: известь $Ca(0H)_2$, гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Легко растворимые соли поливалентных металлов $CaCl_2$, $AICl_3$ могут использоваться только для приготовления ингибирующих растворов при бурении недиспергирующихся глинистых пород: микротрещиноватых аргиллитов, глинистых сланцев с целью "сшивания" кусков горной породы.

Электролитами насыщают буровые растворы при бурении соленосных отложений с целью предотвращения их растворения при бурении. Обычно насыщают буровой раствор теми же солями, которые присутствуют в геологическом разрезе: при бурении галита - поваренной солью, а бишофита и корналита - раствором бишофита.

Наконец, электролиты применяют для получения конденсированной твёрдой фазы, например, гидрогеля магния

$$Mg\ Cl_2 + NaOH \rightarrow Mg(0H)_2 + Na^+ + Cl^- \text{ тв. фаза}$$

В глинистых растворах электролиты вызывают коагуляцию, агрегатирование и седиментацию глинистых частиц, ухудшают качество бурового раствора. Для предотвращения агрегатирования и седиментация глинистых частиц, а также роста кристаллов конденсированной твёрдой фазы раствор стабилизируют солестойкими полимерами (например, КМЦ КССБ и др.).

Методическая часть

Основными показателями гидрофобной структуры буровых растворов являются прочность структуры (статическое напряжение сдвига), вязкость, водоотдача и стабильность.

Статическое напряжение сдвига и вязкость бурового раствора предусматривается определять на вискозиметре ВСН-3, водоотдачу на приборе ВМ-6, стабильность по суточному отстою в мензурке (%) и в цилиндре ЦС-2 по разности плотности раствора в верхней и нижней половине цилиндра с=$\rho_н$-$\rho_в$. Для приготовления бурового раствора предусматривается использовать миксер, для нагревания раствора - кипятильник.

Экспериментальная часть

Подгруппа разбивается на пять бригад. Каждой бригаде выдастся задание.

1-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи глинистого раствора от концентрации поваренной соли. Для этого из заранее приготовленной пасты черногорского глинопорошка (в соотношении глина - вода 1:1) приготовить 1 л 15 %-го глинистого растворе, обработанного кальцинированной содой (2 % от веса глины). Из общей ёмкости отлить в четыре ёмкости по 250 мл 15 %-го глинистого раствора, добавить в три из них 5,15,25 % поваренной соли, тщательно перемешать и определить показатели, для каждого раствора. Результаты занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 5 15 25			

По экспериментальным данным построить графики зависимости $\theta = \varphi$ (С), $\tau_{600} = \varphi$ (С), В = φ (С).

2-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи от концентрации хлористого кальция. Для этого приготовить 1л 15 %-го глинистого раствора, обработанного

кальцинированное содой (2 % от веса глины), разлить раствор в четыре ёмкости по 250 мл, добавить в три из них хлористого кальция:0,5; 1,5; 2,5 %, тщательно перемешать и определить для каждого раствора показатели θ, τ_{600}, В. Результаты занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 0,5 1,5 2,5			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

3-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи глинистого раствора, стабилизированного КМЦ-600 от концентрации хлористого калия. Для этого приготовить 1 л 15 %-го глинистого раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от веса глины) и 1,5 %-го КМД. Раствор разлить в четыре ёмкости по 250 мл. В три из них добавить хлористого калия 5, 15, 25 %. Для каждого раствора определить θ, τ_{600} и В. Результаты занести в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 5 15 25			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

4-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи, стабилизированного КМЦ-600 глинистого раствора от концентрации хлористого кальция. Для этого приготовить 1 л 15 %-го глинистого раствора, обработать его кальцинированной содой (1 % от веса глины) и 1,5 %-го КМЦ-600. Раствор разделить и разлить в 4 ёмкости по 250 мл. В три из них добавить 0,5; 1,5; 2,5 % $CaC1_2$.

Растворы тщательно перемешать и определить для каждого из них показатели θ, τ_{600} и В. Результаты занести в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 0,5 1,5 2,5			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

5-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкость и водоотдачи от концентрации поваренной соли. Для этого приготовить 1 л 15 %—го глинистого раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от веса глины) и КМЦ-600. Разлить раствор в 4 ёмкости по 250 мл. В три из них добавить поваренной соли 5, 15, 25 %. Для каждого раствора определить θ, τ_{600} и В. Результаты занести в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 5 15 25			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

Обсуждение результатов. Выводы

Полученные результаты обобщить всей подгруппой, оделить выводы о влиянии электролитов на свойства глинистых растворов и целесообразности обработки ими буровых растворов.

Практическая работа 6.

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ РАЗЖИЖЕНИЯ (ДЕСТРУКТУРИРОВАНИЯ) БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы: экспериментально раскрыть теоретические положения о влиянии различных способов деструктурирования и снижения вязкости промывочных жидкостей.

Теоретическая часть

В процессе бурения соленосных отложений или при наличии агрессивных подземных вод в результате гидрофобизации катионами электролитов частиц твёрдой фазы прочность структуры и вязкость буровых растворов резко возрастают. Прочность структуры и вязкость буровых растворов возрастают также и вследствие насыщения промывочных жидкостей тонким шламом. Резкое повышение вязкости раствора вызывает ряд нежелательных явлений осложняющих процесс бурения. В первую очередь вязкие растворы существенно снижают механическую скорость бурения.

$$V_{\text{мех}} \approx V_0(I - \text{к}\tau)$$

где V_0 - механическая скорость бурения при промывке водой, τ- вязкость раствора.

Высокая вязкость раствора вызывает необходимость дополнительного расхода энергии на вращение снаряда, затрудняет очистку раствора от шлама, повышает содержание в растворе абразивного шлама, что ведёт к интенсивному износу снаряда, осложняет спуско-подъёмные операции, создаёт антисанитарные условия.

При повышении концентрации твёрдой фазы в растворе повышается его плотность ρ, что также резко снижает механическую скорость бурения

$$V_{\text{мех}} = \frac{V_0}{\rho^n}$$

Снижение прочности структуры и вязкости раствора но практике осуществляют путём уменьшения частиц тонкодисперсной твёрдое фазы растворе (разбавления водой,

удаления части твёрдой фазы флокулянтами, агрегации и седиментации частиц). Удаление грубой твёрдой фазы (шлама) осуществляет в очистной системе с помощью вибросит, гидроциклонов, желобов, отстойников. Эти методы используют в тех случаях, когда требуется одновременно со снижением СНС и вязкости понизить и плотность раствора.

В тех случаях, когда нужно понизить прочность структуры, но сохранить плотность раствора на прежнем уровне растворы разжижают (путём удаления из раствора катионов в первую очередь, поливалентных металлов Ca^{2+}, Mg^{2+}) с солями с поливалентными анионами, способными образовывать с Ca и Mg нерастворимые соединения Na_2SO_4, Na_2CO_3, путём активации твёрдой фазы: щелочными реагентами (УЩР, ТЩР, фосфатами, щелочными электролитами Na_2CO_3, NaOH, KOH и др.), полимерами - стабилизаторами (в первую очередь олигомерами).

В результате активации твёрдой фазы между частицами твёрдой фазы образуются толстые гидратные оболочки, межмолекулярное взаимодействие между частицами снижается, прочность структуры, вязкость и водоотдача понижаются.

Для разжижения растворов и снижения водоотдачи чаще всего используют активированный щёлочью гидролизный лигнин и его производные, активированные щёлочью бурый уголь и торф.

Лигнин является отходом гидролизного производства спирта, дрожжей, целлюлозно-бумажного производства. Это составная часть древесины, связывающая фибриллы целлюлозы в единое целое. Активированный ливнин и его производные - ароматические соединения, обладают высокой адсорбционной способностью, способностью образовывать на поверхности частиц твёрдой фазы достаточно плотную и гидрофильную полимерную плёнку. Ароматические полимеры - разжижители обладают высокой солестойкостью, при большой концентрации (выше 2-3 %) могут повышать прочность структур.

В практике бурения для разжижения глинистых растворов применяют почти все отходы гидролизного производства: гидролизный лигнин, шлам - лигнин, активные илы,

лигносульфонаты (сульфитспиртовая барда - ССБ, сульфит-дрожжевая бражка - СДБ, нитратный сульфатный щёлок НСЩ). К производным лигнина относятся нитролигнин - продукт окисления и нитрования гидролизного лигнина в 10 % азотной и 4 % серной кислоте, и г е т а н - продукт дальнейшей активации нитролигнина в каустической соде и кислороде; с у н и л - продукт активации нитролигнина гидросульфитом натрия. Производными ССБ являются о к з и л - продукт обработки кальциевой ССБ хромпиком в щелочной среде, феррохромлигносульфонат - продукт взаимодействия ССБ (СДБ) с сернокислым железом и бихроматом натрия, конденсированная сульфитспиртовая барда (КССБ, КССБ-1, КССБ-2, КССБ-4) – продукт обработки ССБ формальгидом и фенолом в кислой среде с последующей нейтрализацией щелочью. Цифра указывает на содержание фенола КССБ-4 кроме того содержит хромпик и по свойствам (термостойкости) близок окзилу.

Помимо целлюлозы и лигнина древесина содержит значительное количество гемицеллюлоз (примерно равное содержанию лигнина), среди которых выделяют древесную смолу. Экстрационная (нерастворимая в воде, но растворимая в этилацетате) смола наполовину состоит из фенолов. При конденсации фенолов с помощью формальдегидов и форма ль сульфитов получают реагент - полифеноллесохимический - ПФЛХ.

Помимо перечисленных реагентов из растений, за рубежом применяют экстракты из различных деревьев и других растений — таннины, представляющие собой конденсированные фенолы. Одним из представителей таннинов является сулькор, получаемый из щелочной вытяжки отходов дубильного экстракта.

Широкое распространение в качестве разжижителей получили УЩР,

ТЩР - продукты активации бурого угля и торфа щелочами и их производные: НГР - (нитрогуматный реагент) - бурый уголь, окисленные 8 %-й азотной кислотой при температуре 50-60 ^{o}C, СНГР - сульфированный нитрогуматный реагент, который получают сульфированием бурого угля бисульфатом натрия, ХГР - хромгуматный реагент - бурый уголь, окисленный хромпиком.

В практике бурения для выбора способа структурирования или разжижения на графике определяет оптимальную зону (рис.1) в системе координат θ ,Т . /

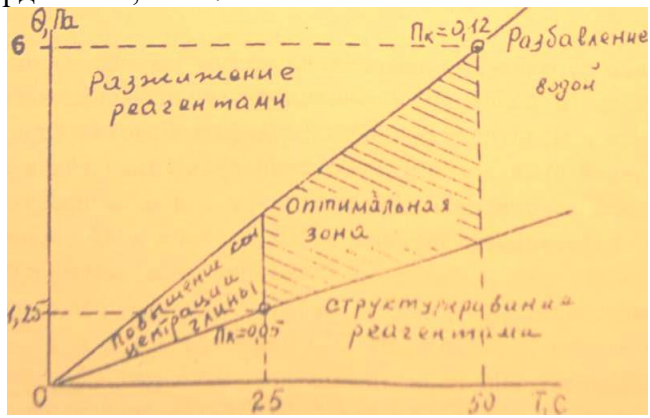


Рис. 6.1. Схема регулирования вязкости раствора

Для этого определяют минимальный и максимальный показатель консистенции - отношение СНС к условной вязкости

$$П_к = \frac{\theta}{T}$$

отмечают точки на графике и через эти точки проводят прямые.

В практике нефтяного бурения за оптимальные показатели принимают θ = 1,25 ÷ 6 Па, Т = 25-50 с, максимальный показатель консистенции $П_к = \frac{6}{50}$ =0,12 Па/с, минимальный $П_к = \frac{1.25}{25}$ =0,05 Па/с. Тогда оптимальной областью консистенции будет область, расположенная между прямыми, проведёнными через максимальный и минимальный $П_к$, в пределах- от 1,25 до 6 Па и Т от 25 до 50 с.

Если вязкость Т будет меньше 25 с раствор структурируют введением дополнительного количества твёрдой фазы, больше 50 с-буровой раствор разбавляют водой. При $П_к <$ 0,05,раствор структурируют реагентами, при $П_к >$ 0,12,раствор обрабатывают разжижителями (табл. 6.1).

В оптимальной области регулируют только показатель фильтрации.

Таблица 6.1

$П_к$ раствора Па/с	Обработка	Тип реагента			
	Растворами реагентами	Пресный раствор	Слабоминераз. NaCl раствор	Минерализ. NaCl раствор	Минерал из.$CaCl_2$ раствор
$П_к$=0,05-0,12	Понизителями фильтрации	УЩР, ТЩР	УЩР,ТЩР	КССБ, КМЦ, гипан, К-4, метас	КССБ, КМЦ
$П_к$<0,05	Структурообразователями	NaCl, Na_2SiO_3, кальц. глина	$Ca(OH)_2$ $CaSO_4$ натр.глина	Асбест солест. глина	$CaCl_2$, $Ca(OH)_2$ $CaSO_4$ кальц. глина
$П_к$>0,12	разжижителями	УЩР, ТЩР, нитролигнин, игетан, окзил, бур.уголь	ССБ, нитролигнин, окзил, ПФЛХ, бур.уголь	ССБ, окзил	ССБ, окзил

Методическая часть

Основными показателями качества разжижения являются вязкость, статическое напряжение сдвига и водоотдача. Статическое напряжение сдвига, как известно, определяют на приборе СНС-2, вязкость можно определять как по вискозиметру СПВ-5, так и вискозиметру ВСН-3.

Экспериментальная часть

Из заранее приготовленной пасты черногорского глинопорошка приготавливают 25 %-й глинистый раствор. Подгруппа разбивается на пять бригад.

1-й бригаде необходимо отлить из общей ёмкости 0,5 л 25 %-го раствора, определить показатель $П_к$ и при необходимости наметить пути дальнейшей обработки раствора. При необходимости разжижения раствора определить методы разжижения и дать оценку эффективности выбранного метода.

2-й бригаде отлить 0,5 л 25 %-го раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от веса глины), определить по показателю $П_к$ необходимость дальнейшей обработки раствора.

Если требуется разжижение раствора, выбрать метод разжижения и после его реализации определить эффективность метода.

3-й бригаде отлить 0,5 л 25/6-го раствора, обработать его кальцинированной содой(2% от массы глины) и полимерами (КМЦ-600, 1,5 % от массы раствора) и определить по показателю [^необходимость- дальнейшей обработки. При необходимости разжижения определить метод разжижения и после его реализации определить эффективность метода.

4-й бригаде отлить 0,5л 25 %-го глинистого, раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от массы глины) и полимерами (КМЦ-600 1,5 % от массы раствора), а затем поваренной солью (5 % от массы раствора). Определить необходимость дальнейшей обработки раствора по показателю $П_к$. При необходимости разжижения раствора выбрать его метод и после реализации определить эффективность метода.

5- й бригаде отлить 0,5 л 25 %-го глинистого раствора, разбавить его в 2 раза водой, обработать кальцинированной содой (2% от массы глины) метасом (0,5 % от массы раствора) и хлористым кальцием (1 % от массы раствора). По показателе $П_к$ определить необходимость дальнейшей обработки. При необходимости разжижения выбрать метод, а после его реализации определить эффективность метода.

Результаты экспериментов бригады заносят в табл. 6.1.

Таблица 6.I

Состав раствора				Показатели			Разжижитель и показатель после разжижения			
Глина %	Na_2CO_3	КМЦ метас	NaCl, $CaCl_2$	θ_{10}, Па	Т, с	$П_к$	Разж.	θ_{10}, Па	Т, с	$П_к$

Анализ результатов исследований и выводы

На основании экспериментальных данных необходимо проанализировать влияние различных компонентов промывочной жидкости на показатели θ, Т, $П_к$ и сделать вывод об эффективности разжижения различными методами.

Практическая работа 7.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Цель работы: ознакомить студентов с методами регулирования плотности бурового раствора.

Теоретическая часть

При бурении скважин непременным условием предупреждения водопроявлений обвалов стенок скважин и связанных с ними осложнений является регулирование гидростатического давления столба бурового раствора в зависимости от давления водоносных пластов и норового давления глинистых пород. В зонах аномально высоких пластовых давлений, зонах неустойчивых горных пород, чтобы не допустить водопроявлений и обвалов .необходимо поддерживать плотность раствора, при которой давление на стенки скважин было бы несколько больше пластового давления флюида.

С другой стороны повышенное давление столба жидкости способно вызвать гидравлический разрыв пластов, что может повлечь потери промывочной жидкости и другие последствия. Повышенная плотность буревого раствора резко понижает механическую скорость бурения

$$V_{\text{мех}} = \frac{V_0}{\rho^n}$$

где V_0 - механическая скорость бурения при промывке водой, ρ - плотность раствора, n - показатель степени, равный 2-3.

Следовательно, при бурении скважин необходимо постоянно регулировать плотность бурового раствора.

Для повышения плотности раствора повышают концентрацию глины, вводят специальные утяжелители.

Буровые растворы, приготовленные на основе бентонитовых глин, имеют невысокую плотность 1059-1080 кг/м^3. Каолиновые и иллитовые глины в зависимости от их качества позволяют получать растворы плотностью 1180—1300 кг/м^3, а за счёт повышения концентрации и обработки химреагентами - разжижителями - 1400 -

1450 кг/м^3. Однако опыт показывает, что выгоднее использовать утяжелители с высокой плотностью, т. к. они позволяют уменьшить концентрацию твёрдой фазы в растворе, а значит, повысить механическую скорость бурения и расход утяжелителя.

Основной показатель качества утяжелителя - утяжеляющая способность, которая определяется плотностью раствора после введения 300% утяжелителя (по массе к исходному раствору) для создания раствора с условной вязкостью 60 с, водоотдачей 5-6 см^3 за 30 мин.

Утяжеляющая способность материала зависит от его плотности, дисперсности, гидрофильности и химического состава. Высокая степень дисперсности утяжелителя способствует повышению вязкости, а вязкость не позволяет повышать концентрацию утяжелителя и плотность раствора. Низкая степень дисперсности утяжелителя снижает седиментационную устойчивость.

В зависимости от минерального состава утяжелители делят на четыре группы: карбонатные (мергель, ρ = 2650 кг/м^3, известняк и мел ρ = 2700 кг/м^3, доломит, ρ = 2900 кг/м^3, сидерит ρ = 3900 кг/м^3), баритовые (баритовые концентраты производства обогатительных фабрик цветной металлургии КБ-1, КБ-2, КБ-3, КБ-4, КБ-5, плотностью 4050-4250 кг/м^3), железистые (гематит ρ = 5300 кг/м^3, магнетит ρ = 4900-5200 кг/м^3, ильменит ρ = 4790 кг/м^3) и свинцовые (галанит ρ = 7400-7500 кг/м^3). Железистые утяжелители вследствие их абразивности применяют редко.

При добавках галенита получают буровые растворы плотностью более 3000 кг/м3.

Для промывки скважин в устойчивых горных породах и особенно в трещиноватых зонах с целью повышения механической скорости бурения и снижения поглощения плотность промывочной жидкости понижают (чаще всего за счет аэрации). Аэрация позволяет уменьшить плотность любых промывочных жидкостей в широких пределах. При этом возрастает вязкость раствора; при концентрации воздуха С = 0 ÷ 54 % она равна

$$\mu_a = \mu_и (1 + 3{,}6\ C)$$

где $\mu_и$- исходная вязкость.

При концентрации воздуха С = 54 ÷ 96 %

$$\mu_a = \frac{\mu_и}{I} - C^{0,49}$$

Плотность аэрированной жидкости определяется по формуле

$$\rho_0 = \frac{(I-a)\rho}{I - a + a\rho_0/\rho}$$

где ρ_0, ρ - плотность аэрированной и исходной жидкостей, а - количество воздуха в единице объёма аэрированной жидкости, ρ_0, ρ - атмосферное и заданное давление.

Гидростатическое давление аэрированной жидкости ρ на глубине *h* для статических условий определяют из соотношения

$$P + \frac{a}{I-a} lg\ \rho - \rho_0 = \rho h$$

Для придания промывочной жидкости закупоривающей способности в неё вводят наполнители. Для надёжного закупоривания трещин размеры частиц наполнителя должны быть в 2 раза меньше величины раскрытия трещин.

Для аэрации промывочных жидкостей применяют специальные аэраторы, а для стабилизации аэрированных растворов - пенообразователи.

Методическая часть

Плотность бурового раствора чаще всего определяют с помощью ареометра АГ-ЗПП или АБР-I, состоящего из поплавка с двумя рабочими и одной поправочной шкалами, мерного стакана с балластом и съёмного груза.

Перед измерением плотности раствора проверяют правильность его показаний. Для этого в стакан заливают пресную воду, подсоединяют его к поплавку и опускают вместе с поплавком в ведёрко с водой. Если по рабочей шкале 0,8-1,7 уровень воды ведёрка окажется выше или ниже 1, 0, нужно определить причину (наличие засохшей глины в стакане, его деформация, попадание воды в поплавок) и устранить ее. При невозможности этого сделать по поправочной шкале определить поправку.

После определения поправки стакан заполняют исследуемым раствором и опустив его вместе с поплавком в ведёрко с водой, по

шкале 1,6-2,6 определяют плотность раствора; к этому показанию добавляют ее личину поправки. Если поплавок не погружается в воду, к стакану подсоединяют груз и отсчёт ведут по шкале 0,8-1,7.

Для измерения плотности могут быть использованы также рычажные весы - плотномер ВРП-1. Плотномер состоит из стойки и рычага со стаканом. На рычаге имеются две призмы, с помощью которых рычаг устанавливается на стойке, и две шкалы, соответствующие этим призмам. Для определения плотности стакан заполняют раствором до отверстия и закрывают крышкой «рычаг устанавливают на правую призму, с помощью подвижного груза стакан с раствором уравновешивают и снимают показания по верхней шкале. Если плотность окажется больше предела измерения, рычаг устанавливают на левую призму и показания снимают по нижней шкале.

Для более точного измерения плотности раствора используют пикнометр, представляющий собой стеклянный сосуд с притёртой пробкой и меткой на шейке.

Для определения плотности раствора вначале взвешивают пустой пикнометр P_1 Заполняют его до метки исследуемым раствором, закрывают пробкой и вновь взвешивают P_2.

Плотность бурового раствора рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

где V - объём пикнометра.

Экспериментальная часть

Для приготовления утяжелённых глинистых растворов заранее готовят пасту из черногорского глинопорошка в соотношении 1:1 по массе.

Подгруппа разбивается на четыре бригады. Каждое бригаде выдаётся задание:

1-й бригаде: а) определить зависимость плотности глинистого раствора от концентрации глины; б) определить концентрацию глинистого раствора максимальной плотности.

Для этого приготовить из глинистой пасты 1 л глинистого раствора с концентрацией 30 %. Разлить его в три ёмкости: 460, 310 и 230 мл.

Во вторую ёмкость добавить 150 мл , в третью 230 мл воды. Определить концентрацию и плотность каждого раствора. По результатам замеров построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С).

Повышая концентрацию глины раствора и регулируя реагентами - разжижителями, добиться максимальной плотности при T_c = 60 с и В =6 см/30 мин.

2-й бригаде: а) определить зависимость плотности раствора от концентрации барита; б) определить уплотняющую способность барита. Для этого приготовить 0,6 л 7 %-го(по массе) глинистого раствора, разлить в три ёмкости по 200 мл, добавить в первую 200 г, во вторую 400 г, в третью 600 г барита, после перемешивания замерить плотность каждого раствора, построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С). Для раствора 600г/200 мл определить показатель условной вязкости T_c и водоотдачу. При T_c >60 с и В >6 см/30 мин обработать раствор реагентами до нужных параметров T_c >60 с, В $\approx$ 6 см/30 мин и вновь замерить плотность раствора. По результатам замеров построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С).

3-й бригаде: определить зависимость плотности бурового раствора от концентрации мела и определить уплотняющую способность мела.

Для этого приготовить I кг мелового раствора следующего состава по массе: 250 г воды, 750 г мела и 20 г КМЦ. Разлить тщательно перемешанный раствор в три ёмкости: 460 г, 310 г, 230 г. Разбавить водой раствор во второй ёмкости в 1,5 раза, а в третьей ёмкости- в 2 раза. После дополнительного перемешивания раствора определить концентрацию мела и плотность каждого раствора.

Построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С).Определить вязкость Тс к водоотдачу В. При необходимости добавить глины до получения вязкости T_c = 60 с и водоотдачи В = 6 см/30 мин. Замерить плотность раствора.

4-й бригаде: определить зависимость плотности цементного раствора от концентрации цемента (или В/ц) и определить его уплотняющую способность. Для этого приготовить I кг цементного раствора следующего состава: 250 г воды, 750 г цемента (В/ц = 0,33). После тщательного перемешивания раствор разлить в три ёмкости: 450 г, 310 г и 230 г. Раствор второй ёмкости

разбавить в 1,5 раза, а в третьей ёмкости в 2 раза. Определить концентрацию цемента (или В/ц) и плотность каждого раствора, построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С). Определить вязкость и водоотдачу раствора первого сосуда, добавить глины и полимеры до величины T_c <60с и В<6 см/30 мин. Замерить плотность раствора.

Обсуждение результатов. Выводы

На основании полученных результатов сделать выводы о целесообразности использования различных утяжелителей.

Практическая работа 8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Цель лабораторной работы: экспериментально доказать теоретические положения осложнений при бурении глинистых пород, получить навыки экспериментальной деятельности, обеспечить более глубокое понимание явлений набухания, размягчения и диспергирования глинистых пород.

Теоретическая часть

Глинистые горные породы представляют собой совокупность минеральных обломков различного состава и различных фракций, связанных между собой плёнками воды (в глинах) или кремнекислоты (в аргиллитах). Поэтому глинистые породы называют с вязными. Со ставными частицами «определяющими основные свойства глинистых пород,являются глинистые (размером в микрон и менее) и пылеватые (размером 2-5 мкм) частицы - продукты механического и химического выветривания магматических пород.

По минеральному составу глинистые частицы могут быть представлены различными минералами. Но преобладающими из них являются листовые силикаты: монтморилонит, гидрослюда (чаще всего иллит и каолинит. Реже встречаются палыгорскит, хлорит, вермикулит и другие листовые силикаты.

Плотные метоморфизованные породы (например, глинистые сланцы, роговики) с непосредственным межмолекулярным взаимодействием глинистых частиц весьма устойчивы. Трещиноватые при насыщении их водой распадаются на кусочки (по трещиноватости). Глины с неустойчивыми и слабоуплотнёнными частицами легко насыщаются водой, набухают, теряют свою прочность и разрушаются.

Степень набухания (отношение объема набухшей породы к объёму сухой породы) обусловлена структурой кристаллов горной породы, дисперсностью и гидрофильностью глинистых частиц. С увеличением дисперсности частиц (увеличением их суммарной поверхности) и гидрофильности (заряда частиц, обусловленного количеством гидрофильных функциональных $\equiv SiO^-$; $\equiv SiOH^-$ на их поверхности). Степень набухания возрастает.

Кристаллическая решётка монтморилонита представляет собой пакетиз двух слоёв кремнекислородных тетраэдров $SiO_2O_5^{2-}$-, связанных гидраргиллитовым слоем $Al(OH)^{2+}$. Пакеты между собой связаны обменными катионами: K^+,Na^+,Mg^{2+}, Ca^{2+}. С увеличением заряда катиона прочность связи повышается, поэтому кальциевые монтморилониты значительно труднее набухают и диспергируют в воде, по сравнению с натриевыми.

Кристаллическая решётка иллита сходна с кристаллической решёткой монтморилонита, отличается лишь тем, что в поверхностном слое пакета часть атомов кремния замещена атомами алюминия, в результате чего некомпенсированный заряд поверхности пакетов активнее взаимодействует с катионами (в частности с катионами калия К) и связь между пакетами оказывается значительно выше, чем в пакетах монтморилонита. Иллиты значительно слабее набухают и труднее диспергируют в воде.

Кристаллическая решётка каолинита имеет только два слоя: слой кремнекислородных тетраэдров и гидраргиллитовый слой. Пакеты каолинита за счёт большого количества гидроксильных групп OH^- сказываются прочно связанными между собой. Глина весьма слабо набухает и диспергирует в воде.

Молекулы воды состоят из атомов кислорода и двух атомов водорода. Атомы кислорода и водорода обладают разной

электроотрицательностью, поэтому орбитали кислорода подвергаются гибритизации (вытягиваются). Молекула воды принимает форму тетраэдра и поляризуется (образует диполь). В двух вершинах тетраэдра (в вершинах орбителей кислорода с неподелённым электронными парами) возникает отрицательный заряд, а в двух других вершинах (с атомом водорода) - положительный заряд.

В результате такой поляризации молекул воды осуществляется межмолекулярная связь. Помимо межмолекулярных сил между молекулами воды и поверхностью твёрдого тела возможна и водородная связь, обусловленная способностью атома водорода воды взаимодействовать с высокоотрицательными атомами твёрдого тела: *O, N, CI, F* .Водородная связь прочнее межмолекулярной в 5-6 раз, но в 15-20 раз слабее химической.

В результате взаимодействия отрицательного заряда глинистых частиц (обусловленного наличием на их поверхности огромного количества высокоотрицательного кислорода) и положительных полюсов молекул (диполей) вода (за счёт межмолекулярных и водородных связей) вокруг частиц образуется плотный адсорбированный гидратный слой, прочно связывающий глинистые частицы друг с другом.

Прочность глинистой породы зависит от толщины плёнки воды между глинистыми частицами.

У самой поверхности глинистых частиц силы взаимодействия молекул воды с частицами достигают тысяч и десятков тысяч кг/см^2 .С удалением от поверхности межмолекулярные силы быстро убывают обратно пропорционально седьмой степени расстояния (от молекул до частиц). Таким образом, чем тоньше плёнка воды, тем выше прочность породы.

Суммарную поверхностную энергию всех частиц горной породы называют объёмной электрической энергией. Плотность объёмное электрической энергии определяется главным образом дисперсностью и гидрофильностыо (зарядом) частиц. С увеличением толщины плёнок воды между частицами эта плотность понижается.

Под воздействием объёмной электрической энергии горной породы последняя насыщается водой и набухает. Глина насыщается водой до тех пор, пока толщина гидратного слоя не достигнет некоторого критического значения при котором сила взаимодействия молекул воды с частицами будет меньше силы давления извне или когда межмолекулярные силы снизятся до нуля.

В лабораторных условиях пользуются тремя характеристиками набухания: степенью набухания $K_1=V_н /V_о$, показателем набухания K_2, = $V_ж/\rho$ и скоростью набухания $\omega = K_2/t$, где $V_ж$ - объём воды в горной породе, $V_о$ - объём сухой породы, $V_н$ - объём насыщенной водой породы, P - вес сухой породы, t- время набухания.

В результате насыщения глины водой толщина плёнок воды между
частицами возрастает, вследствие чего прочность глины падает (глина размягчается).

В атмосферных условиях прочность глины понижается обратно пропорционально её влажности в третьей степени

$$f_i = \frac{f_0 K_0^3}{K_i^3} \qquad (8.1)$$

где f_0 и f_i пластическая прочность глины исходного образца и образца, насыщенного водой, K_0, K_i - влажность глины. Характеристикой снижения прочности глинистой породы является коэффициент размягчения $K_p = f_i/f_0$ который зависит от дисперсности глины и гидрофильности ее частиц.

Прочность глины, находящееся под давлением σ_i обратно пропорциональна её влажности W_i

$$\sigma_i = \frac{W_0 \sigma_0}{W_i}, \qquad (8.2)$$

где σ_0 и W_0 - прочность и влажность «сухого» образца глины.

В контакте глины с водой за счёт поверхностной энергии частиц происходит не только ’’всасывание" молекул воды глиной, но и "всасывание” водой глинистых частиц, т. о. диспергирование глины.

Эффективность диспергирования зависит как от дисперсности и гидрофильности глины, так и от наличия количества и заряда в воде катионов.

За критерий диспергирования глины можно принять скорость диспергирования породы.

Скорость диспергирования - это объём (ΔV) или вес (ΔP) глины, перешедшей с единицы площади образца S в промывочную жидкость за единицу времени

$$Д=\frac{\Delta P}{St} \quad . \qquad (8.3)$$

Методическая часть

1. Для изучения процессов набухания ,размягчения и диспергирования глины предусматривается использовать образцы из кальциевых бентонитов, которые студенты получают из заранее приготовленного глинопорошка на водопроводной воде в соотношении 1:1 по массе.

В настоящее время существует целый ряд методик определения набухания глины.

Наиболее простой является методика визуального наблюдения М. Х. Фишера, заключающаяся в следующем.

Исследуемый образец помещается в градуированный сосуд, фиксируется его начальный объём. Затем в сосуд заливается вода и через некоторое время измеряется объём набухшего образца. Отношением объёма набухшего образца к его первоначальному объёму и характеризуется величина набухания.

Для проведения исследований по этой методике необходимо иметь: 2 мензурки, корзинку для опускания образца, весы и часы.

Для изучения процесса размягчения глины (определения пластической прочности) используют различные методы.

Наиболее часто замер пластической прочности осуществляют по методу П. А. Ребиндера на приборе ВИКа, у совершенство ванному М. С. Винарским. Вместо иглы прибор снабжается комплектом конусов из стали или алюминия с углами при вершине 30º,45 º, 60º, 90 º.

Пластическая прочность определяется по формуле

$$Pm= K\alpha(P/h2), \text{ Па}, \qquad (8.4)$$

при Kα – коэффициент зависящий от угла конуса

$$K\alpha=\frac{1}{\pi}\cos^2\frac{\alpha}{2}\ \mathrm{ctg}\frac{\alpha}{2}\ , \qquad (8.5)$$

при α= 60°, Kα = 0,413; P - вес погружаемой системы, Н; *h* - глубина погружения конуса, м.

Коэффициент размягчения определяют по отношению пластическое прочности набухшего образца к пластической прочности исходного образца

$$K_p=\frac{P_m}{P_{исх}}$$

Скорость диспергирования глины в воде невелика, и определить её вследствие сложности происходящих в растворе процессов можно лишь с большой погрешностью, поэтому на практике её не замеряют. Тем не менее этот показатель (особенно при использовании в качестве промывочной жидкости растворов электролитов) имеет важное значение при выборе буровых растворов. Исследования предполагается проводить с использованием 5-10 %-го раствора $Al_2(O_4)_3$.

Скорость диспергирования можно определить приближённо по разности весов образцов глины, выдержанных в воде, и испытуемом буровом растворе, делённой на площадь поверхности образца и время выдержки

$$V_g=\frac{P_{н.в.}-P_{н.р.}}{S\ t}$$

Экспериментальная часть

Исследования набухания и размягчения глины. 1. Из заранее приготовленного замеса глины на воде (в соотношении 1:1 по весу) готовят образцы в виде шариков или цилиндров, диаметром 4-5 см. 2. Определяют вес образцов P_0. 3. Определяют пластическую прочность (среднюю из трёх измерений).

4. В мензурку заливают 150 мл воды. 5. С помощью корзинки в мензурку опускают образцы глины и замеряют их объём (по изменению уровня воды в мензурке) V_0. 6. Через каждые 0,5 часа выдержки в воде образцы извлекают из мензурки и замеряют объём набухшей глины $V_Н$. 7. Замеряют вес набухшего образца Рн. 8. Замеряют пластическую прочность глины P_m. 9. Определяют степень набухания $K_1=\frac{V_Н}{V_0}$. 10. Определяют объём жидкости в глине

$V_ж = \frac{P - P_0/2}{\rho}$. 11. Определяют объём жидкости, связанной I г глины $K_2 = \frac{2V_ж}{P_0}$. 12. Определяют скорость набухания $\omega = \frac{K_2}{t}$. 13. Определяют коэффициент размягчения $K_р = \frac{P_m}{P_{исх}}$

Все результаты заносят в табл. 8.1.

Таблица 8.1

t, ч	P_0, кг	$_0м^3$	$_нм^3$	$P_н$, кг	,м	Р, Па	K_1	$_ж$, $м^3$	K_2		$K_р$
0 0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0											

По полученным данным строят графики зависимости K_1, K_2, $K_р$ от времени.

Исследование скорости диспергирования глины производят на образцах, по весу равным образцам по испытанию набухания, параллельно с исследованиями набухания глины. Для этого дополнительно во вторую мензурку заливают 150 мл 5-10 %-го раствора соли $AI_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ и проводят замеры объёма и веса исходного образца, объёма и веса выдержанных в воде и растворе образцов (так же, как и при исследованиях набухания). Затем замеряют площадь поверхности (для шарика по формуле $S = \pi Д^2$) . Замеры заносят в табл. 8.2.

Таблица 8.2

t, ч	В воде				В растворе			S, $м^3$	$V_g = \frac{P_{н.в.} - P_{н.р.}}{S\,t}$
	P_0, кг	V_0, $м^3$	$V_н$	$P_{н.в.}$	P_0, кг	V_0	$V_н$		
0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0									

По полученным данным строят графики зависимости от времени.

Обсуждение результатов. Выводы.

Общие выводы о характеристиках горной породы, о зависимостях показателей и скорости набухания, размягчения и диспергирования от времени. Прогноз поведения горной породы при её перебуривании. Требования к промывочной жидкости при бурении глины.

Литература

1. Ивачёв Л. М. Промывочные жидкости и тампонажные смеси.М.:Недра,1987.

2. Зварыгин В. И. Регулирование технологических свойств суровых растворов. Красноярск: КИЦМ,1994.

3. Лекции.

Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Г. А. Усов, Ф. П. Сердюков, С. В. Холкин

Методическое пособие
к комплексу практических работ
по дисциплинам «Очистные агенты и тампонажные смеси»
«Бурение скважин»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки

очного и заочного обучения

Приборы, методика оценки параметров

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в разведочном колонковом бурении достигнуты значительные успехи по улучшению качества и совершенствовании составов промывочных жидкостей. Этому в большой степени способствовало применение прогрессивных способов бурения малыми диаметрами и увеличение глубин скважин.

При бурении разведочных скважин стали широко применяться малоглинистые и безглинистые промывочные жидкости, аэрированные растворы, активные промывочные жидкости с улучшенными смазочными свойствами. Значительное внимание стало уделяться реологии промывочных жидкостей.

В связи с этим расширился ассортимент приборов для оценки качества промывочных жидкостей и были разработаны новые методы их определения.

Настоящие методические разработки имеют цель ознакомить студентов со всеми приборами и методами оценки структурно-механических, реологических и смазочных свойств промывочных жидкостей, применяемых в разведочном бурении.

В соответствии с ГОСТ 8.002-71 все средства измерений должны пройти государственную или ведомственную поверку. На пригодный к измерениям прибор выдается свидетельство или наносится клеймо с указанием даты поверки.

Приборы и методы оценки структурно-механических свойств промывочных жидкостей

Основными структурно-механическими свойствами промывочных жидкостей являются:

1) удельный вес, г/см^3;
2) условная вязкость, с ;
3) водоотдача, см3 за 30 мин;
4)содержание песка, %;
5)стабильность, г/см3;
6)суточный отстой, %;
7) статическое напряжение сдвига, Па ;
8)динамическое напряжение сдвига, Па ;
9)пластическая или структурная вязкость, Па . с;
10) эффективная вязкость, Па · с;

Первые шесть параметров определяются непосредственно на буровых вышках с помощью приборов и лабораторной посуды, входящих в комплект переносной лаборатории ЛРГ-3. Приборы и лабораторная посуда размещены в специальном деревянном ящике с гнездами и креплениями для каждого предмета, входящего в комплект лаборатории.

Статическое и динамическое напряжение сдвига, а также пластическая и эффективная вязкость определяются в стационарных лабораториях геологоразведочных партий и экспедиций с помощью приборов СНС-2 и ВСН-3.

АРЕОМЕТР АГ-2
НАЗНАЧЕНИЕ

Ареометр АГ-2 предназначен для измерения удельного веса глинистых и цементных растворов, применяющихся при бурении скважин.

ОПИСАНИЕ АРЕОМЕТРА

Ареометр АГ-2 (рис. 1) состоит из поплавка 3 со шкалой 2, соединяющегося на байонете 4 с мерным стаканом 5, и съемного груза 6, крепящегося к стакану. В комплекте с ареометром поставляется ведро-футляр 1 с крышкой, в котором он укладывается между резиновыми гнездами.

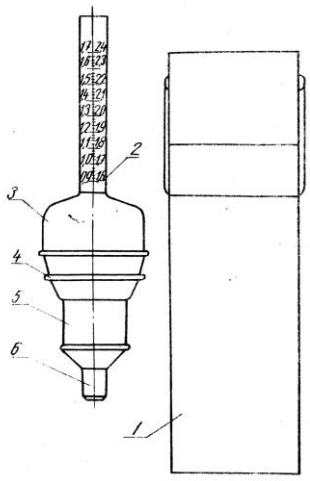


Рис. 1. Ареометр АГ-2 в сборе и ведро-футляр

Техническая характеристика

Ареометр АГ-2 имеет два предела измерения: от 0,90 до 1,70 г/см^3 - при навернутом съемном грузе, от 1,60 до 2,40 г/см^3 - при снятом съемном грузе.

Цена деления ареометра на шкале.....0,02
Точность измерения,
г/см^3……...…….....……...…. ±0,01
Габаритные размеры, мм:
ареометра.....100х450
ведра-футляра.....120х480
Вес комплекта, кг.....2

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗМЕРЕНИЯ

Подготовка прибора к измерению

Подготовку прибора к измерению следует производить в следующей последовательности:

открыть крышку ведра и вынуть ареометр, налить воду в ведро (рекомендуется применять чистую пресную воду, так как в этом случае получаются наиболее точные результаты измерения и не требуется вносить поправку на удельный вес воды), поворотом поплавка относительно мерного стакана открыть байонетный затвор и отделить стакан от затвора,

проверить чистоту мерного стакана и поплавка и при надобности вымыть их водой.

Проверка прибора

Проверку прибора следует производить в следующей последовательности:

налить в мерный стакан ареометра воду до края гофра, соединить поплавок с мерным стаканом, выдавив при этом избыток воды из него, и погрузить собранный ареометр в воду. Стакан заполняется той же водой, что и ведро.

При пресной воде ареометр должен погрузиться под уровень воды в ведре до деления на шкале поплавка, обозначенного "1,0", при навернутом съемном грузе, с точностью >0,005 г/см^3 (четверть деления).

Если удельный вес воды больше 1,00 г/см^3 (морская вода, соленая, буровая), то ареометр погрузится на несколько делений ниже деления, обозначенного "1,0". В этом случае к результатам измерений удельного веса глинистых растворов необходимо прибавить поправку, определяемую как разность между 1,00 и показанием ареометра, заполненного водой.

Ниже приводится пример измерения.

Измерение производится погружением ареометра в морскую воду. Ареометр, заполненный морской водой, при погружении в эту же воду показал на шкале 0,96. Поправка составляет 1,00-0,96=0,04г/см^3

При измерении удельного веса глинистого раствора при погружении в эту же морскую воду показание было 1,41. Истинный удельный вес раствора получается прибавлением поправки, а именно:

$$1,41 + 0,04 = 1,45 \text{ г/см}^3$$

Измерение удельного веса

Измерение удельного веса при помощи ареометра АГ-2 следует производить в следующей последовательности.

Принести в вымытой крышке ведра пробу раствора и перемешать её.

Налить в мерный стакан ареометра раствор до края гофра. Стакан держать в вертикальном положении.

Соединить поплавок со стаканом - вставить штифты на нижней части поплавка в байонетные прорези мерного стакана и повернуть поплавок относительно стакана слева направо до упора. При этом из стакана выдавить избыток раствора. Таким образом отмерится объем пробы.

Смыть водой выдавленный раствор с поверхности мерного стакана, удерживая ареометр в вертикальном положении.

Погрузить ареометр в ведро с водой, дать ему успокоиться и прочесть показание по шкале ареометра на уровне воды в ведре

При навернутом съемном грузе отсчет вести по левой шкале с оцифровкой от 0,9 до 1,7 г/см^3. Если ареометр при навернутом съемном грузе погрузился выше последнего оцифрованного деления на шкале - 1,7 г/см^3, то следует снять груз и отсчет вести по правой шкале с оцифровкой от 1,6 до 2,4 г/см^3.

При погружении ареометра в соленую, морскую или буровую воду обязательно вносить поправку, как указано выше.

После окончания измерения ареометр следует вымыть, насухо вытереть и положить в тумбочку.

Крышку ведра вымыть и закрыть её ведром с водой. При частых намерениях воду из ведра можно не выливать, но обязательно следует следить за её чистотой.

2. ВИСКОЗИМЕТР СПВ-5

Назначение:

Стандартный полевой вискозиметр СПВ-5 предназначен для определения условной вязкости глинистого раствора. Вязкость определяется в секундах времени истечения 500 см^3 раствора из стандартной воронки через трубку диаметром проходного сечения 5 мм и длиной 100 мм при заполнении воронки 700 см^3 раствора.

Комплект вискозиметра (рис. 2) состоит из стандартной воронки и мерной кружки.

В верхнюю часть воронки встроена сетка для очистки раствора от крупных твердых частиц. Воронка заканчивается латунной трубкой с калиброванным отверстием.

Мерная кружка имеет два отделения.

Техническая характеристика

Размеры воронки, мм:
Высота.....400
верхний диаметр.....150
время истечения из воронки 5ООсм3 воды, с.....15-+0,4
Объем мерной кружки, $см^3$:
первого отделения.....500
второго отделения.....200
Размеры кружки, мм.....70х190

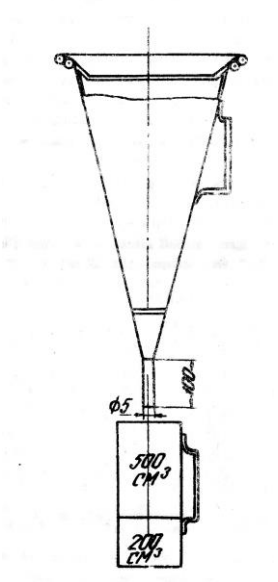


Рис. 2. Вискозиметр СПВ – 5 с кружкой

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗМЕРЕНИЙ

Определение условной вязкости глинистых растворов при помощи вискозиметра СПВ-5 следует производить в следующей последовательности:

a) промыть воронку вискозиметра и кружку водой и подготовить пробу раствора;

b) закрыть отверстие трубки пальцем правой руки и налить в воронку через сито 700 $см^3$ испытуемого раствора мерной кружкой - 500 $см^3$ и 200 $см^3$

c) подставить кружку объемом 500 $см^3$ под трубку вискозиметра, слить в нее часть раствора и влить обратно его в воронку. Повторить эту операции два-три раза;

d) подставить кружку объемом 300 $см^3$ под трубку вискозиметра и одновременно открыть отверстие трубки, убрать палец, и пустить левой рукой секундомер;

e) в момент заполнения кружки до края остановить секундомер, закрыть отверстие трубки пальцем и прочесть показание секундомера;

f) для определения условной вязкости испытуемого раствора провести 10-15 замеров и, применяя распределение Стьюдента, определить среднее значение /Ā/ и доверительный интервал /6/ при выбранной вероятности /Р/;

g) вымыть и вытереть воронку и кружку и вложить их в ящик лаборатории в соответствующие гнезда.

3. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ВОДООТДАЧИ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ТИПА ВМ-6

Назначение:

Прибор ВМ-6 предназначен для определения фильтруемости водоотдачи глинистых растворов в производственных условиях бурения.

Показатель водоотдачи глинистых растворов представляет собой количество фильтрата в см3, выделяющегося в течение 30 мин под избыточным давлением в 1 кг/см3 при диаметре фильтра 75 мм.

Показатель водоотдачи характеризует способность глинистого раствора отдавать свободную воду под давлением через пористую перегородку в пласт и образовывать на этих перегородках глинистую корку.

Прибор градуирован в кубических сантиметрах при диаметре фильтра 75 мм.

При измерении водоотдачи раствора одновременно определяют толщину образующейся на фильтре глинистой корки.

Описание конструкции

Прибор ВМ-6 (рис. 3.) состоит из трех основных узлов; фильтрационного стакана 6 с принадлежностями, напорного цилиндра 4 и Кронштейна 13.

Фильтрационный стакан 6 на верхнем конце имеет горловину с наружной резьбой и отверстием. Нижний конец его имеет расточку

диаметром 53 мм, выточку под решетку фильтра и наружную резьбу М68х3 под поддон 10, которым крепится решетка 7.

Для предупреждения проворачивания решетки и поддержания в связи с этим фильтровальной бумаги на решетке сделан пав под выступ, имеющийся в выточке фильтрационного стакана. В нижней части поддона 10 имеется резьба, в которую ввернут винт 11 с перекидной ручкой 12. В поддон вложен клапан 9 с резиновой прокладкой, который винтом 11 прижимается к решетке 7 и таким образом запирает отверстие.

При определенной водоотдачи раствор наливается в стакан с закрытой клапаном решеткой и вложенной фильтровальной бумагой.

Узел напорного цилиндра состоит из собственно цилиндра 4 в ввернутой в него на красно-медной прокладке втулкой и напрессованной в горячем виде чашкой, плунжера 1, притертого по втулке, и груза-шкалы 3, укрепленного на плунжере. Шкала нанесена на прозрачную пластмассу (оргстекло) и прикреплена к грузу винтами; шкала прикрывает сквозную прорезь на снятой вдоль груза лыске. Сквозь эту прорезь видна отсчетная риска 2 на верхнем конце втулки цилиндра.

Для установки шкалы прибора на ноль и для спуска масла из цилиндра в нижней части цилиндра имеется отверстие, перекрываемое иглой 5. Масло из этого отверстия сливается в чашку.

Нижний конец цилиндра имеет внутреннюю резьбу для соединения с фильтрационным станком. Для уплотнения места соединения цилиндра со стаканом предусмотрена прокладка из маслостойкой резины, которая меняется по мере износа. Размеры прокладки: наружный диаметр - 35 мм, диаметр отверстия - 20 мм, толщина 3 * 4 мм.

Кронштейн 13 литой, в нижней части его предусмотрено место для чашки, в которую стекает фильтрат. Кронштейн стоит на трех резиновых ножках 14. В кольцо 10 кронштейна вставляется прибор в собранном виде.

Техническая характеристика

Предел измерения за 30 мин при диаметре фильтра 75 мм, $см^3$..... 40
Цена деления шкалы при диаметре фильтра 75 мм, $см^3$..... 1
Точность измерения, $см^3$.....±0,5
Давление фильтрации, Па 9,81*104
фактический диаметр фильтра, мм …….....53
Габаритные размеры, мм……..…….....120x160x360
Вес (без упаковки),
кг…….....……..0,7

Принцип действия:

Испытуемый раствор наливается в фильтрационный стакан 6, (рис. 3) с фильтром на решетке 7; закрытым клапаном 9, впредь до открытия которого фильтрация не начинается. На фильтрационный стакан навернут цилиндр 4, заполненный поверх раствора маслом. В этот цилиндр входит плунжер 1 с грузом-шкалой 3, создающий давление фильтрации 98066,5 Па фильтрация начинается после открытия клапана 9.

По мере фильтрации объем пробы раствора в фильтрационном стакане уменьшается на количество выделившегося фильтрата и плунжер под действием груза соответственно опускается. Количество выделившегося фильтрата определяется по перемещениям плунжера, градуированным на шкале в см3.

В притертой паре плунжер-втулка возникает трение, влияющее на постоянство давления фильтрации. Для устранения трения плунжер необходимо периодически вращать рукой. С целью уменьшения этих вращений в плунжере имеется глухое сверление - воздушный буфер.

Принцип действия прибора обеспечивает:

a) точное определение момента, начала фильтрации при помощи запорного клапана на решетке фильтра;
b) точное измерение количества фильтрата, которое выделяется за любой промежуток времени;
c) постоянство давления с момента начала фильтрации.

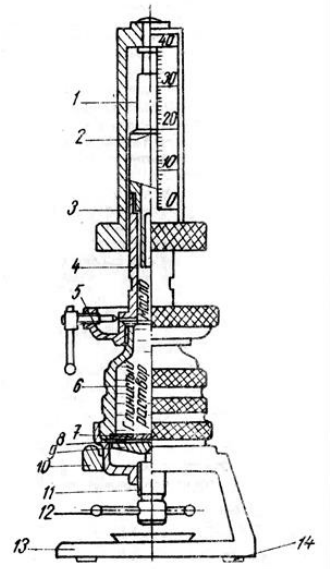


Рис. 3. Прибор ВМ-6 в сборе

Подготовка прибора к работе

Для предупреждения ржавления прибор ВМ-6 при упаковке на заводе смазывается снаружи и внутри вазелином. При длительном хранении в неблагоприятных условиях вазелин может загустеть и частично окислиться, в результате чего плунжер

будет трудно вынуть из цилиндра. Поэтому по получении со склада прибор следует разобрать в следующем порядке:

a) отвернуть цилиндр от стакана;

вынуть плунжер из цилиндра (при необходимости плунжер можно извлечь осторожными ударами деревянного молотка по его нижнему концу);

b) вывернуть винт из поддона;
c) вывернуть стакан из поддона и извлечь решетку и клапан.

Все детали прибора вымыть бензином или горячей водой и насухо вытереть, а плунжерную пару вымять керосином и смазать маслом. Не смазанный маслом плунжер во втулку не вставлять.

Чтобы убедиться в исправности прибора, необходимо проверить:

a) резьбовые соединения (при надобности их следует расходить, чтобы они легко заворачивались от руки);
b) герметичность плунжерной пары и места соединения цилиндра со стаканом;
c) плавность движения плунжера.

Проверка герметичности производится следующим образом:

a) в собранный фильтрационный стакан с вложенной в него фильтровальной бумагой и закрытым на решетке фильтра клапаном наливается густой глинистый раствор;
b) стакан устанавливается в кронштейне и на него навертывается цилиндр без плунжера;
c) цилиндр заполняется маслом до верха, после чего в него вставляется плунжер;
d) с помощью иглы из цилиндра спускается масло, и нулевое деление на шкале подводится к риске на цилиндре. При такой операции плунжер следует вращать рукой;
e) места резьбовых соединений и поверхность цилиндра должны быть насухо вытерты, чтобы можно было обнаружить места утечки;
f) периодически вращая плунжер, в течение 30 минут наблюдают за его показаниями, В исправном приборе заметного изменения показаний не должно быть; максимальное изменение может быть не более 1/2 деления.

Если утечка больше 1/2 деления, то необходимо выявить место утечки. Утечка может быть в плунжерной паре, местах крепления втулки к цилиндру и соединения цилиндра со стаканом, в местах неплотного прилегания клапана, в месте прижатия решетки к стакану.

Об утечке в плунжерной паре и в месте крепления втулки к цилиндру свидетельствуют подтеки, появляющиеся в верхней части цилиндра, который до пуска прибора в работу должен быть чисто вытерт.

Утечки в месте соединения цилиндра со стаканом легко обнаруживается по появлению масла под резьбой. Это место также должно быть тщательно вытерто. Ликвидировать утечку можно сменой прокладки

или подтягиванием резьбы. Слишком туго затягивать резьбу не следует, так как при этом прокладка может иногда выворачиваться.

Утечки через клапан в месте прижатия решетки к стакану не оказывают влияния на работу прибора, но при проверке на герметичность их необходимо устранять, для этого клапан следует туго прижать.

Утечки через место прижатия решетки к стакану обнаруживается по появлению раствора или фильтрата на выходе резьбы.

Плавность движения плунжера проверяется при промытой и смазанной машинным маслом плунжерной паре и заключается в том, что плунжер с любого положения должен свободно и равномерно опускаться без поворачивания. Если плунжер задерживается или движется очень медленно, его следует вновь промыть керосином и смазать маслом, после чего расходить во втулке.

ПРОМЫВАТЬ ПЛУНЖЕРНУЮ ПАРУ БЕНЗИНОМ НЕЛЬЗЯ - ЭТО МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ЗАЕДАНИЕ!

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения водоотдачи должно быть произведено при температуре не ниже 10 °С , так как при более низких температурах водоотдача раствора уменьшается.

Работу по определению водоотдачи глинистых растворов следует вести в следующей последовательности:

1. Установить прибор на ровной поверхности.
2. Вынуть плунжер из цилиндра и положить рядом с кронштейном.
3. Отвернуть цилиндр, проверить, закрыта ли игла, и положить цилиндр на тумбочку.
4. Разобрать стакан - вывернуть из поддона, вынуть решетку и клапан - вытереть насухо все детали.
5. Взять заготовленный кружок фильтровальной бумаги, смочить его водой и наложить на решетку, после чего удалить избыток воды с поверхности бумаги, промокнув её сухим кружком. При непрочной фильтровальной бумаге следует положить на решетку два кружка.
6. Решетку с фильтровальной бумагой вложить в выточку стакана, бумагой внутрь так, чтобы паз на решетке попал на штифт в выточке стакана. Наложить на решетку клапан и навернуть поддон на стакан. Винт, крепящий клапан, должен быть вывернут. Вставить собранный стакан в кронштейн и прочно затянуть руками резьбу, после

чего клапан закрыть винтом.

7. Подготовить секундомер и положить его рядом с прибором.
8. Взять ведро с пробой раствора, последнюю тщательно пере-мешать и налить в стакан кружкой от вискозиметра (стороной объемом 200 $см^3$). После окончания вытереть резьбу стакана. Стакан следует заполнить на 3-4 мм ниже края горлышка.
9. Навернуть цилиндр на стакан, предварительно проверить исправность прокладки.
10. Налить в цилиндр машинное масло (масло должно быть не очень густым; слишком густое масло разбавляется керосином). Масло наливается на внутренний край цилиндра так, чтобы оно стекало по стенкам цилиндра. Масло следует наливать до такого уровня, чтобы до верхнего края втулки оставался 1 см.
11. Вставить плунжер в цилиндр. При этом плунжер за счет сжатия воздуха в его плотности просядет на 2-3 см.
12. Приоткрыть спускную иглу и, вращая плунжер рукой за накатку на грузе, подвести нулевое деление на шкале к отсчетной риске на верхнем крае втулки цилиндра.

Неопытному исполнителю это не всегда удается, и нулевое деление опускается ниже риски. В этом случае надо записать показание по шкале против риски, принять его за нуль и из всех следующих показаний вычитать нулевое показание (например: нулевое показание 1,5 $см^3$, показание за 30 минут - 23 $см^3$. Вычитая из 23см3 1,5 $см^3$, получаем 21,5 $см^3$).

Нулевое деление может опускаться ниже риски и в случае определения водоотдачи раствора, насыщенного газом (из-за сжатия газа в растворе под давлением). Если в этом случае нулевое деление опустится ниже риски не более чем на шесть делений и водоотдача у раствора будет небольшая, то следует пользоваться тем же приемом, что и в первом случае, т.е. из показаний вычитать нулевое показание.

Если же нулевое деление опустится ниже, чем на десять делений, то следует вынуть плунжер, перевернуть его, залить его полость маслом, прикрыть отверстие пальцем и вновь вставить в цилиндр. В этом случае шкала остановится на 6-8 делений выше, чем при незаполненной полости плунжера.

Примечание. Операции, перечисленные в пунктах 7, 8, 9, 10 и 11 следует производить быстро, так как при нестабильных растворах за время от момента налива раствора в стакан до момента начала фильтрации может образоваться осадок, из-за чего исказится результат измерения.

13. Взять в левую руку секундомер, а правой открыть клапан, вывернув винт на один - два оборота. В момент открытия клапана пустить секундомер.

14. При производственных измерениях достаточно веять один отсчет через 30 минут. В течение этого времени периодически вначале чаще, вращать плунжер за накатку на грузе.

При взятии отсчетов глаз исполнителя должен находиться на уровне отсчетной риски на втулке цилиндра и на расстоянии от нее около 30-40 см.

15. После взятия отсчета открыть спускную иглу, выпустив масло из цилиндра и опустить плунжер с грузом. После этого при открытой игле вынуть плунжер с грузом. После этого при открытой игле вынуть плунжер из цилиндра и, если его конец запачкан раствором, смыть последний.

16. Закрыть иглу, отвернуть цилиндр со стакана и слить масло из чашки цилиндра в бачок для масла.

17. Промыть фильтрационный стакан, не разбирая его. Для этого подставить его горлышко под слабую струю воды; масло при этом всплывет и уйдет ив стакана вместе с водой и раствором. Затем вылить воду и остаток раствора из стакана и разобрать его.

18. Поставить стакан на ладонь левой руки так, чтобы он опирался на нее краями, а не решеткой, и легкими ударами правой ладони по горлышку выбить корку с решеткой.

Если корка прочно прилипла к стенкам стакана, её следует выдуть ртом.

19. Смерить толщину корки и записать.

20. Вымыть и вытереть детали фильтрационного стакана и собрать их.

Вымыть и вытереть цилиндр; проверить, не загрязнена ли внутренняя поверхность втулки цилиндра глинистым раствором, прочистить втулку, смазать её маслом и навернуть цилиндр на стакан.

Вставить смазанный маслом плунжер в цилиндр и установить прибор на кронштейн.

21. Прибор следует хранить в собранном виде, в защищенном от пыли месте - в ящике переносной лаборатории или в шкафу.

Примечание: 1. Так как прибор точно воспроизводит кинетику процесса фильтрации, т.е. зависимость количества выделившегося фильтрата по времени, и так как эта зависимость, изображенная в логарифмических координатах, представляет собой прямую линию, то на приборе ВМ-6 можно производить фильтрацию в течение 10-15 минут с последующей экстерполяцией по графику. Для этого в комплекте прибора поставляются бланки со специальной логарифмической сеткой.

В этом случае за время определения следует взять не менее двух отсчетов - один за 2 или 3 минуты фильтрации и второй за 10 или 15 минут. Полученные отсчеты наносятся на бланк, который разграфлен девятью вертикальными линиями на минуты (левая крайняя линия соответствует 1-ой минуте, следующие - 2-ой, 3-ей, 4-ой, 5-ой, 10-ой, 15-оР, 20-ой и 30 минутам), горизонтальными линиями на кубические сантиметры (от 1 до 100 $см^3$). Часть этих линий обозначена цифрами, соответствующими числу кубических сантиметров.

На вертикальной линии, соответствующей 2-ой минуте, в месте её пересечения с горизонтальной линией, соответствующей отсчитанному числу кубических сантиметров, ставится точка. Таким же образом наносится точка, соответствующая отсчету за 10 и 15 минут. Через полученные две точки карандашом проводится прямая линия до пересечения с правой крайней вертикальной линией, соответствующей 30-ти минутам

фильтрации.

По шкале горизонтальных линий отсчитывается величина водоотдач в кубических сантиметрах за 30 минут фильтрации, поскольку за единицу водоотдачи глинистых растворов принято количество фильтрата, выделяющегося из раствора за 30 минут через фильтр диаметром 75 мм.

Пользуясь этим приемом, можно сократить время фильтрации до 10 минут и, кроме того, определять водоотдачу раствора большую, чем 40 $см^3$ за 30 минут.

Ошибка в определении водоотдачи за 30 минут по 10-минутному замеру не превышает 0,5 $см^3$ при водоотдачах до 20 $см^3$ и не больше 2 $см^3$ при больших водоотдачах.

Для сопоставления результатов измерения водоотдачи прибором ВМ-6 с другими приборами, градуированными в кубических сантиметрах, при фильтре диаметром 75 мм, необходимо применять нерасчетный коэффициент. Последний определяется как отношение площадей фильтрации, так как количество фильтрата прямо пропорционально площади фильтрации.

4. ОТСТОЙНИК - ОМ

Назначение:

Металлический отстойник ОМ-2 предназначен для определения процента содержания песка в глинистом растворе.

Содержание в глинистом растворе твердых частиц разбуренных пород и нерастворенных комков глины определяется процентом песка в пробе раствора, отстоенного за одну минуту покоя в отстойнике из пробы разжиженной водой в отношении 1:9.

Описание прибора:

Отстойник ОМ-2 (рис.4) представляет собой цилиндрический сосуд 2 с плотной крышкой 1, в нижней части которого укреплена сменная бюретка 3, защищенная чехлом. В верхней части цилиндра на уровне объема 500 $см^3$ имеется отверстие Ø 3 мм.

Крышка отстойника служит для отмеривания раствора.

Крепление бюретки 3 осуществляется при помощи винта 4, черев перекладину 5 и шайбу 6 с резиновой прокладкой 7.

Герметизация крепления бюретки обеспечивается резиновой прикладкой 8.

Техническая характеристика

Объем отстойника, $см^3$..... 600
Объем крышки, $см^3$..... 50
Объем бюретки, $см^3$..... 10
Габаритные размеры, мм:
Диаметр.....60
Высота.....345
Вес.....0,3

Бюретка градуирована через 0,1 $см^3$, каждое десятое деление шкалы обозначено цифрой.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определение процента содержания песка в глинистом растворе при помощи отстойника ОМ-2 следует производить в следующей последовательности:

a) промыть отстойник и вытереть его;
b) снять крышку отстойника, отмерить ею 50 $см^3$ раствора и влить его в отстойник через горлышко;
c) не вынимая крышки, зачерпнуть ею воду, растворить в ней оставшийся на её внутренних стенках раствор и влить в отстойник.

С помощью крышки наполнить отстойник водой до уровня трехмиллиметрового отверстия на его боковой поверхности, держа отстойник вертикально. Подождать, пока вода прекратит вытекать из этого отверстия;

d) плотно закрыть отстойник крышкой и повернуть его в горизонтальное положение трехмиллиметровым отверстием вверх.
Прижимая крышку ладонью правой руки и прикрывая отверстие пальцем той же руки, интенсивно взболтать содержимое отстойника

e) повернуть отстойник в вертикальное положение, выждать одну минуту по часам или секундомеру и прочесть показание по шкале бюретки против уровня осевшего песка
ПРОЧИТАННОЕ ПОКАЗАНИЕ, УМНОЖЕННОЕ НА ДВА, БУДЕТ ПОКАЗАТЕЛЕМ СОДЕРЖАНИЯ ПЕСКА В РАСТВОРЕ, ВЫРАЖЕННОМ В ПРОЦЕНТАХ.

f) вылить из отстойника содержимое, промыть его водой, вытереть и вложить на место в ящик лаборатории.

СМЕНА БЮРЕТКИ

При поломке бюретки или необходимости извлечь её для чистки следует вывернуть винт 4 (рис. 4) , извлечь перекладину 5 и шайбу 6 с резиновой прокладкой 7, а за ними - бюретку 3.

Перед тем как вставить бюретку, следует проверить исправность верхней прокладки 8 и при надобности сменить её.

Сборка ведется в следующем порядке: вставить бюретку, плотно уперев её в верхнюю прокладку, вложить шайбу 6 с резиновой прокладкой 7, вставить перекладину 5 в овальные отверстия чехла, ввернуть винт 4 и прижать им бюретку.

5. ЦИЛИНДР ЦС-2

Назначение:

Цилиндр ЦС-2 предназначен для определения стабильности глинистых растворов.

Показатель стабильности глинистого раствора определяется как разность удельных весов верхней и нижней половины пробы раствора отстоенной в течение суток в цилиндре высотой 200 мм.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Цилиндр ЦС-2 (рис. 5) выполнен из тонкого листового железа и окрашен нитроэмалью. Посредине высоты цилиндра имеется отвод с резиновой пробкой для слива верхней половины раствора.

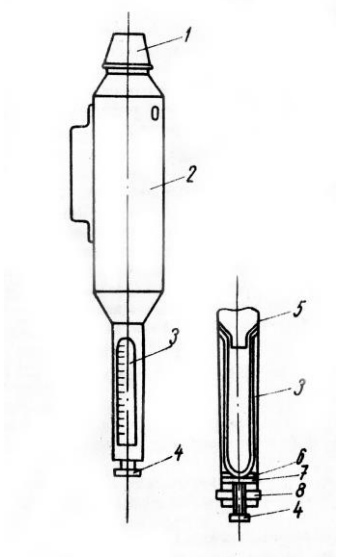


Рис. 4 Отстойник ОМ-2

Техническая характеристика

Высота столба раствора в цилиндре..... 200
Объем цилиндра, $см^3$..... 800
Габаритные размеры, мм..... 100x210x110
Вес, кг..... 0,5

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определение стабильности глинистых растворов при помощи цилиндра ЦС-2 следует производить в следующей последовательности:

a) Вымыть цилиндр водой и вытереть насухо снаружи и внутри;

b) Влить пробу раствора в цилиндр до края, предварительно тщательно перемешать её;

c) Установить заполненный цилиндр в спокойном месте на сутки, отметив время по часам;

d) Через 24 часа открыть пробку, слить верхнюю часть пробы раствора вместе с отстоявшейся водой в кружку, тщательно перемешать слитый раствор и определить его удельный вес ареометром АГ-2, закрыть отвод пробкой, тщательно перемешать в цилиндре отстоявшуюся нижнюю половину раствора и определить её удельный вес.1

e) При определении удельного веса ареометром АГ-2 обязательно погружать его при обоих измерениях в одну и ту же воду;

f) Определить показатель стабильности глинистого раствора вычитанием первого показания ареометра из второго;

g) Вымыть цилиндр, вытереть насухо и вложить на место в ящик лаборатории.

6 . ИНСТРУКЦИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУТОЧНОГО ОТСТОЯ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ МЕРНЫМ ЦИЛИНДРОМ

Показатель суточного отстоя глинистого раствора определяется как процент воды, отстоявшейся за сутки на пробы раствора.

Определение суточного отстоя глинистых растворов производится стандартным мерным цилиндром объемом 100 см3 с ценой деления 1 см. Для этих определений также необходимы часы.

Определения следует производить в следующей последовательности:

a) вымыть мерный цилиндр водой и вытереть насухо снаружи и внутри;
b) тщательно перемешанную пробу раствора налить в цилиндр до сотого деления на шкале;
c) поставить цилиндр с раствором в спокойное место, отметить время и оставить на 24 часа;
d) черев 24 часа прочесть на шкале цилиндра отсчет положения уровня раздела раствора и отстоявшейся воды и вычесть полученное показание из 100. Результат вычитания является показателем суточного отстоя в .процентах;
e) вымыть цилиндр и вложить его в ящик лаборатории.

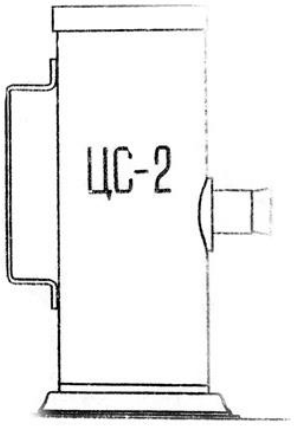


Рис.5. Цилиндр ЦС-2

7. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ТИПА СНС-2

Прибор СНС-2 предназначен для измерения статического напряжения сдвига глинистых растворов и применяется в условиях лабораторий геологоразведочных партий и экспедиций.

Прибор переносной и может быть использован в полевых условиях на буровой вышке.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Прибор для определения статического напряжения сдвига основан на принципе вискозиметра с соосными цилиндрами.

На тонкой упругой нити подвешен цилиндр, погруженный в соосный полый цилиндр, заполненный испытуемой жидкостью, при вращении внешнего цилиндра жидкость, находящаяся в нем, увлекает за собой подвешенный цилиндр до тех пор, пока момент закрученной нити не станет равным крутящему моменту, определяемому вязкостью испытуемой жидкости и размерами подвешенного цилиндра.

Измерение статического напряжения сдвига глинистых растворов является частным случаем применения вискозиметра с соосными цилиндрами и производится при весьма малых скоростях вращения внешнего цилиндра, й данном приборе принята скорость вращения внешнего цилиндра 0,0032 с-1, что соответствует линейной скорости 4 . 10-6 м/с; эта скорость несколько превышает предел скорости так называемой вариантной зоны, в которой определяемая величина строго соответствует понятию статического напряжения сдвига любых известных глинистых растворов. Однако уменьшение скорости влечет за собой либо снижение точности отсчета и измерении либо увеличение производства измерений.

Время для производства измерений при наличии тиксотропии растворов должно быть как можно меньше и в соответствии с принятой методикой измерения не должно превосходить 60 секунд, чему соответствует поворот внешнего цилиндра прибора на 72°, а шкалы прибора - на несколько меньшую величину.

Нити для различных пределов измерения подбираются из этих соображений, а именно: закручивание нити на угол 65-70° должно соответствовать крутящему моменту, определяемо ну по предельному значению измеряемого статического напряжения сдвига.

В приборах с соосными цилиндрами на результаты измерения оказывает влияние момент, возникающий на донной части подвешенного внутреннего цилиндра. С целью уменьшения этого влияния нижняя часть внутреннего цилиндра расточена,

благодаря чему при погружении цилиндра в испытуемую жидкость в расточке остается воздух. Таким образом, дно цилиндра не имеет контакта с испытуемой жидкостью.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Прибор для измерения статического напряжения сдвига глинистых растворов (рис. 8) состоит из измерительной части и привода, смонтированных на прямоугольной плите 1 . Для регулировки положения прибора плита снабжена двумя регулируемыми опорами 2 и одной неподвижной 11. Измерительная часть состоит из двух узлов: узла внешнего подвижного цилиндра и уела подвесного цилиндра с упругой измерительной системой.

Узел внешнего цилиндра состоит из корпуса 10, расположенном на стояке 12, имеющем строго концентрическую расточку под внешний цилиндр и канавку под спиральную бесконечную пружину.

Узел подвесного цилиндра, монтирующийся на вертикальном кронштейне 3, состоит из:

1. Цилиндра 9 с расточкой под конус Морзе № 1 и расточка в донной части для защитного пузыря. Цилиндр имеет накатанную наружную поверхность, обеспечивающую прочную связь с испытуемым раствором.

Выполнен цилиндр из латуни с матовым никелевым покрытием.

2, Трубки 6, один конец которой имеет конусную поверхность и резьбу под винт соосного соединения с цилиндром, а второй конец выполнен открытым для размещения в нем упругой нити 5. Крепление нити в трубке и регулирование соосности нити с трубкой осуществляется тремя винтами в утолщении трубки над конусом. Средняя часть трубки имеет концентричную площадку с уступом для установки шкалы 7.

3. Шкала 7 с делениями, нанесенными через 1° на её конической поверхности. Для грубой установки шкалы на нуль предусмотрены 8 отверстий, одним из которых она надевается на штифт, имеющийся на соответствующей площадке трубки.

4 Стрелки 3, укрепленной на кронштейне и имеющей наконечник из прозрачного оргстекла и нанесенными на нем с обеих сторон рисками, исключающими ошибку параллакса при отсчете.

5 . Нити 5, изготавливаемой из стальной пружинной проволоки и имеющей 2 наконечника: нижний в виде втулки, входящий в трубку с зазором в 1 мм на сторону, и верхний в виде диска с фаской, на которой выгравирован номер нити.

Весь узел подвешивается на конусной пробке 13, которая в свою очередь плотно устанавливается в конусной втулке, запрессованной в кронштейн. Поворотом пробки шкала прибора устанавливается на нуль по стрелке.

Привод внешнего цилиндра осуществлен от синхронного электрического двигателя СД-2 (2 позиции 4) через редуктор и гибкую передачу 1:2.

Привод прикреплен к плите прибора через амортизатор из губчатой резины, предназначенный для защиты измерительной части прибора от вибраций двигателя.

Для включения двигателя предусмотрены тумблер, укрепленный на кронштейне прибора, и шнур с вилкой для подключения к сети.

Для заполнения внешнего цилиндра испытуемым глинистым раствором предусмотрена специальная мерная кружка объемом 120 мл.

Прибор поставляется в специальном ящике.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Лабораторные занятия выполняются на уже отградуированном приборе; данные градуировки приводятся в паспорте для каждой поставляемой нити.

Для работы прибор должен быть установлен на устойчивом и прочном столе. Подвесная система подвешивается за верхний конец нити в пробке кронштейна и прибор устанавливается регулировочными нитями так, чтобы подвесной цилиндр встал соосно с вращающимся столиком прибора (регулировка соосности нити с трубкой подвесной

системы выполнена при сборке прибора).

Устанавливают "О" шкалы против риски на стрелке указателя. Установку нуля можно производить грубо путем поворота шкалы на трубке и точно: путем осторожного и плавного поворота в гнезде кронштейна. Чтобы убедиться, что установка на ноль произведена правильно, следует выждать, пока подвесная система успокоится. Затем следует снять подвесную систему, не трогая и не сдвигая пробку в гнезде кронштейна, и установить на вращающийся столик внешний цилиндр.

Подготовленный для работы прибор подключить к сети напряжением 220 вольт и, включая тумблер, проверить работу электродвигателя.

ПРОИЗВОДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

При производстве измерений следует:

1. Пробу раствора сильно взболтать.
2. Снять подвесной цилиндр.
3. Взболтанный раствор зачерпнуть меркой объемом 120 мл, прилагаемой к прибору, и валить установленный на вращающемся столике прибора внешний цилиндр.
4. Погрузить подвесной цилиндр во внешний цилиндр и подвесить нить на пробку. При погружении подвесного цилиндра нужно следить за тем, чтобы его верхний конец не погрузился под уровень раствора. Если раствор не достигает верхнего края подвесного цилиндра, следует осторожно долить раствор. Подвесной цилиндр должен быть погружен в раствор точно до верхнего края.
5. Взять в левую руку секундомер, а правой осторожно поворачивать подвесную систему и перемешивать раствор. После окончания перемешивания раствора поставить на "О" шкалу против риски на стрелке прибора и одновременно включить секундомер. Во время этой операции следует следить за тем, чтобы подвесной цилиндр был в центре внешнего цилиндра.
6. По истечении одной минуты нажатием тумблера в клочить

электродвигатель и наблюдать за движением подвесного цилиндра по шкале прибора. Увлекаемый глинистым раствором, подвесной цилиндр вращается вместе с внешним цилиндром до тех пор, пока момент в закручивающейся нити не станет равным моменту, обусловленному статическому напряжению сдвига раствора на подвесном цилиндре. Когда подвесной цилиндр остановится, произвести отсчет по шкале в градусах.

7. Включить электродвигатель.

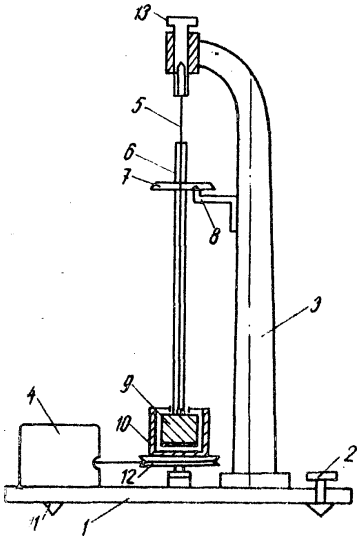


Рис. 6. Прибор СНГ-2

Для определения тиксотропии раствора выполняется повторное измерение, но уже по истечении 10 минут по секундомеру. С этой целью сразу же после первого измерения осторожно внутренним цилиндром размешать раствор, установить "0" шкалы против риски и дать глинистому раствору стабилизироваться в течение 10 минут и выполнить измерение.

При работе и установке шкалы "0" наблюдающий должен следить за совпадением рисок, нанесенных с обеих сторон, чтобы исключить ошибку параллакса при отсчете.

Производство каждого замера от момента пуска электродвигателя до момента остановки подвесного цилиндра не должно продолжаться более 1 минуты, чему соответствует максимальный отсчет 70°.

Если замер продолжался более 1 минуты, его следует признать некачественным, а выбранный предел измерения недостаточным. В этом случае следует заменить нить на более толстую с большим пределом измерения.

Если показания прибора было в пределах 10°, замер следует признать неточным, а выбранный предел измерения слишком большим.

В этом случае следует заменить нить на более тонкую с меньшим пределом измерения.

Полученное в результате измерения показание в градусах следует пересчитать в мг/см^2 путем умножения на коэффициент, соответствующий данной нити и приведенный в паспорте.

Например, в процессе измерения статического напряжения сдвига глинистого раствора внутренний цилиндр, подвешенный на упругой нити 5 с коэффициентом 2,725 м г/см · град. повернулся на 21°. Статическое напряжение сдвига в этом случае будет 2,725 мг/см · град · 21 = 57 мг/см^2 = 5,7 Па.

После измерений все детали, испачканные глинистым раствором, следует вымыть и насухо вытереть.

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ВСН – 3

К реологическим параметрам относятся:

а) предельное напряжение сдвига – θ_1 и θ_{10} Па, характеризующее прочность структуры, образующейся в промывочной жидкости после 1 и 10 минут ;

б) эффективная вязкость $\eta_{эф}$, спз характеризующая вязкое сопротивление промывочной жидкости при данной скорости сдвига;

в) пластическая вязкость $\eta_{пл}$, спз - условная величина, являющаяся долей эффективной вязкости, которая возникает вследствие структурообразования в потоке промывочной жидкости;

г) предельное динамическое напряжение сдвига $Ʇ_0$, условная величина, характеризующая предел текучести в потоке промывочной жидкости.

Реологические показатели измеряются с помощью ВСН-3 по величине усилия, возникающего на подвесном цилиндре, погруженном в буровой раствор, при заданной скорости вращения наружного цилиндра.

Прибор ВСН-3 (рис. 7) состоит из корпуса 15, измерительного механизма 7-12, привода к нему 1,2 и подвесного кронштейна 14, на который ставится стакан с буровым раствором 13. Измерительный механизм имеет два коаксиально расположенных цилиндра, наружный (ротор) 11 и внутренний 12, укрепленный на оси, в верхней части которой расположен манометр 9 и измерительная шкала с делениями в градусах. Установка шкалы на "0" производится с помощью крутильной головки 8. Привод ротора осуществляется двигателями через многоступенчатую коробку передач. Прибор работает от сети переменного тока.

ИЗМЕРЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА

Перед измерением чистый сухой стакан заполняют буровым раствором и ставят на кронштейн. Прибор включают и размешивают раствор при 9,600 $с^{-1}$ в течение 0,5 мин. По окончании перемешивания устанавливают шкалу на ”0" и раствор оставляют на 1 минуту. Одновременно переключают скорость вращения ротора на 0,0032 $с^{-1}$, снова включают прибор и отмечают угол максимального закручивания нити в градусах ($У_1$). Замер $У_{10}$ производят аналогично после 10 минут покоя. Статическое напряжение сдвига определяется по формуле:

$$Q_1 = k \cdot y_1$$
$$Q_{10} = k \cdot y_{10}$$

где: k- коэффициент прибора.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ, ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА

Стакан прибора заполняют буровым раствором до метки и устанавливают на кронштейн. Включают прибор со скоростью вращения ротора 9,600 $с^{-1}$ и замеряют угол поворота (У) по установившимся показателям шкалы. Замер повторяют последовательно при 6,400; 4,800 и 3,200 $с^{-1}$. По окончании измерения прибор выключают, цилиндры моют и вытирают насухо.

По результатам измерений, полученных на приборе ВСН-3, рассчитывают реологические показатели - эффективную и пластическую вязкости, а также динамическое напряжение сдвига. Для расчета необходимо сделать графическое построение в координатах n – $У_1$, аналогичное изображенному на рис. 3.

Через точки, соответствующие значениям У при различных n проводят плавную линию 1 - реологическую кривую течения. Прямолинейный участок кривой продолжают до пересечения с осью абсцисс в точке $У_1$, и получают прямую 2.

Опустив перпендикуляр на ось абсцисс от точки прямой 2, соответствующей 9,600 $с^{-1}$ получают точку $ф_2$.

Реологические показатели рассчитывают по формулам:

$$\eta_{эф(n)} = \beta \frac{y_2}{n} \quad ;$$
$$\eta_{пл} = \beta \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{n} \quad ;$$
$$\tau_0 = A \cdot y_1$$

где:

η эф - эффективная вязкость, спз;

$\eta_{пл}$ - пластическая вязкость, спз;

$Ъ_0$ – предельное динамическое напряжение сдвига, Па ;

А и В – коэффициенты приборов (указываются в паспортах);

$У_1$ и $У_2$ - углы в градусах (определяются по графику и соответствуют отрезкам ОУ1 и ОУ2).

Примечание: Если реологическая кривая имеет обратный наклон или не содержит прямолинейного участка (аналогично кривой 3 на рис.8) определяют только эффективную вязкость по формуле (1) с углом

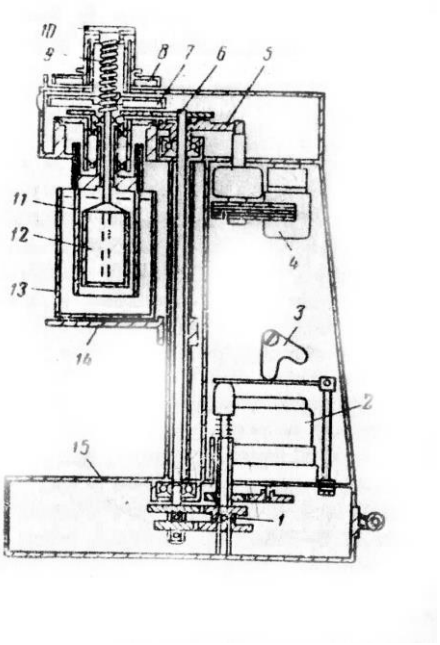


Рис. 7. Вискозиметр ВСН-3
1 - двухскоростной редуктор;
2 - синхронный двигатель СД-54;
3 - переключатель редуктора; 4 - синхронный двигатель СД-2;
5 - шестерня обгонной муфты; 6 - трансмиссионный вал; 7 - шкала измерительная; 3 - шкала крутильной головки; 9 - пружинный динамометр; 10 - наружный цилиндр; 11 - внутренний цилиндр, 13 - стакан с раствором; 14 - кронштейн; 15 - корпус.

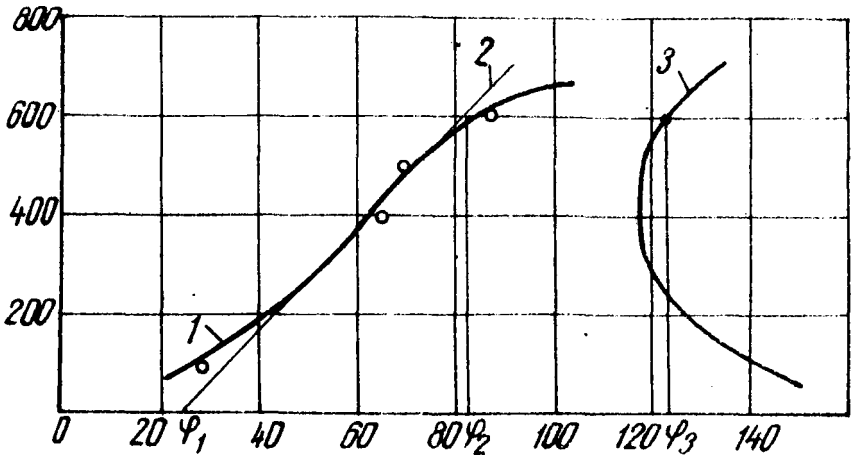


Рис. 8. Типы реологических кривых
1 - кривая, построенная по опытным точкам; 2 - прямая для расчета η пл и Ʈ0 ; 3 – кривая с обратным наклоном.

2. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ АКТИВНОСТИ И СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Смазочные свойства промывочных жидкостей проявляются при введении в них активных добавок и эмульсолов.

Смазочные свойства в основном связаны с формированием смазочных пленок, в результате адсорбции поверхностно-активных веществ на трущихся поверхностях (бурильных трубах, стенках скважин, буровых наконечниках). Вольную роль на смазочные свойства оказывает pH среды.

Оценку адсорбционной активности ПАВ и их смазочных свойств можно осуществить по следующим параметрам:

1) поверхностное натяжение, Н/м ;
2) смачиваемость, В = Cos θ ;
3) стабильность, %;
4) порог быстрой коагуляции Пб·к, к/л;
5) водородный показатель, pH;
6) коэффициент трения, Кт;
7) предельная прочность смазочной пленки, $p_{кр}$ Па

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (pH)

Водородный показатель определяет концентрацию ионов водорода в промывочной жидкости, которые оказывают существенные влияния на физико-химические процесса, протекающие в жидкости и на эффективность химической обработки.

Для различных промывочных жидкостей существует своя оптимальная концентрация водородных ионов, при которой они более полно удовлетворяют требованиям технологии бурения в конкретных геолого - технических условиях. Контроль за концентрацией водородных ионов позволяет определить причины изменения свойств промывочной жидкости в процессе бурения и принять меры по восстановлению её качества.

Вода является слабо диссоциирующим веществом, в 1 л при 22 °С диссоциирует одна десятимиллионная часть грамм-молекулы с образованием $1 \cdot 10^{-7}$г. ион водорода H^+ и $1 \cdot 10^{-7}$ г. ион гидроксильной группы ОН. Концентрация диссоциированных молекул H_2O в воде и разбавленных водных растворов является величиной постоянной, постоянным является и произведение концентраций водородных и гидроксильных ионов - так называемое ионное произведение воды (численное значение равно $1 \cdot 10^{-14}$).

Кислотность и щелочность раствора можно выражать через концентрации ионов H^+. Чтобы избежать неудобств, связанных с применением степенных отрицательных чисел, концентрацию водородных ионов принято выражать и логарифмом с обратным знаком и называть водородным показателем pH.

$pH = - \lg H^+$

В нейтральных растворах pH = 7 и уменьшается с ростом кислотности. В щелочных растворах pH>7 и повышается с ростом щелочности.

При повышении щелочности АГЖ ухудшаются щелочные свойства, происходит быстрое удаление адсорбционных пленок ПАВ с трущихся поверхностей, а у глинистого раствора наблюдается коагуляция, растет вязкость.

Для измерения pH в лабораторных условиях применяют специальные приборы pH-метры. Для измерения величины pH в этих приборах используется система со стеклянным электродом, электродвижущая сила которой зависит от активности ионов водорода в растворе.

Схема для измерения величины pH приведена на рис. 13. Стеклянный электрод 2

представляет собой трубку с пожни шариком 1 из специального стекла на конце. При погружении электрода в раствор между поверхностью шарика электрода и раствором происходит обмен ионами, в результате которого ионы лития в поверхностных слоях замещаются ионами водорода, и стеклянный электрод приобретает свойства водородного электрода.

Между поверхностью стекла и контролирующим раствором возникает разность потенциалов, величина которой определяется активностью ионов водорода в растворе.

Для создания электрической цепи при измерении применяются контактные электроды: внутренний контактный электрод, осуществляющий электрический контакт с раствором, заполняющим внутреннюю полость стеклянного электрода, и внешний контактный электрод (вспомогательный электрод), осуществляющий электрический контакт с контролируемым раствором. Для защиты от воздействия высоких температур (при измерении pH растворов, температуры которых выше температуры окружающей среды) вспомогательный электрод помещают вне контролируемого раствора и соединяют с ним при помощи электролитического ключа трубки, наполненной раствором хлористого калия и заканчивающейся пористой перегородкой

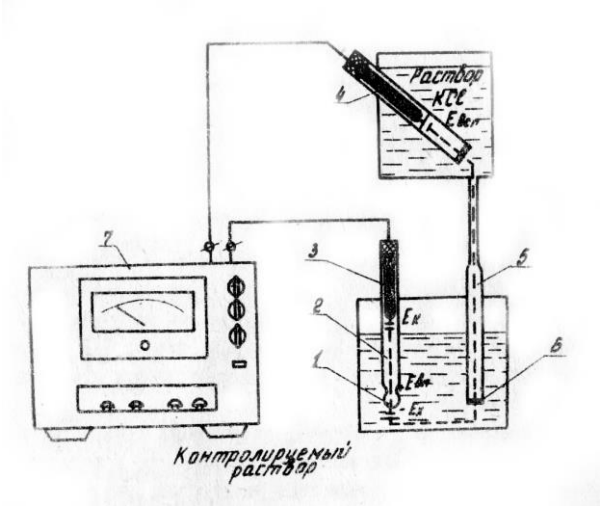


Рис. 9. Схема измерения pH раствора
1- полый шарик ив электродного стекла; 2- стеклянный электрод; 3- внутренне контактный электрод; 4- вспомогательный электрод; 5- электролитический ключ; 6- пористая перегородка; 7- pH-метр - pH-262 (измерительный прибор).

Раствор хлористого калия непрерывно просачивается через пористую перегородку, предотвращая проникновение из контролируемого раствора в систему электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину ЭДС электрода.
Для измерения ЭДС электродной системы применяется компенсационная схема, позволяющая существенно уменьшить потребляемый ток электродной системы при измерении. При намерении электродвижущая сила Е электродной системы сравнивается с падением напряжения на сопротивлении, через которое протекает ток конечного каскада усилителя pH-метра. Этот ток пропорционален ЭДС электродвижущей системы, а следовательно, и величине pH контролируемого раствора.

Измерение поверхностного натяжения

Поверхностное натяжение - это величина удельной работы, которую нужно затратить, чтобы образовать единицу свободной поверхности (капли).

Измерение поверхностного натяжения в лабораторных условиях наиболее удобно производить на сталагмометре БашНИИнефть (рис.14). Определяется число капель в единице объема, формирующихся на границе раздела: водный раствор ПАВ -

воздух.

Основными частями прибора являются: 1 - микрометр, определяющий объем выдавливаемого раствора ; 2 - медицинский шприц, куда заливается исследуемый раствор ПАВ; 3 - капилляр с внутренним диаметром 0,8 мм и 4 - кронштейн.

Перед началом опыта внутреннюю поверхность шприца и капилляр обезжиривают хромовой смесью (5% порошка двухромового калия, растворенного в концентрированной серной кислоте) или ацетоном, а потом промывают дистиллированной водой.

Перед началом замеров необходимо определить постоянную капиляра. Для этого берут дистиллированную воду, поверхностное натяжение которой известно, и замеряют количество капель, появляющихся при выдвижении микрометренного винта на 1 см. Поверхностное натяжение води при данной температуре берется из табл.

Постоянная капилляра определяется по формуле:

$$K = б_в \cdot n_в$$

где: $б_в$ - поверхностное натяжение воды при данной температуре Н/м

$n_в$ - число капель воды при выдвижении шприца на 1 см.

Затем 50 $см^3$ активной промывочной жидкости профильтровывают через складчатый фильтр < менее 50 $см^3$ фильтрата брать не рекомендуется, так как в этом случае концентрация ПАВ существенно изменится вследствие адсорбции на фильтровальной бумаге).

При работе с глинистым раствором можно использовать для получения фильтра прибор ВМ-6.

Определяют температуру фильтрата, После получения равенства температур воды и фильтрата приступают к измерению. Подсчитывают число капель фильтрата при выдвижении микрометренного винта на 1 см. Замеры проводят три раза и находят среднее количество капель.

Поверхностное натяжение фильтрата определяется по формуле:

$$\sigma_и = \frac{\sigma_В \cdot n_в}{n_и} = \frac{K}{n_и}$$

где: $П_и$- число капель исследуемой жидкости;
K - постоянная капилляра.

Рис. 10. Сталагмометр
1- микрометр, 2-медицинский шприц;
3-капилляр; 4 - кронштейн

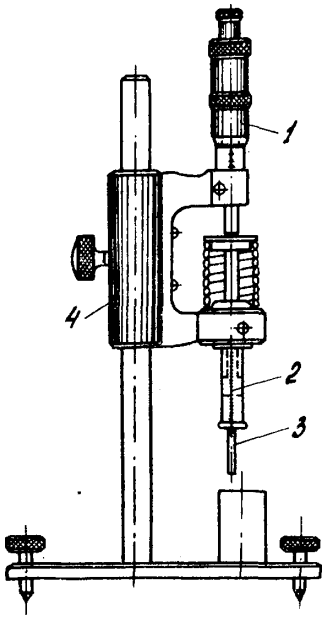


Таблица 1

Изменение поверхностного натяжения воды в зависимости от температуры

Температура воды, °С	Поверхностное натяжение, Н/м	Температура воды, °С	Поверхностное натяжение, Н/м
15	73.49	22	72,44
16	73,34	23	72,28
17	73,19	24	72,12
18	73,05	25	71,96
19	72,90	26	71,80
20	72,75	27	71,64
21	72,59	28	71,47

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ АПЖ

Способность АПЖ смачивать твердые поверхности характеризуется косинусом краевого угла смачивания, которая навивается смачиваемостью (В = Cos *в*)

Краевой угол смачивания на исследуемой поверхности (бурильная труба, горная порода) измеряется по форме капли, сфотографированной на пластинке.

Для снятия капли на пластинку применяется установка, схема которой приведена на рис. 11.

Установка состоит ив источника света 1, испытуемой поверхности 2, увеличителя с длинно-фокусной линзой 3, экрана 4, рамки 6.

Для измерения краевого угла смачивания исследуемых поверхностей готовится АШ с концентрациями ПАВ 0,5; 1; 2; 3; 4%. Перед нанесением капли на исследуемую поверхность её нужно обезжирить ацетоном или хромовой смесью, промыть дистиллированной водой и хорошо просушить. Для нанесения капель на поверхность дается выдержка 4 минуты с целью придания каппе равновесного кривого угла.

В течение данного времени капля проектируется на экран путем установки максимальной резкости в изображении контура капли перемещением увеличителя 3 по направляющей рамки 5.

После снятия капли на пластинку и её проявления, замеряется краевой угол. Для этого измеряется высота капли h и радиус площади контакта с поверхностью $r_к$. Зная эти размеры, рассчитывается смачиваемость по формулам:

при $\theta < 90°$ $$C_{о\theta}\theta = \frac{r_k^2 - h^2}{r_k^2 + h^2}$$

при $\theta > 90°$ $$C_{о\theta}\theta = 1 - \frac{h}{r_k}$$

$$C_{о\theta}\theta = 1 - \frac{h}{r_k}$$

Полученные расчетные данные заносятся в таблицу, на основании которых строятся графики *CosΘ=f(c).* Данные графики позволяют оценить смачиваемость АПК поверхности горных пород и бурильных труб в зависимости от концентрации ПАВ. На основании полученных данных вычисляется работа адгезии, которая характеризует энергию сцепления смазочной пленки с трущимися поверхностями.

$$W_a = \sigma_{жг}(1 + C_{о\theta}\theta)$$

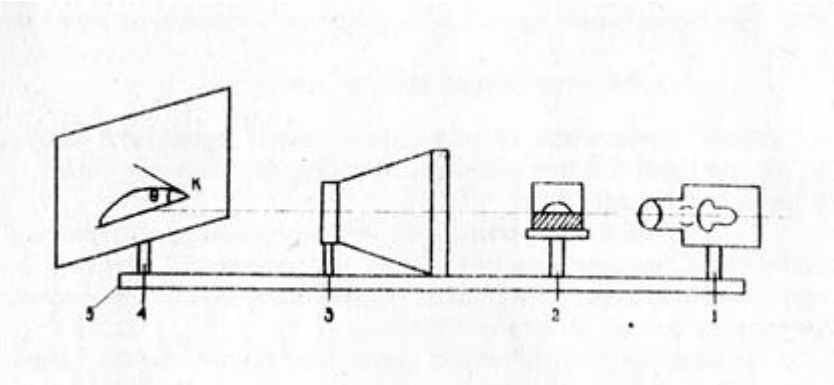


Рис.11. Установка для определения краевого угла смачивания.
источник света; 2 - испытуемая поверхность; 3 - увеличитель экран-пластинка; 5 - рама.

W_a - работа адгезии, Н/м ;
$6_{ж.г}$ - поверхностное натяжение на границе раздела жидкость-газ, *Н/м ;*
Cos θ - смачиваемость.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ АПЖ

Под стабильностью, или устойчивостью понимается способность АПЖ сохранить свое агрегативное состояние, не расслаиваться в течение продолжительного времени.

Проба АПК заливается в мерный цилиндр, который оставляют в покое в течение трех часов при комнатной температуре. Если за это время расслоение жидкости не произойдет, то она считается стабильной. Расслоение может произойти в результате повышенной жесткости воды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА БЫСТРОЙ КОАГУЛЯЦИИ

Мерой агрегативной устойчивости активной промывочной жидкости по отношении к солям поливалентных металлов является порог быстрой коагуляции (Пб· К).

Порог быстрой коагуляции - это та наименьшая концентрация электролита, которая вызывает снятие энергетического барьера электростатического отталкивания сближающихся коллоидных частиц и быстрое расслоение дисперсной системы.

Определение порога быстрой коагуляции осуществляется следующим образом. В начале готовятся растворы активной промывочной жидкости с концентрациями эмульсолов или ПАВ 0,5; 1; 2; 3; 4%. Затем приготовляются растворы с концентрациями электролитов ($CaCl_2$, $MgCl_2$) от О ,25 до 10/Ь в зависимости от коагулирующей активности электролита.

Раствор электролита заливается в бюретки объемом 10 мл с ценой деления 0,1 мл. Для проведения наблюдений берется пробирка и заполняется 2 мл активной промывочной жидкости. Потом исследуется раствор с помощью бюретки вводится электролит небольшими дозами (по 0,1 мл). После каждой добавки раствор интенсивно встряхивается и просматривается при просвечивании электрической лампой. Интенсивное помутнение раствора и выделение коагулированных хлопьев ПАВ свидетельствует о начале быстрой коагуляции раствора. Концентрация электролита, выраженная в г/л, которая вызывает быструю коагуляцию АПЖ, применяется за порог быстрой коагуляции.

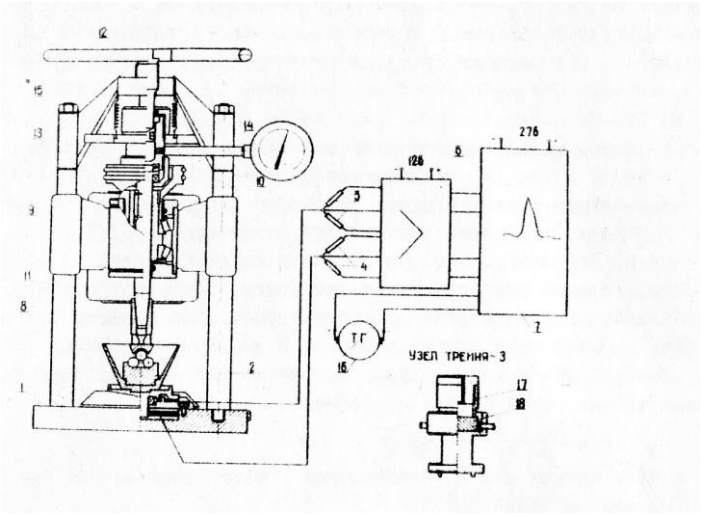


Рис. 12. Установка трения 1 - опорная станина; 2,3 - узлы трения; 4,5 - тенаодатчик; 6 - тензоусилитель; 7 - осциллограф; 8 - шпиндель; 0 - корпус шпинделя; 10 - шкив; 11 - электродвигатель; 12 - нагрузочный винт; 13 - гидропресс; 14 - манометр, 15 - нагрузочная траверса; - тахогвнератор

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

Коэффициент трения определяется на установке трения, которая монтируются узлы трения 2 и 3. Узел 2 служит для измерения коэффициента трения на контакте металл-металл, и узел 3 - на контакте металл-горная порода. Узел 2 представляет собой четырехшариковую пирамиду, установленную на поверхности стола, который связан с измерительной пружиной, с наклеенными на ней тензодатчиками 4. К тензодатчику подсоединяется тензоусилитель 8, и осциллограф 7. Давление на узел трения осуществляется шпинделем 8, смонтированным в корпусе 9. Вращение шпинделя передается черев шкив 10 от двигателя 11. Нагрузка на шпиндель создается винтом 12 гидропресса 13, которая регистрируется по манометру 14. Винт 12 перемещается по резьбе в нагрузочной траверсе 15.

Замеры производятся по следующей методике. Стальные шары диаметром 8,5 мм из стали IX, предварительно обезжиривается ацетоном, устанавливаются в узел трения, в который заливается исследуемая АПЖ. С помощью гидропресса создается нагрузка, которая регистрируется по манометру. Латером плавно включается мотор до полных оборотов, которые регистрируется счетчиком 16. В этот момент включается записывающее устройство осциллографа. После обработки осциллограмм определяется крутящий момент М кр. По аналогичной методике производятся замеры на узле трения металл- горная порода Коэффициент трения определяется по формуле:

$$K_T = \frac{F_{\text{ТР}} \cdot R}{P \cdot r} = \frac{M_{\text{кр}}}{P \cdot r}$$

где: $F_{тр}$ - сила трения или горизонтальное усилие, вызывающее движение стола, Н;
R - радиус подвижного стола, и ;
Р - осевая нагрузка на шпиндель, Н ;
r - радиус четырехшариковой пирамиды, м ;
М кр - крутящий момент на подвижном столе, кг · $м^2$;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ

Под предельной прочностью смазочной пленки подразумевается критическое. давление на площадь контакта, при котором происходит выдавливание (разрушение) смазочной пленки.

Определение предельной прочности смазочной пленки производится на установке трения в следующей последовательности.

Исследуемая активная промывочная жидкость заливается в узел трения, создается последовательно нагрузка на шпиндель, ступенями включается вращение и замеряется величина крутящего момента при каждом нагружении.

Затем строится график в логарифмических координатах, М кр =f (Р). На графике находится точка резкого возрастания величины крутящего момента. Нагрузка, соответствующая этой точке принимается за $P_{мах}$.

Величина предельной прочности смазочной пленки в месте контакта определяется по формуле Герца-Беляева:

$$P_{кр} = 0{,}388\sqrt{\frac{1{,}64P_k E^2}{r^2}}$$

Где $Р_{кр}$ – критическое давление на площадь контакта, кг · $м^2$,

$Р_к$ - контактная нагрузка, Н;

Е – модуль упругости, кг/$мм^2$ (для стали Е = 2,1х10^{-4} кг/$м^2$);

r - радиус шара, м;

$Р_к$ = 0,41 Р;

где $Р_{мах}$ - осевая нагрузка в момент выдавливания пленки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контроль параметров промывочных жидкостей в процессе бурения является важным условием сохранения качества промывочной жидкости и поддержания устойчивости ствола скважины.

В методических разработках приведено описание основных приборов для измерения структурно-механических и антифрикционных параметров промывочных жидкостей и изложена методика их определения.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Г. А. Усов

Промывочные жидкости (Глинистые растворы)

Методические указания по самостоятельной работе
по дисциплине

«Очистные агенты и тампонажные смеси»

для студентов специальности

21.05.03 Технологии геологической разведки

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время при бурении разведочных скважин большое внимание стало уделяться повышение качества промывочных жидкостей путем обработки их различными видами химических реагентов.

В частности, при алмазном бурении стали широко использоваться активные промывочные жидкости, малоглинистые и безглинистые растворы, получаемые на основе эмульсолов и коллоидных ПАВ. Поэтому возникает необходимость регулярного контроля качества промывочных жидкостей, который регламентируется требованиями технологии и геологических условий бурения скважин.

Задачей настоящих методических разработок является оказание помощи студентам в вопросах выбора исходного сырья для приготовления промывочных жидкостей, ознакомление с основными физико-химическими процессами коагуляционного структурообразования и получения дисперсных систем с заданными технологическими свойствами. Приводится достаточно полная характеристика основных химических реагентов, применяемых для получения различных видов промывочных жидкостей и регулирования их свойств, даются рекомендации по рациональной области их применения.

Методические разработки предусматривают оказание помощи студентам в:

1) приобретении навыков в определении основных параметров промывочных жидкостей;

2) изучении влияния различных химических реагентов на свойства промывочных жидкостей и усвоение методики определения их оптимальных концентраций;

3) овладение методами управления свойствами различных промывочных жидкостей: глинистого раствора, безглинистых промывочных жидкостей, аэрированных, утяжеленных растворов.

Содержание методических разработок составлено согласно программе лабораторных работ по промывочным жидкостям для студентов специальности «технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» с целью облегчить использование их в процессе занятий.

Глинистые растворы – это коллоидно-дисперсные системы, в которых глина в виде мельчайших частиц (дисперсная фаза) равномерна распределена в воде, являющейся дисперсионной средой. Структурно-механические свойства глинистых растворов во многом зависят от минералогического и химического составов глин и воды.

Рассмотрим кратко характеристику основных глинообразующих минералов и воды, которые используются для получения глинистых растворов.

1. Характеристика основных глинообразующих минералов

Глинистыми породами называются группа осадочных неметаморфизированных и слабометаморфизированных горных пород, состоящих в основном из тонких (< 0,01 мм) фракций преимущественно глинистых минералов.

Глина характеризуется следующими признаками.

Первый признак – частицы, слагающие глины минералов в преобладающей массе имеют малые размеры. К глинам относят породы, в которых более 50 % частиц характеризуются размерами < 0,01 мм. Среди последних в глинах присутствуют не менее 25 % частиц размером < 0,001 мм.

Вторым признаком глины является обязательное присутствие в них высококоллоидальных глинистых минералов, которые в основном сосредоточены во фракции < 0,001 мм глинистой породы.

Третий основной признак глин – пластичность, т.е. способность давать с водой пастообразные массы различной консистенции. Пластичность зависит от степени

дисперсности и связанной с ней удельной поверхности глин, а также от наличия глинистых минералов, имеющих малые размеры и обладающих пластинчатой формой, увеличивающей способность глин удерживать воду.

Четвертая особенность глин – способность к обмену основаниями, которая зависит главным образом от присутствия глинистых минералов. Состав поглощенных катионов оказывает существенное влияние на пластические и другие свойства глин.

К основным глинообразующим минералам относятся минералы группы каолинита, гидрослюды, монтмориллонита и палыгорскита.

Каолинит. Эмпирическая формула каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_3 \cdot 2H_2O$. В весовом соотношении SiO_2 составляет 46,3 %, Al_2O_3 - 39,8 %, H_2O - 13,9 %. В структурном отношении каолинит представлении чередованием кремнекислородного и алюмокислородного слоев, последний из которых гидратирован, что обеспечивает прочную связь между структурными слоями. Отличается малой емкостью поглощения катионов, до 15-20 мг-экв на 100 г глины. Поэтому каолинит плохо набухает в воде. Удельный вес каолинита 2,57-2,60. В глинистых породах каолинит представлен мелкими чешуйками. Цвет белый, иногда светло-серый, желтоватый, голубоватый.

Гидрослюда – минералы, напоминающие по форме листочков слюду, но содержащие меньше щелочей и больше воды, чем слюда. Свойства гидрослюдистых глин определяются составляющими их структурами. Для них характерны смешанно-слоистые структуры, в которых алюмосиликатные пакеты одного глинистого минерала переслаиваются с пакетами другого.

Весьма распространены смешанные структуры различных гидрослюд (иллита, хлорита и др.) с монтмориллонитом или каолинитом. Для них характерны – высокая коллоидальность, сравнительно большие емкости обмена (10-40 мг-экв на 100 г глины), хорошие адсорбционные свойства. Является очень широко распространенным глинообразующим минералом.

Монтмориллонит. Эмпирическая формула $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$. Алюминий в монтмориллоните частично замещен магнием и окисным железом, в случае полного замещения образуются соответственно минералы сапонит и нонтронит.

Монтмориллонит образует чрезвычайно мелкие листочки, чешуйки и волокнообразные выделения. Особенностью минералов монтмориллонитовой группы является способность их кристаллических решеток к расширению. Эта особенность тесно связана с атомной структурой минерала. Обе поверхности пакетов монтмориллонита заряжены электрически отрицательно и между ними действуют главным образом отталкивающие силы, благодаря чему вода или другие полярные жидкости могут легко проникать в межпакетное пространство и происходит расширение или «разбухание» решетки. При удалении поглощений воды пакеты сжимаются. Глины группы монтмориллонита отличаются повышенной емкостью катионного обмена, 80-150 мг-экв на 100 г глины. Из глин группы монтмориллонита получаются высококоллоидальные глинистые растворы с достаточно прочной структурой и высокими структурными свойствами.

Палыгорскит представляет водный силикат магния и относится к магнезиальным глинистым минералам. Для него характерна игольчатая структура частиц и ленточно-слоистое строение кристаллической структуры минерала. Палыгорскит обладает высокой удельной поверхностью, суммарная емкость обмена составляет 20-30 мг-экв на 100 г глины. Адсорбционная способность и теплота смачивания палыгорскитовой глины увеличивается в результате освобождения каналов от связной воды и увеличения эффективной поверхности /4/.

2. Характеристика вод

Вода представляет сложную динамическую систему, меняющуюся от взаимодействия воды и горных пород, от состава, степени активности распространенных в ней компонентов, термодинамических условий и т. д.

Состав горных пород, слагающих водоносные горизонты, их растворимость в воде является основным фактором в формировании химического состава подземных вод.

Вода обладает растворяющей способностью. Если самые сильные кислоты и щелочи обладают избирательной растворяющей способностью, то вода, содержащая углекислоту, в состоянии растворить все минералы, начиная от галоидных и сульфатных и кончая силикатами, что объясняется полярностью молекул воды. Поэтому химический состав подземных вод определяется в основном составом горных пород, слагающих водоносные горизонты.

На степень минерализации подземных под оказывают влияние и другие факторы: климат, температура, время года, глубина залегания водоносного горизонта и др.

Природные воды имеют различную реакцию – от кислой до щелочной, в зависимости от состава растворимых солей, присутствия свободных кислот и щелочей. Так, например, при значительных концентрациях в воде карбонатов калия и натрия она будет иметь щелочную реакцию (pH = 8-10).

Присутствие кислот, особенно в рудничных водах, связанных с сульфидными месторождениями, железа, меди и цинка снижают величину pH в сторону кислой реакции ($pH<7$).

Другим важным показателем воды является жесткость.

Жесткость – свойство, обусловленное присутствием в воде содей щелочно-земельных металлов – кальция и магния. Причем, в зависимости от состава солей, выделяют карбонатную жесткость, вызываемую наличием карбонатных ($CaCO_3$, $MgCO_3$) и гидрокарбонатных $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, солей. Некарбонатную жесткость, связанную с некарбонатными солями $CaCO_4$, $MgCO_4$, $MgCl_2$.

Кроме того, еще выделяют два вида жесткости: постоянную (неустранимую) и временную (устранимую).

Постоянная жесткость обусловлена присутствием в воде карбонатных и сульфатных солей щелочно-земельных металлов. Удаление этих солей из воды сопряжено с ее дистилляцией, сложными химическими реакциями.

Временная жесткость обусловлена присутствием гидрокарбонатных солей кальция и магния, которые легко удаляются из воды при ее кипячении, благодаря распаду гидрокарбонатов.

Степень жесткости воды выражается в мг-экв на литр и вычисляется по формуле:

$$Ж = \frac{[Ca^{2+}]}{20{,}04} + \frac{[Mg^{2+}]}{12{,}16},$$

где $[Ca^{2+}]$ и $[Mg^{2+}]$ концентрация ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в мг/л; 20,04 и 12,16мг – вес 1 мг-экв. ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}.

В некоторых случаях жесткость воды выражают в немецких градусах (Н). Один немецкий градус (1°Н) соответствует 10 мг CaO на 1 л воды или 7,2 мг MgO на 1 л воды. Для перехода от градусов жесткости к мг-экв/л надо число градусов умножить на 0,35.

Для перехода от мг-экв/л к градусам надо число мг-экв/л умножить на 2,8.

По предложению О. А. Алекина природные воды, в зависимости от величины жесткости, подразделяются на несколько типов:

Тип	Градусы	Мг-экв
Очень мягкие	0-4,2	1,5
Мягкие	4,2-8,4	1,5-3,0
Умеренно жесткие	8,4-16,8	3,0-6,0

Жесткие	16,8-26,2	6,0-9,0
Очень жесткие	> 25,2	>9,0

К числу широко применяемых способов улучшения качества воды относится химическая обработка. Количество химикатов (г/м^3), необходимое для смягчения воды на 1,00 мг-экв/л с жесткостью свыше 4,2 мг-экв/л, определяется из расчета:

для кальцинированной соды (Na_2CO_3)……54

для каустической соды ($NaOH$)……42

для тринатрийфосфата (Na_3PO_4)……126

Пример: по данным анализа вода имеет жесткость 22 мг-экв/л. Следует смягчить 5 м^3 воды кальцинированной содой. На 1 м^3 воды требуется (22-4,2) · 54 = 961 Na_2CO_3, на 5 м^3 воды: 691· 5 = 4806 г Na_2CO_3.

Количество химикатов для смягчения воды можно взять из табл. 1.

Таблица 1

Количество химикатов для смягчения воды

Жесткость воды		Содержание катионов, мг/л		Удельное количество химикатов, г/м^3		
Н	$\frac{мг-экв}{л}$	*Ca*	*Mg*	*NaOH*	Na_2CO_3	Na_3PO_4
5	1,78	35,8	21,7	71,4	94,6	226
10	3,57	71,5	43,4	124,9	189,2	456
15	5,35	107,3	65,0	214,3	283,8	679
20	7,14	143,0	86,8	285,7	378,5	904
25	9,00	178,8	108,5	357,2	473,0	1131
30	10,70	214,5	130,0	428,6	567,0	1358
35	12,5	250,3	152,0	500,0	662,3	1583
40	14,3	258,0	174,0	571,4	757,0	1808
45	16,0	321,8	195,0	643,0	851,6	2035
50	17,85	358,0	217,0	714,0	946,0	2262
55	19,6	395,0	238,0	786,0	1041,0	2489
60	21,4	430,0	260,0	837,0	1135,5	2716
70	25,0	500,0	304,0	1000,0	1324,0	3166
80	28,6	571,5	348,0	1143,0	1514,0	3616
90	32,3	644,0	390,2	1286,0	1703,0	4170
100	35,7	715,0	434,0	2428,0	1892,0	4524

Химический состав подземных вод зависит от состава и количества растворенных в ней компонентов. По данным О.А.Алекина природные воды по преобладающему аниону разделяются на классы: гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный. В пределах каждого класса выделяются группы: кальциевая, магниевая, натриевая.

По общей минерализации (содержание солей в г/л) воды подразделяются на несколько типов:

пресные – 1,5 г/л; слабоминерализованные – до 10г/л; минерализованные от 10 до 40 г/л; сильно минерализованные > 40 г/л.

Контрольные вопросы

1. Что такое глинистый раствор?
2. Основные признаки глинообразующих минералов.

3. Особенности структуры каолинита.
4. Особенности структуры гидрослюды, палыгорскита.
5. Особенности структуры монтмориллонита.
6. Что такое жесткость воды?
7. Классификация воды по жесткости.
8. Способы устранения жесткости воды.

3. Физико-химические основы формирования структур глинистых растворов

Основные свойства глинистых растворов – кинетическая и агрегативная устойчивость, их вязкость, дисперсность, набухание, структурообразование и тиксотропия связаны с физико-химическими взаимодействиями в системе глина-вода.

Характер этого взаимодействия особенно увеличивается в момент приготовления раствора, когда происходит диспергирование глинистых частиц и повышается их активность к ионному обмену и процессу гидратации.

При приготовлении глинистого раствора происходит разделение кристалла глины прежде всего в местах наименьшего сопротивления, т. е. на плоскостях спайности, где действуют слабые молекулярные силы между одноименно заряженными алюмосиликатными слоями.

Разрушение кристаллической решетки в направлении перпендикулярном плоскости спайности, т.е. на плоскостях спайности требует значительных затрат энергии для разрыва валентных связей между ионами. Поэтому поверхностная энергия у частиц глины распределена неравномерно: на ребрах кристалла, в местах разрыва валентных связей она значительно больше, чем на плоскостях спайности. Следовательно, чем больше площадь ребер у глинистых частиц, тем больше некомпенсированных валентных связей находится на поверхности частиц и тем больше сумма обменных катионов глин. В глинистых минералах группы каолинита, гидрослюды и палыгорскита нарушение связи является главной причиной ионообменной способности. Емкость катионного обмена монтмориллонитов является главным образом результатом замещения внутри кристаллической решетки и в незначительной мере до 20 % - результатом нарушения связи /3/.

Наличие обменных катионов внутри кристаллической решетки монтмориллонита, является специфическим свойством бентонита, свидетельствующим об активности плоскостей его частиц и высокой их способности адсорбировать воду.

Состав обменных катионов, насыщающих глину, может изменяться под действием солей, содержащихся в воде, на которой приготовляется глинистый раствор.

В воде ионогенные группы, расположенные на поверхности глинистых частиц, диссоцируют. На катионы ионогенного комплекса действует электростатическое притяжение отрицательно заряженной поверхности минерала. Они удерживают катионы у глинистой частицы, а диполи воды увлекают катионы в окружающую среду. В результате диссоциации ионогенного комплекса частицы глин приобретают отрицательный заряд, а вокруг них в воде диффузно распределяются обменные катионы. Так образуется двойной электрический слой из отрицательного заряда поверхности глинистых частиц и положительного заряда катионов диффузного слоя.

Наличие двойного электрического слоя вокруг глинистых частиц определяет коллоидные свойства глинистого раствора и является важным фактором их агрегативной устойчивости.

При помещении глины в воду происходит процесс адсорбции воды на поверхности глинистых частиц. Первой стадией механизма адсорбции влаги является гидротация обменных катионов. Второй стадией процесса является гидротация поверхности силикатных слоев. Вода, гидратирующая эту поверхность, связана с глинистой частицей

менее прочно, чем вода, идущая на гидротацию обменных катионов. Степень гидротации глинистых частиц зависит от степени их ионизации. Например, частицы натриевого монтмориллонита имеют большую степень ионизации и сильнее гидротированы, чем частицы кальциевого бентонита.

Адсорбция большого количества воды на поверхности многочисленных высокодисперсных частиц приводит к уменьшению остаточного объема воды, поэтому высокодисперсные глины образуют высоковязкие суспензии. Таким образом, каждая частица глины представляет собой мицеллу, которая несет в себе гидратную оболочку и диффузно распределенный двойной электрический слой. Наличие двойного электрического слоя и гидратной оболочки вокруг глинистой частицы определяет агрегативную устойчивость и стабильность глинистого раствора.

Однако глинистые частицы находятся в непрерывном броуновском движении. В результате движения заряженной частицы в системе формируется электрокинетический потенциал, величина которого определяет кинетическую устойчивость глинистой суспензии.

В результате движения глинистые частицы могут соударяться ребрами и гранями (плоскостями). На ребрах глинистых частиц величина некомпенсированных молекулярных сил значительно выше, чем на гранях. Поэтому при благоприятном соударении частиц ребрами гидратные оболочки деформируются и под действием молекулярных некомпенсированных сил происходит соединение глинистых частиц и формирование сетчатого коагуляционного каркаса структуры глинистого раствора. Если глинистый раствор не перемешать и оставить в покое, то силы молекулярного взаимодействия между частицами в течении времени увеличиваются и происходит упрочнение структуры раствора во времени. Это свойство глинистого раствора называется тиксотропией. Прочность структуры глинистого раствора при измерении технологических параметров обычно характеризуются величиной статического напряжения сдвига (СНС). Очевидно, разность величин СНС во времени (через 1 и 10 мин) будет определять степень тиксотропии глинистого раствора.

Структурно-механические параметры промывочных жидкостей.

Промывочные жидкости характеризуются следующими параметрами, определяющими их качество: удельный вес, вязкость, водоотдача, толщина корки, статическое и динамическое напряжение сдвига, стабильность, содержание песка, содержание водородных ионов.

Водоотдача определяет фильтрационные свойства промывочных жидкостей. Статическое и динамическое напряжение сдвига, эффективная и пластическая вязкости-реологические свойства.

Удельный вес- вес единицы объема промывочной жидкости. Удельный вес зависит от содержания твердой фазы выбуренной породы. С увеличением удельного веса возрастает гидростатическое давление промывочной жидкости на стенки скважины, что способствует повышению их устойчивости, и предотвращению нефте-газо водопроявлений.

Условная вязкость характеризует гидравлическое сопротивление промывочной жидкости прокачиванию, ее текучести. Вязкость зависит от состава и содержания глины, химических реагентов и минеральных солей, поступающих в раствор в процессе бурения.

С увеличением вязкости возрастают гидравлические сопротивления в циркуляционной системе, повышается способность раствора закупоривать поры и трещины в стенках скважины.

Водоотдача характеризует фильтрационные свойства промывочных жидкостей, их способность отфильтровывать жидкую фазу под действием перепада давления.

Водоотдача зависит от состава твердой фазы, присутствия химических реагентов и минеральных солей в промывочной жидкости. С уменьшение водоотдачи повышается устойчивость малосвязанных и сильно трещиноватых пород, слагающих стенки скважин.

Реологические характеристики.

Статическое напряжение сдвига – величина касательного напряжения, возникающие на боковой поверхности внутреннего цилиндра, погруженного в промывочную жидкость наружного цилиндра, вращающегося во времени измерения со скоростью 0,2 об/мин.

Характеризует прочность тиксотропной структуры, возникающей в покоящемся растворе , и интенсивность упрочнения во времени (тиксотропность, равную θ_{10}/θ_1, где θ_{10}и θ_1 - статическое напряжение сдвига через 10 минут и 1 минуту).

С увеличением статического напряжения сдвига повышается гидравлическое сопротивление и прокачиваемость промывочной жидкости и ее способность удерживать буровой шлам во взвешенном состоянии, ухудшается очистка промывочной жидкости от шлама.

Повышение СНС улучшает закупорку пор и трещин промывочной жидкостью и предотвращает ее поглощение.

Динамическое напряжение сдвига (τ_0в мгс/см^2) – постоянная составляющая касательных напряжений (не зависящая от градиента скорости). Характеризует прочность структуры, разрушение которой необходимо для поддержания потока.

Пластическая вязкость ($\eta_{\text{пл}}$) в сантипаузах- коэффициент пропорциональности между переменной составляющей касательных напряжений ($\tau - \tau_0$) и градиентом скорости сдвига (не зависит от скорости сдвига). Характеризует вязкостное сопротивление бурового раствора в потоке.

Эффективная вязкость ($\eta_{\text{э}}$) в сантипаузах – коэффициент пропорциональности между суммой переменной и постоянной составляющих касательных напряжений и градиентом скорости сдвига. Характеризует полное (прочностное и вязкостное) сопротивление промывочной жидкости в потоке, зависит от скорости сдвига.

Стабильность- способность раствора сохранять частицы твердой фазы во взвешенном состоянии и характеризует агрегативную устойчивость промывочной жидкости. Стабильность определяется разностью удельных весов промывочной жидкости, в верхней и нижней частях мерного цилиндра, во времени (по истечению суток).

Содержание песка характеризует степень загрязнения промывочных жидкостей грубодисперсными фракциями различного минерального состава. Песком (П в %) считают все мелкие обломки выбуренной породы (в том числе комочки переспустившейся глины).

Водородный показатель pH или концентрация водородных ионов характеризует щелочность или кислотность промывочной жидкости. Величина pH промывочной жидкости (или фильтрата) влияет на эффективность обработки химическими реагентами и регулированию ее свойств. Поэтому перед проведением химической обработки следует знать величину pH промывочных жидкостей.

Контрольные вопросы

1. Что такое двойной электрический слой?
2. Необходимое условие агрегативной устойчивости глинистого раствора.
3. Принципы формирования структуры глинистого раствора.
4. Что такое тиксотропия?
5. Основные структурно-механические параметры глинистого раствора.
6. Реологические характеристики глинистого раствора.

Химические реагенты для регулирования структурно-механических параметров промывочных жидкостей.

Для получения промывочных жидкостей с требуемыми свойствами их обрабатывают химическими реагентами. Необходимость таких обработок определяется геологическими условиями разреза скважин. Основными факторами, ухудшающими свойства промывочных жидкостей, является минерализация, увеличение твердой фазы, высокие забойные температуры и давление.

Минерализация промывочных жидкостей происходит в следствие проявления пластовых вод, при разбуривании солей хлоридов натрия калия (каменная соль, карналлит и др.), сульфатов (ангидритов, гипсов) и др. минерализация вызывает изменение большинства параметров промывочных жидкостей. Увеличение твердой фазы (обогащение выбуренной породы) происходит при бурении глинистых пород и при алмазном бурении скальных пород, образующих высокодисперсный шлам. Это приводит к увеличению удельного веса, вязкости, снс.

Забойные температуры и давление, влияют как на фильтрационные, так и на структурно-механические свойства промывочных жидкостей.

Химические реагенты, применяемые для обработки промывочных жидкостей, можно разделить по их основному действию и назначению на следующие группы:

1. Защитные коллоиды;
2. Электролиты;
3. Понизители вязкости;
4. Поверхностно активные вещества;
5. Смазочные добавки.

Защитные коллоиды.

Защитные коллоиды – это высокомолекулярные соединения органического (УЩР, ТЩР, КМЦ, ССБ, крахмал) и неорганические (К-4, РС-2, гипан, метас, М-14), происхождения, обладающие высокими гидрофильными свойствами. Эти реагенты хорошо растворяются в воде и при адсорбции на частицах твердой фазы промывочной жидкости образуют сольватные защитные слои, которые предохраняют частицы от слипания и способствуют стабилизации промывочной жидкости (реагенты стабилизаторы).

Образуемые в элементарных частицах глины защитные слои, а также коллоидные частицы реагентов снижают проницаемость (пористость) фильтрационных корок, повышается их плотность, в связи с чем снижается водоотдача промывочных жидкостей (реагенты – понизители водоотдачи).

Защитные коллоиды, адсорбируясь на активных участках глинистых частиц (гранях и ребрах), уменьшают их связь (сцепление) друг с другом снижая вязкость и статическое напряжение сдвига (понизители вязкости).

Защитные коллоиды органического происхождения

УЩР – углещелочной реагент состоит из 100-150 кг сухого бурового угля и 10-30 кг каустической соды (*NaOH*). Для малоколлоидных кальциевых глин содержание бурового угля составляет 10 %, а *NaOH* – 2,5 %, а для высококоллоидных натриевых глин содержание бурового угля- 10-15 % и *NaOH*- 1,8-2,0 %. Максимум стабилизирующего действия УЩР достигается при pH=11-12. В кислой среде молекулы УЩР свертываются в глобулы. УЩР снижает водоотдачу, вязкость, СНС. УЩР чувствителен к действию многовалентных катионов кальция и магния, которое сопровождается ростом водоотдачи и выпадением твердой фазы в осадок. Рабочая концентрация реагента составляет 10-20 %.

Сульфит – спиртовая барда (ССБ) является отходом целлюлозно-бумажного производства. Жидкая ССБ содержит не менее 50 % сухого вещества и не более 50 % воды, плотность ее равна 1,28-1,3 г/см^3. Твердая ССБ содержит 75 % сухого вещества и 25 % воды.

Действующими агентами в щелочном реагенте из ССБ являются натриевые соли лигносульфоновых кислот.

Обычно реагенты из ССБ приготавливаются следующего состава: для слабоминерализованных вод – 300 г ССБ и 40г *NaOH* на 1 литр раствора, а для сильноминерализованных вод 300г ССБ и 60г *NaOH* (ССБ дается в пересчете на сухое вещество, каустическая сода - в твердом виде).

ССБ снижает водоотдачу, вязкость, СНС. Эффективность действия ССБ повышается в соленной воде. Основным недостатком ССБ является способность к пенообразованию. Рабочая концентрация ССБ 1-5 % в пересчете на сухое вещество.

Конденсированная сульфит - спиртовая барда (КССБ) - является продуктом конденсации сульфит - спиртовой барды (ССБ) с формальдегидом и фенолом в кислой среде, с последующей нейтрализацией *NaOH* до pH=6-7. КССБ выпускается в виде порошка или в виде 20-25 % водного раствора двух составов: с нормальным (КССБ) и с повышенным содержанием фенола (КССБ-1, КССБ-2, КССБ-4). Реагент КССБ-4 предназначен для использования в условиях большой минерализации (свыше 10 % солей) и при температурах выше 130 ℃ .

КССБ предназначен для уменьшения водоотдачи и снижения вязкости растворов различных типов (известковых, хлоркальциевых), а также минерализованных.

Рабочая концентрация КССБ 1-3 % в пересчете на сухое вещество.

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) - является натриевой солью целлюлозогликолевой кислоты. Она представляет собой волокнистое вещество желтоватого цвета - КМЦ 300; КМЦ 350 или рассыпчатое твердое вещество кремового цвета КМЦ 400; КМЦ 500; (300, 350, 400, 500- число полимеризации). С увеличением числа полимеризации повышается солестойкость КМЦ. Добавка КМЦ в пресные растворы загущает их, а в соленые- разжижает. Эффективно снижает водоотдачу. Оптимальная pH для использования КМЦ – 6-9. При pH$<$ 6 КМЦ выпадает в осадок. При pH$>$ 9 макромолекулы КМЦ склонны к свертыванию под действием *NaOH*.

Волокнистую КМЦ применяют в виде водного раствора 5-10 % концентрации, приготовляемого в глиномешалке, а рассыпчатую – в сухом виде.

Рабочие концентрации КМЦ для пресных сред 0,5-0,75 %, соленных сред- 1-2 %.

Модифицированный крахмал (МК-1) - является наиболее эффективным реагентом в условиях минерализации, в том числе и при хлоркальциевой агрессии. Этот реагент представляет собой порошок с влажностью 8-12 %, растворимый в холодной воде.

Приготовление МК-1 путем высушивания при температуре 130-160 ℃ суспензии обычного технического крахмала, содержащего алюмокалиевые квасцы - антисептическое (противозагнивающее) вещество. Реагент применяется в сухом виде.

Для обработки раствора иногда используют обычный технический крахмал с предварительной клейстеризацией – в виде щелочного водного раствора (крахмальный реагент КР). Количество щелочи составляет 1-1,5 % (на сухое вещество) для неминерализованных вод, 2-4 % для минерализованных вод. Недостаток КР – способность к загниванию.

Рабочая концентрация МК-1, 0,5-3 % по весу от объема в пересчете на сухое вещество. Добавки МК-1 и КР вызывают повышение вязкости раствора, поэтому его применяют совместно с ССБ.

Защитные коллоиды, полученные синтетическим путем.

Акриловые полимеры: гипан, полиакриламид, К-4, метас, сополимер М-14. Отличаются повышенной стойкостью к высоким температурам и минерализации. То обусловлено химическим строением молекул полимеров, наличием в главной цепи углеводородной связи и функциональных амидных и карбоксильных групп.

Гипан – гидролизованный полиакрилнитрил – предназначен для снижения водоотдачи неминерализованных, минерализованных поваренной солью или сульфатом натрия и известковых промывочных жидкостей. Различают две модификации гипана: гипан-1 и гипан-0,7.

Из двух марок большей стабилизирующей способностью обладает гипан-0,7.

Реагент представляет 10 % раствор жидкости, желтоватого цвета.

Гипан весьма чувствителен к солям кальция и других поливалентных металлов. Оптимальные значения pH, при которых гипан является наиболее эффективным, равны 10-12. При больших значения pH или при pH близким к 7, как указывает Э. Г. Кистер реагент может оказывать коагулирующее действие. Гипан сильно загущает пресные буровые растворы. При длительном хранении и при действии низких температур снижаются стабилизирующие действия гипана.

Рабочая концентрация реагента 0,5-2 %. С увеличением минерализации повышается концентрация реагента.

К-4 получают в результате неполного гидролиза полиакрилнитрила в присутствие щелочи. По стабилизирующим свойствам мало отличается от гипана 0,7.

Свежеприготовленный К-4 обладает устойчивым запахом аммиака (нашатырного спирта). По мере хранения запах ослабевает. Перед применением этих реагентов со слабым запахом необходимо произвести проверку на их эффективность в качестве понизителей водоотдачи промывочных жидкостей.

При добавке 0,5-0,3 % К-4 в неминерализованные глинистые растворы резко снижает водоотдачу и СНС. Ростом концентрации К-4 стабилизирующее действие усиливается. Более устойчив к действию $CaCl_2$, чем гипан. Несколько дешевле гипана. Затрудненно применение в холодное время.

РС-2- гидролизованный полиакриламид- ГПАА получают путем гидролиза полиакриламида (ПАА) в присутствии щелочи или кальцинированной соды и триполифосфата натрия.

Для этого в глиномешалку объемом 4м^3 загружают 600 кг 8 % водного раствора полиакриламида, 60 кг $NaOH$ и 60 кг триполитфосфата натрия ($Na_5P_3O_{10}$). Остальной объем мешалки заполняют водой. Готовый реагент имеет концентрацию полиакриламида 1,5-2 %. Реагент PG-2 наиболее целесообразно применять для снижения водоотдачи неминерализованных промывочных жидкостей с низким содержанием твердой фазы (глины 2-4 %) и естественных суспензии. Для снижения водоотдачи слабоминерализованных промывочных жидкостей целесообразно применять реагент РС-4, представляющий собой гидродизованный полиакриламид с добавками кальцинированной соды.

Гидролизованный полиакриламид весьма чувствителен к ионам кальция и других поливалентных металлов. Оптимальные добавки РС-2 и РС-4 колеблются от 0,2-0,5% (в пересчете на сухое вещество).

Метас - метакриловый сополимер – продукт сополимеризации метакриловой кислоты и метакриламида.

Метас представляет собой порошкообразный препарат белого цвета, трудно растворимый в воде, но хорошо растворимый в щелочной среде небольшой концентрации. Вязкость 2% водно-щелочного раствора метаса превышает 60 спз. Наиболее эффективно применение такого, метаса для стабилизации малоглинистых или безглинистых

промывочных жидкостей. Наиболее активен метас при pH = 9,0-12,0. При pH близких к 7,0 добавки метаса резко загущают промывочные жидкости.

М-14- сополимер метакриловой кислоты с метакриламитом. Представляет собой мелкогранулированный порошок белого цвета, растворимый в водных растворах щелочи. Рекомендовано приготовлять водно-щелочные растворы реагента 5-6 % концентрации при соотношении М-14 к щелочи от 1:0,3 до 1:0,5 (на воздушно-сухое вещество), в зависимости от щелочности обрабатываемой промывочной жидкости. Перед обработкой М-14 в промывочной жидкости определяется содержание ионов кальция и магния. При содержании последних 0,1 % и более для их удаления из системы необходимо применение кальцинированной соды. Расход реагента на химическую обработку неминерализованной промывочной жидкости для снижения водоотдачи до 4-5 $см^3$ составляет 0,5-0,75 % при первичной обработке и 0,1-0,2 % (в пересчете на сухой реагент) при последующих обработках. При повышении минерализации (вплоть до полного насыщения поваренной солью) расход М-14 возрастает до 1,5 %. Гарантийный срок хранения сополимера М-14- один год со дня изготовления.

Электролиты

При обработке или насыщении промывочных жидкостей электролитами происходят обменные процессы между ионами частиц глины и ионами электролитов.

Эффект обработки электролитами зависит от типа и концентрации добавляемых в раствор электролитов (ионов) и их свойств (например, валентности). Стабилизация растворов (снижение водоотдачи) происходит, когда одновалентные катионы Na^+, Li^+ замещают у поверхности частиц глины двухвалентные или многовалентные катионы Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}. При замещении ионов Ca^{2+}, Mg^{2+} других ионами Na^+, Li^+ происходит структурообразование и коагуляция промывочных жидкостей.

Анионы OH^- и CO_3^{2-}- электролитов $NaOH$ и Na_2CO_3 способствуют стабилизации промывочных жидкостей, а анионы Cl^- электролитов $NaCl$ и $CaCl_2$- структурообразованию и коагуляции.

Кальцинированная сода Na_2CO_3 является одним из наиболее употребляемых реагентов. Она дает возможность получать пригодные для бурения растворы из местных комовых глин, которые без химической обработки не могут быть использованы. Кальциевые глины при обработке кальцинированной содой переходят в хорошо набухаемые и легко диспергируемые натриевые глины, дающие качественные растворы.

Кальцинированная сода - белый мелкокристаллический порошок плотностью 2,5 $г/см^3$. Является одним из основных средств для осаждения ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}- смягчения жесткой водопроводной и пластовой воды.

Она применяется для связывания ионов Ca^{2+} в минерализованных растворах, а также растворах, содержащих гипс, ангидрид, цемент.

Кальцинированная сода применяется также для повторных обработок промывочных жидкостей, ранее обработанных УЩР. В этом случае оно выполняет роль понизителя вязкости и водоотдачи.

Каустическая сода (едкий натр) $NaOH$ поступает на буровые в твердом виде (в железных барабанах по 100-200 кг*)* или в виде водного раствора - тяжелой (густой) жидкости различной плотности.

Плотность твердой каустической соды 2,02 $г/см^3$. При получении ее в жидком виде, определив плотность можно подсчитать концентрацию. Для этого также можно пользоваться соответствующими таблицами.

Каустическая сода действует на показатели промывочной жидкости подобно кальцинированной соде. Однако она не обладает способностью удалять из раствора ионы кальция и магния. Она значительно дороже кальцинированной соды и как самостоятельный реагент применяется мало.

Каустическая сода широко применяется для получения щелочных реагентов: УЩР, ТЩР, ССБ, РС-2, СГ и др.

Жидкое стекло (силикат натрия или калия). В бурении в основном применяют натриевое жидкое стекло ($Na_2O_nSiO_2$) с модулем $n = \frac{SiO_2}{Na_2O}$= 2,6 - 2,8.

Водный раствор силиката натрия представляет собой вязкую жидкость от светло-желтого до желто-коричневого и серых цветов.

Жидкое стекло применяют, как правило, при борьбе с поглощениями как для повышения вязкости и статического напряжения сдвига промывочных жидкостей, так и в качестве структурообразователя быстросхватывающихся тампонажных смесей.

При добавлении жидкого стекла к буровому раствору (до 3-5 % но массе от объема) значительно повышаются вязкость и статическое напряжение сдвига. Жидкое стекло способствует повышению pH промывочной жидкости до 12 и выше. С его применением приготовляют ингибированные промывочные жидкости – силикатные, силикатно-глинистые.

Поваренная соль (*NaCl*) - хлорид натрия используется для улучшения структурно-механических свойств глинистых и карбонатно-глинистых растворов, обработанных защитными коллоидами, в частности УЩР.

Насыщенные растворы поваренной соли используются при проходке пластов каменной соли, в которых вода или пресный буровой раствор, растворяя стенки скважины, образует каверны. применяют также при бурении в сильно набухающих глинах. *NaCl* применяется как компонент различных солевых растворов.

Известь $Ca(OH)_2$ используется для обработки промывочных жидкостей. При введении 3-5 % $Ca(OH)_2$ к объему промывочной жидкости, значительно повышается вязкость последней. Хорошие результаты дает обработка известью буровых растворов, потерявших восприимчивость к химическим реагентам. При этом получаются известковые растворы.

Известь применяется как составная часть для приготовления известковых кальциевых растворов совместно с каустической содой и защитными коллоидами. Известь поставляет ионы Ca^{2+} в буровой раствор и служит также для регулирования pH.

Комплексные фосфаты (полифосфаты) - это натриевые соли ортофосфорной кислоты: гексаметофосфат, пирофосфат, триполифосфат. Белые кристаллические порошки хорошо растворимые в воде. Добавка к глинистому раствору более 1-1,2 % их вызывает загустевание раствора. При меньших концентрациях они применяются как понизители вязкости. Полифосфаты способны эффективно пептизировать в водной среде глинистые агрегаты, и в то же время стабилизировать их, препятствуя обратному агрегированию и структурообразованию. В соответствии с этим полифосфаты, снижая предельное статическое напряжение сдвига, активно разжижают глинистые растворы. Обязательным при этом является соблюдение pH среды порядка 9.

Понизители вязкости

Понизители вязкости служат для регулирования реологических свойств промывочных жидкостей, что способствует их прокачиваемости, снижению гидравлического сопротивления в скважине, более полной очистки их от шлама.

Применение понизителей вязкости исключает необходимость разбавления глинистого раствора водой, которая обычно ухудшает фильтрационные и структурно-механические параметры глинистого раствора. К понизителям вязкости относятся конденсированные фенолы (ПФЛХ) и лигносульфонаты (игетан, окзил, ФХЛС, КССБ).

При введении в глинистый раствор реагенты адсорбируются на активных участках глинистых частиц; экранируют коагуляционно активные участки, предотвращая агрегирование глинистых частиц и ослабляют их структуру. В результате этого снижается вязкость и особенно интенсивно статическое напряжение сдвига.

Щелочь, входящая в состав реагентов, увеличивает емкость обмена, придавая мицеллам реагента развернутую конформацию, способствует стабилизации глинистых растворов.

ПФЛХ – полифенол лесохимический получают из фенольных экстрактов кислых вод методом конденсации. Готовый реагент представляет собой темно-коричневое твердое вещество.

ПФЛХ применяют в виде 5-10 % растворов в соотношении с щелочью от 1:0 до 1:0,5. Реагент проявляет себя как высокоэффективный понизитель вязкости пресных буровых растворов. Действие ПФЛХ оптимально при РН=9-11. Минимальные добавки, вызывающие разжижение глинистого раствора - 0,2-0,3 % (в пересчете на сухое вещество). При больших концентрациях ПФЛХ снижает водоотдачу до 0,5-3 $см^3$.

Игетан – продукт омыления окисленного лигнина кальцинированной содой. Это твердое вещество темно-коричневого цвета хорошо растворимое в воде. Эффективное разжижение промывочных жидкостей различных плотностей и минерализации достигается вводом 0,2-0,5 % игетана.

В присутствии в промывочных жидкостях небольших количеств солей кальция и магния эффективность применения игетана значительно возрастает.

В пресных и слабоминерализованных промывочных жидкостях добавки до 2,0-2,5 % игетана, наряду с разжижением, обуславливают эффективное снижение водоотдачи.

Окзил. Представляет собой продукт, полученный при взаимодействии кальциевой СОБ с бихроматом калия или натрия в кислой среде, с последующей частичной нейтрализацией до pH=3,5-4,5. Реагент выпускается в жидком виде с содержанием сухого вещества 25-27 %. С помощью окзила можно регулировать вязкость и реологические свойства пресных, минерализованных, известковых, гипсовых, хлоркальциевых промывочных жидкостей. Реагент обладает достаточно высокой эмульгирующей способностью.

Добавление 0,5-1 % окзила (в расчете на сухое вещество) в неминерализованные промывочные жидкости понижает их водоотдачу. При химической обработке минерализованных промывочных жидкостей окзил применяют в различных комбинациях с другими реагентами (КМЦ, ССБ, гипаном и др.), что повышает эффективность их действия.

Оптимальные добавки окзила, обуславливающие эффективное разжижение глинистого раствора колеблются от десятых долей до 1 % (в расчете на сухое вещество) в зависимости от минерализации промывочной жидкости, содержания в ней твердой фазы и т. д.

Наибольшая эффективность окзила достигается при pH-9-10. ФХЛС (феррохромлигносулъфонат) представляет собой полимер нерегулярного строения, в котором хром и железо находятся в трехвалентном состоянии и связаны в макромолекуле лигносульфоната в виде сложных комплексов.

ФХЛС представляет собой сыпучий порошок коричневого цвета, полностью растворимый в воле. Реагент выпускается Карабулакским химическим заводом (Средняя Азия).

Реагент вводится в циркулирующую промывочную жидкость в виде 30-40 %-го водного раствора или в виде порошка. Одновременно с ФХЛС в промывочную жидкость вводится каустическая сода в количествах, достаточных для поддержания pH в пределах 8,5-9,5. Обычно каустической соды требуется около 20 % от веса ФЛХС в расчете на сухое вещество. Порошкообразный ФХЛС является эффективным понизителем вязкости пресных и минерализованных промывочных жидкостей. Для пресных и среднеминерализованных (до 10-15 % *NaCl*) промывочных жидкостей ФХЛС является также понизителем водоотдачи. Промывочные жидкости, обработанные ФХЛС стабильны при попадании в них гипса, умеренных количеств соли, цемента.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ)

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – это, понижающие поверхностное натяжение на границах раздела различных фаз: жидкость-газ, жидкость-жидкость, жидкость – твердое тело.

ПАВ, адсорбирующие на границе раздела фаз жидкость-газ, и, понижающие поверхностное натяжение в пограничном слое, относятся к группе пенообразователей. Они широко применяются для получения аэрированных промывочных жидкостей и борьбе с сальникообразованиями при бурении в обводненных породах с продувкой воздухом. ПАВ – пенообразователи: ПО-1, сульфонол, НП-1, сульфонол А и Б, азолят А и др.

ПАВ, понижающие поверхностное натяжение на границе раздела двух жидкостей. различных по своим физическим свойствам (например, вода-масло), составляют группу эмульгаторов-стабилизаторов эмульсий. В состав эмульсолов входят такие неионогенные ПАВ, как ОП-7, ОП-10. В качестве смазывающих добавок применяются коллоидные ПАВ: ОСГ, ВЖС, кожпастол, мылонафт, ОСЖК и др.

ПАВ, понижающие поверхностное натяжение на границе раздела жидкость-твердое тело и снижающее прочность твердого тела (горной породы), относятся к группе понизителей твердости горных пород: дисольван, превацелл, сульфонол и др.

Проявление тех или иных свойств ПАВ, определяющих область их применения, их способность изменять свойства поверхности, на которой они адсорбируются, зависит от состава ПАВ, их молекулярного строения и физико-химических свойств среды.

ПАВ по своему составу делятся на четыре основных вида: 1) анионоактивные; 2) катионоактивные; 3) неионогенные; 4) амфотерные.

Анионоактивные ПАВ диссоциируют в водном растворе с образованием отрицательно заряженного органического иона и положительного иона металлического и металлоподобного характера, который обуславливает растворимость ПАВ. К числу анионоактивных ПАВ относятся сульфаты первичных и вторичных спиртов, алкилсульфонаты, сульфонаты и др. (например: ПО-1, ДС-РАС, сульфонол НП-1 и др.) Схема диссоциации:

$$RCOONa \leftrightarrows RCOO^- + Na^+$$

Катионоактивные вещества при диссоциации в воде образуют положительно заряженные поверхностно-активные ионы (катионы). К ним относятся катионы А, выравниватель А, карбозол О и др.

$$RNH(CH_2)_nCOO^- \leftrightarrows RNH(CH_2)_nCOOH \leftrightarrows RNH_2(CH_2)_2COOH^+.$$

Амфотерные ПАВ содержат две функциональные группы, одна из которых имеет кислый, другая основной характер, например, карбоксильную и аминную группы. В зависимости от среды амфотерные соединения обладают анионоактивными либо катионоактивными свойствами:

щелочная среда кислая среда

$$RNH(CH_2)_nCOO^- \rightleftarrows RNH(CH_2)_nCOOH \rightleftarrows RNH_2(CH_2)_nCOOH$$

анионные свойства катионные свойства

Неионогенные ПАВ, растворяясь в воде, не образуют ионов. Растворимость их в воде определяется кислородосодержащими группами – эфирными и гидроксильными, которые образуют водородные связи с молекулами воды. Обычно это продукты

конденсации окиси этилена с полярными органическими веществами, содержащими подвижный атом водорода (ОП-4, ОП-7, ОП-10).

Анионоактивные ПАВ чувствительны к действию катионов поливалентных металлов, поэтому в минерализованных водах они выпадают в осадок.

Катионоактивные ПАВ обладают повышенной адсорбцией на глинистых частицах, вызывают резкую коагуляцию глинистых растворов. Поэтому их применение сопряжено с определенными трудностями.

Неионогенные ПАВ устойчивы к действию минерализованных вод и в большей степени способствуют смачиваемости породы водой, чем ионогенные ПАВ.

Контрольные вопросы

1. Принципы коллоидной, защиты,
2. Назовите реагенты-защитные коллоиды органического происхождения
3. Назовите реагенты-защитные коллоиды, полученные синтетическим путем.
4. Механизм действия реагентов-электролитов.
5. Назовите реагенты-электролиты и область их применения.
6. Механизм действия реагентов-понизителей вязкости.
7. Назовите реагенты-понизители вязкости и область их применения.
8. Что такое поверхностно-активное вещество (ПАВ)?
9. Классификация ПАВ по химическому составу.
10. Дайте общую характеристику каждой группе ПАВ.

Работа 1

Изучение контрольно- измерительной аппаратуры и определение структурно-механических параметров глинистых растворов

Цель работы: научить студентов самостоятельно измерять параметры глинистого раствора на контрольно-измерительной аппаратуре.

Оборудование и материалы для выполнения работы:

1) ареометр АГ-2;
2) вискозиметр СПВ-5;
3) вискозиметр ВСН-3;
4) прибор ВМ-6;
5) бланки с логарифмической шкалой;
6) фильтровальная бумага;
7) прибор СНС-2;
8) отстойник ОМ—2;
9) цилиндр ЦС-2;
10) секундомер;
11) кружки объемом 1-3 л.

Порядок выполнения

Изучить устройство приборов и методику измерения структурно-механических параметров.

Отобрав пробу глинистого раствора объемом 1 л, произвести измерение следующих параметров: 1) вязкости; 2) удельного веса; 3) водоотдачи; 4) содержания песка; 5) статического напряжения сдвига через 1 и 10 мин.

При этом условную и пластическую и эффективную вязкость следует определить 3 раза и рассчитать среднеарифметическую величину по уравнению:

$$\overline{\mathrm{T}} = \frac{\sum \mathrm{T}}{\eta} \tag{1}$$

где $\sum$ T- сумма результатов всех измерений; η - число измерений.

По уравнению:

$$\Delta = 3\sqrt{\frac{\sum(\mathrm{T}-\mathrm{T}_i)^2}{\eta-1}} \tag{2}$$

Сопоставляя полученное значение с каждым отклонением отдельного измерения от среднего арифметического, исключаем недоброкачественные измерения, для которых справедливо неравенство:

$$T_i - \bar{T} > \Delta \tag{3}$$

После исключения таких измерений вновь определяется среднее арифметическое по уравнению (1) и наибольшая ошибка отдельного наблюдения - по уравнению (2). Проверяется, все ли оставшиеся измерения являются доброкачественными, согласно неравенству (3) Определяем среднюю квадратичную ошибку средней арифметичес кой величины:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{T}-\mathrm{T}_i)^2}{n(n-1)}} = \frac{\Delta}{\sqrt{n}} \tag{4}$$

записываем полученный результат в виде

$$T = \bar{T} \pm \sigma_0$$

При этом вероятная ошибка среднего арифметического будет равна:

$$\tau_0 = 0{,}675 = \sigma_0$$

Водоотдачу промывочных жидкостей следует определить путем отсчета как промежуточных наблюдений через 1,2,3,4,5,10,15 и 20 минут, так и конечного результата за 30 минут. Следует обратить внимание на величину погрешности измерения, если

воспользоваться результатами наблюдений за первые пять минут и по ним с помощью бланков на логарифмической бумаге определить водоотдачу за 30 минут.

По уравнению:

$$p = \frac{\gamma_p - \gamma_t}{\gamma_r - \gamma_t} * \gamma_r \quad (5)$$

определить количество глины, содержащееся в глинистом растворе

Здесь р - количество глины в растворе, кг/л;

$\gamma_р$ и $\gamma_в$- удельные веса соотвветствввенно раствора и воды, г/см^3;

γ_r-удельный вес глины, г/см^3.

Для определения γ_r следует взять образец глины небольших размеров; взвесить его и с помощью мензурки, заполненной машинным маслом или керосином, определить объем образца. Отношение веса образца к его объему даст величину удельного веса глины.

Результаты измерений всех пяти параметров глинистого раствора следует привести в конце отчета по лабораторной работе.

Работа № 2

Химическая обработка, глинистых растворов реагентами-понизителями водоотдачи

Цель работы: научить студентов производить химическую обработку глинистых растворов реагентами-стабилизаторами и давать оценку действия каждого реагента.

Оборудование и материалы для выполнения работы:

1) комплект приборов для измерения структурно-механических параметров;
2)лабораторные весы;
3)секундомер;
4) реагенты: УЩР, КМЦ, КССБ, гипан, К-4 и др.(не менее 3-х реагентов);
5) мерные цилиндры на 25 или 50 см;
6) бюретки на 10 мл;
7) кружки объемом 1-3 л.

Порядок выполнения работы.

Первоначально готовится углещелочной или торфощелочной реагенты. Для этого в один литр воды следует растворить 20, 40 или 60 г кальцинированной соды, а также добавить 150, 300 или 450 г порошка бурового угля или торфа (каждой бригаде студентов из 2-3 человек преподаватель уточняет рецептуру реагентов). Для ускорения реакции взаимодействия желательно воспользоваться теплой водой.

Перед обработкой глинистого раствора реагент размешивается примерно 30 минут.

Взяв пробу свежеприготовленного глинистого раствора 1,5 л, замерить его вязкость Т, водоотдачу В, удельный вес γ, и статическое напряжение сдвига θ_1 и θ_{10}. Затем последовательно обрабатывать раствор углещелочным реагентом четыре раза в количестве 10 % объемных. После каждой обработки измерять водоотдачу раствора.

При определении объема ТЩР или УЩР, потребного для обработки раствора, учитывать изменение объема глинистого раствора, несмотря на то, что относительная концентрация вводимого реагента (10 %) не изменяется.

Результаты измерения водоотдачи при введении УЩР или ТЩР изобразить графически для следующих концентраций реагента 0; 10; 20; 30; 40 %. По оси абсцисс отложить концентрацию реагента, по оси ординат – водоотдачу.

При суммарной концентрации реагента в глинистом растворе 40 %, кроме водоотдачи произвести измерение удельного веса, вязкости и статического напряжения сдвига. Сопоставить начальные и конечные параметры глинистого раствора и обосновать их изменение. Для сравнения эффективности действия различных реагентов-понизителей водоотдачи следует воспользоваться более активными и универсальными реагентами КМЦ или ССБ и обработать свежеприготовленный глинистый раствор соответственно 0,5-1,0 % и 2-4 %. Сопоставить полученные результаты.

В виде выводов привести основные результаты работы.

Работа №3

Химическая обработка глинистых растворов реагентами–электролитами

Цель работы: научить студентов производить обработку глинистых растворов реагентами – электролитами и изучить действие каждого реагента на свойства глинистого раствора.

Оборудование и материалы на свойства глинистого раствора.

1) комплект приборов для измерения структурно-механических параметров глинистого раствора;

2) вискозиметр ВСН-3;

3) лабораторные весы;

4) секундомер;

5) реагенты: каустическая сода, кальцинированная сода, жидкое стекло, тринатрийфосфат;

6) бюретки на 10 мл;

7) мерные цилиндры на 25 мл;

8) кружки на 1-3л.

Порядок выполнения работы.

Производится измерение основных параметров свежеприготовленного глинистого раствора: вязкости условной, эффективной и пластической (Т, $\eta_э, \eta_{пл}$), водоотдачи, удельного веса и статического напряжения сдвига.

Затем проба емкостью 1 литр последовательно обрабатывается каким-либо одним реагентом. Для кальцинированной соды Na_2CO_3 следует воспользоваться 1 % концентрацией. После введения 10 г соды 3 раза измерить вязкость (Т, $\eta_э, \eta_{пл}$); затем после добавки еще одной порции 10 г повторно измеряется вязкость (Т, $\eta_э, \eta_{пл}$). Так исследование проводится до введения 5 % Na_2CO_3. В последнем случае измеряются и остальные параметры раствора.

Результаты измерений вязкости (Т, $\eta_э, \eta_{пл}$) при различной концентрации реагентов изображаются графически. По оси абсцисс отложить концентрацию реагента, по оси ординат – вязкость (Т, $\eta_э, \eta_{пл}$).

В случае обработки раствора каустической содой $NaOH$ диапазон концентрации реагента следует применять таким: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 %.

Химическая обработка глинистого раствора может проводиться путем совместного введения двух реагентов, например, каустической соды $NaOH$ и тринатрийфосфата Na_3PO_4. При этом концентрация какого-либо одного из реагентов принимается постоянной (например, $NaOH$ 2-4 %).

По результатам выполнения лабораторной работы сделать выводы относительно оптимальной концентрации реагентов. Дать обоснование полученному результату.

Работа №4

Приготовление и регулирование параметров естественных растворов

Естественные растворы на основе бурового шлама неглинистых пород могут быть получены из высокодисперсных частиц при достаточной их концентрации путем обработки суспензий поверхностно-активными веществами – стабилизаторами и реагентами-электролитами.

В лабораторных условиях для наработки потребного количества высокодисперсных частиц пород нужно использовать малогабаритную роторную мельницу.

Водные суспензии из неглинистых пород являются седиментационно неустойчивыми системами, в состоянии покоя они быстро расслаиваются на жидкую и твердую фазу.

Повысить устойчивость суспензий можно в основном за счет добавок реагентов-стабилизаторов и электролитов.

Поэтому выбор реагентов для регулирования свойств безглинистых растворов производится первоначально по исследованию их влияния на седиментационную устойчивость водных суспензий.

Оценка седиментационной устойчивости производится по объему выделившейся воды и частиц бурового шлама из суспензий за определенный промежуток времени.

Цель работы – научить студентов проводить стабилизацию водных суспензий из выбуренных пород и регулировать свойства естественных растворов.

Для проведения опыта необходимо иметь следующие приборы:

1) мерный цилиндр на 100 $см^3$;
2) секундомер;
3) лабораторные весы с комплектом разновесов;
4) фарфоровую чашку с резиновым пестиком;
5) буровой шлам, просеянный через сито с диаметром отверстий 0,10 мм;
6) миллиметровую бумагу для графиков;
7) комплект приборов для замера параметров промывочной жидкости.

Порядок выполнения работы.

Для приготовления естественных растворов в лабораторных условиях необходимо взять навеску в 10 г сухих неглинистых пород с размерами частиц менее 0,1 мм. Навеску поместить в фарфоровую чашку, смочить водой и растереть резиновым пестиком в течение 5 минут.

Пробу перелить в градуированный стеклянный цилиндр объемом 100 $см^3$ и долить водой до отметки 100 $см^3$. Цилиндр плотно закрыть резиновой пробкой и в течение двух минут суспензию тщательно перемешивать путем встряхивания. Затем, поставив цилиндр на горизонтальную поверхность, включить секундомер.

Через каждую минуту брать отсчеты по мерному цилиндру: сверху – объем выделившейся воды (W) в $см^3$, снизу – объем осевших грубодисперсных частиц (V) в $см^3$.

Отсчеты проводить через 1 мин в течение 10 мин. По истечении 10 мин взять последний отсчет за 15 минут (с учетом 10 мин) и все результаты измерений занести в таблицу:

Время, мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Объем выделившейся воды, $см^3$ (W)											
Объем осевших грубодисперсных частиц, $см^3$ (V)											

Результаты наблюдений представляют графически в виде зависимости объема осадка частиц горных пород в нижней части *V* и количества выделившейся воды в верхней части цилиндра *W* от времени *t*.

Каждой бригаде рекомендуется преподавателем какой-либо реагент-стабилизатор для работы (КМЦ, ССБ, УЩР). Оценить седиментационную устойчивость водных суспензий при добавке КМЦ в количестве 2,3 % и 5 %, ССБ – 5, 8 и 10 %, УЩР -10, 15, 20 %.

На основании анализа графиков выбрать оптимальную концентрацию реагента, при которой будут минимальными значения *W* и *V*.

Приготовить водную суспензию с 10 % - концентрацией бурового шлама в объеме 700 $см^3$. Ввести в суспензию оптимальную концентрацию реагента – стабилизатора и определить все параметры – *T, γ, B, K.*

Полученные результаты измерений сопоставляются с параметрами глинистых растворов. Отмечаются отклонения величин различных параметров и целесообразные границы применения естественных растворов в разведочном бурении скважин.

Работа №5

Приготовление и регулирование параметров аэрированных жидкостей

Аэрированные жидкости – это трехфазные системы, в которых жидкая фаза насыщена пузырьками воздуха. Для облегчения процесса аэрации и повышения стабильности аэрированных жидкостей в них вводят поверхностно-активные вещества – пенообразователи (ПАВ).

ПАВ, адсорбируясь на границе раздела жидкой и газовой фазы, повышают дисперсность пузырьков воздуха и устойчивость аэрированного раствора.

Выбор ПАВ для приготовления и регулирования свойств аэрированного раствора производится первоначально по устойчивости и кратности пены с учетом жесткости воды и химического состава растворенных солей.

Устойчивость пены характеризуется временем выделения 50% воды от исходного объема раствора до аэрации.

Кратность пены характеризует пенообразующие свойства ПАВ и представляет отношение объема аэрированного раствора к исходному объему раствора ПАВ.

Цель работы – научить студентов производить оценку пенообразующией способности ПАВ и регулировать параметры аэрированных жидкостей.

Для проведения опыта нужно иметь следующие приборы и материалы:

1) химические реагенты: ПО-1, сульфонол и ССБ;
2) мерные цилиндры на 100 см^3;
3) пипетки на 5 и 10 мл;
4) пропеллерная мешалка с мерным стаканом емкостью 1 л;
5) секундомер;
6) комплект приборов для замера параметров промывочной жидкостей;
7) кружки на 1л.

Порядок проведения опыта следующий:

Приготовить растворы ПАВ в объеме 100 см^3 с концентрациями реагентов:

1) ПО-1 или сульфонол – 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5%.
2) ССБ – 1,2,3,4,5%.

В мерный стакан мешалки залить раствор ПАВ заданной концентрации и перемешать в течение 30 секунд.

Затем выключить мешалку и определить объем аэрированного раствора. Разделив этот объем на 100, получают кратность пены.

Время, истекшее с момента выключения пропеллерной мешалки до момента, когда из раствора выделится 50 см^3 жидкой фазы, является устойчивостью пены.

Результаты наблюдений представляются в виде таблицы:

Концентрация ПАВ, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Объем пены, см^3					
Устойчивость пены, сек.					

На основании табличных данных построить графики, откладывая по оси абсцисс – концентрацию ПАВ в %, по оси ординат – устойчивость пены и ее кратность. Согласно графическим зависимостям выбирается оптимальная концентрация ПАВ в растворе.

В соответствии с выбранной концентрацией приготовить в объеме 1 л аэрированный раствор (по заданию преподавателя аэрируется глинистый или естественный раствор).

Затем определяются параметры полученного раствора: *T,* γ*, B, K,* θ_1, θ_{10}. При этом, если с помощью стандартного ареометра удельный вес замерить не удается, то это делается простым путем, взвешивая определенный объем раствора и деля полученный вес

на объем. Водоотдачу аэрированного раствора определяют вакуумным методом или с помощью модернизированного прибора ВМ-6М.

Полученные результаты исследований анализируют и дают оценку качества аэрированного раствора.

Работа №6

Приготовление и регулировании параметров утяжеленных промывочных жидкостей

Утяжеленные буровые растворы применяются для предотвращения водо-газо-нефтепроявлений и при бурении в соляных толщах для подавления пластического течения соли.

Чтобы предотвратить выбросы воды, нефти и газа из скважины, утяжеленный раствор должен обеспечивать такое гидростатическое давление, которое бы превышало давление в пласте на 10 %.

В качестве утяжелителей применяют инертные минеральные вещества с достаточно высоким удельным весом, от 2,5 до 7 г/см^3: барит, железные руды (гематит и магнетит) и железные отходы (колошниковая пыль и пиритовые огарки), мел, доломит, известняк, концентраты свинцовых руд и т. д.

Утяжелители должны отвечать следующим требованиям: быть инертными веществами (не иметь химических примесей, ухудшающих свойства буровых растворов), обладать малой абразивностью, иметь достаточно высокую дисперсность частиц (число частиц в 1г - $350 \div 400 \times 10^8$ или средний эквивалентный диаметр частиц около 2,5 мк)

Такие утяжелители как мел, доломит и известняк позволяют утяжелить раствор до γ =1,7 г/см^3.

Железистые утяжелители обладают рядом недостатков: высокая абразивность, наличие агрессивных примесей: окислов железа, сульфидов и сульфатов, которые ухудшают свойства буровых растворов.

Наилучшими качествами и высокой утяжеляющей способностью обладают барит, который позволяет получать утяжеленные растворы с γ = 2,2-2,4 г/см^3.

Цель работы – изучить студентов утяжелять глинистый раствор и производить регулирование его структурно-механических свойств.

Оборудование и материалы для выполнения работы:

1) комплект приборов для измерения параметров промывочных жидкостей;
2) секундомер;
3) лабораторные весы;
4) пикнометр;
5) реагенты: барит, гематит, мел;
6) кружки на 1л.

Выполнение работы

Для утяжеления необходимо приготовить качественный глинистый раствор с достаточно прочной структурой $\theta = 20 - 40$ мг/см^2 и В = 10 см^3/30 мин.

Необходимо измерить все параметры исходного раствора.

Затем задается удельный вес, до которого нужно утяжелить глинистый раствор.

Расчетное количество утяжелителя в кг необходимое для утяжеления 1л раствора, определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{УТ}} = \frac{\gamma_{\text{УТ}}(\gamma_{\text{УТ.Р.}} - \gamma_{\text{Р}})}{\gamma_{\text{УТ}} - \gamma_{\text{УТ.Р.}}}$$

где $\gamma_{\text{Р}}$, $\gamma_{\text{УТ.Р.}}$ - удельный вес глинистого раствора до и после утяжеления в г/см^3;

$\gamma_{\text{УТ}}$ – удельный вес утяжелителя.

Расчетное количество утяжелителя взвешивается на аналитических весах и добавляется в глинистый раствор. Глинистый раствор с утяжелителем перемешиваются в лабораторной мешалке в течении 3-5 мин. Потом замеряется удельный вес и остальные параметры: *T, γ, B, K, θ_1, θ_{10}*.

Для разных бригад студентов можно дать разные виды утяжелителей: мел, барит, гематит. Дать задание утяжелить глинистый раствор до одного и того же удельного веса.

Затем необходимо сравнить показания замеров параметров и оценить качество утяжелителя по величине его расхода и изменению свойств промывочной жидкости.

Оформление отчета

По каждой проведенной лабораторной работе составляется отчет, в котором приводятся схемы применяемых измерительных приборов (лабораторная работа №1), результаты химической обработки промывочных жидкостей различными реагентами (в виде графиков). Дается подробное описание механизма действия каждого реагента и выбор оптимальной концентрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для получения промывочных жидкостей с заданными структурно-механическими параметрами для конкретных геолого-технических условий необходимо знать свойства и состав исходного сырья (глины, воды), применяемого для приготовления глинистого раствора.

В методических разработках приведен достаточно широкий ассортимент химических реагентов и дана полная их характеристика, которая позволит правильно производить выбор химических реагентов для повышения качества промывочных жидкостей с учетом свойств исходного сырья и геолого-технических условий бурения скважин.

Изложенная методика по оценке свойств различных видов промывочных жидкостей дает возможность научно обоснованно подходить к вопросам регулирования их структурно-механических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авидон В. П. Предварительные испытания глин в полевых условиях. М.: «Недра», 1968.

2. Зарипов С. З. Лабораторный контроль при бурении нефтяных и газовых скважин. М.: «Недра», 1977.

3. Кистер Э. Г. Химическая обработка буровых растворов. М., «Недра», 1972.

4. Овчаренко Ф. Д., Круглицкий Н. Н., Ничипоренко С. П. и др. Термосолеустойчивые промывочные жидкости на основе палыгорскита. М.: «Недра», 1970.

5. Городнов В. Д. Физико-химические методы предупреждения осложнения в бурении. М.: «Недра», 1977.

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Методические указания

по самостоятельной работе

по дисциплине

«Горизонтально-направленное бурение»

для студентов специальности

21.05.03 – Технология геологической разведки

Технология и техника разведки МПИ

Екатеринбург
2018

Технология бурения горизонтальных направленных скважин (ГНБ)

Общие положения метода бурения

По данным немецких источников метод заключается в управляемой системе гидробурения. Энергия, вырабатываемая с помощью силовой установки, передается сначала на гидравлическую систему (гидравлические двигатели, и насосы), а потом поступает на поршневые насосы для получения смеси воды с бентонитом (суспензии), которая используется для того, чтобы выбивать куски пород на пути бурения.

Экологически чистый бентонит придает струе шлама целый ряд необходимых для бурения (проходки) свойств. Одним из них является смазка штанг, режущего инструмента (буровые головки) и труб. Однако более важным является способность струи разрушать и поднимать вокруг себя частички грунта, держать их во взвешенном состоянии и выводить из скважины. Там его собирают и обезвреживают.

Буровой головкой можно управлять, контролируя направление струи из сопел, которые установлены под углом 15° к оси, буровой головки. Так как сила истечения суспензии из гидробурильной головки может быть направлена в одно из восьми направлений, то головкой можно управлять.

Благодаря поступательному движению штанг, скошенная бурильная головка прокладывает себе путь в грунте с помощью вымывания грунта струей промывки. Бурильная головка может продвигаться вперед и без регулировки, только благодаря вращению. Струя шлама удаляет с пути проходки частицы грунта во все стороны, образуя прямолинейный ствол скважины (см. рис. 1).

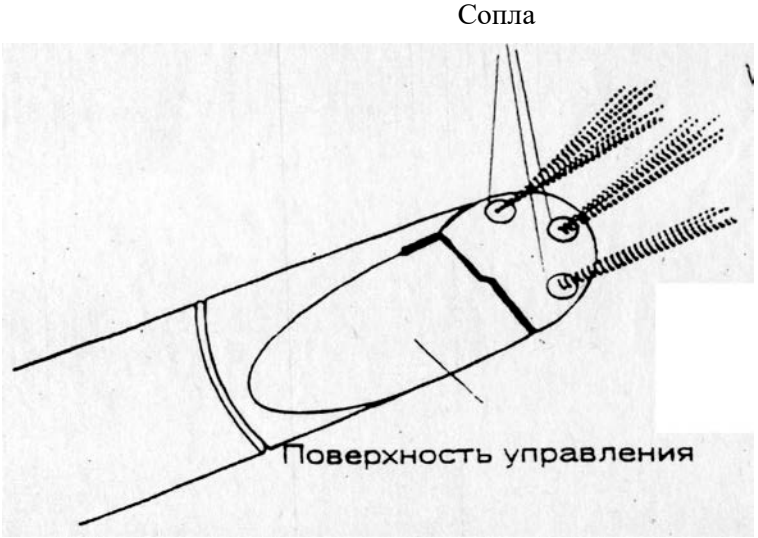


Рис. 1.

Технология бурения заключается в том, что для каждого типа грунта необходимо подобрать и выдерживать оптимальную комбинацию давления,

размера сопла, количества бентонита и вязкость суспензии, скорость прямого и обратного хода (перемещения бурильного вала).

Создаваемый при бурении, а затем расширении, диаметр скважины должен быть достаточно большим, чтобы пропускать через себя буровую головку, бурильную жидкость и части грунта, поднимаемые струей шлама.

Существуют 3 основных буровых параметра, которые должны быть выдержаны для бурения ГНБ:

– затраченное усилие;

– время соприкосновения с грунтом;

– расстояние проходки.

Эти переменные величины контролируются с помощью регулирования давления смеси, размеров сопла и скорости подачи и тяги (перемещения вала).

Рассмотрим каждую из этих величин и их влияние на технологию ГНБ.

Затраченное усилие

Усилие складывается из давления смеси в пределах от 0 до 100 бар и размера регулируемого сопла. Больший размер сопла создает более сильную струю, т.е. создаются условия для прохождения большего количество суспензии при низком давлении. Более сильная струя в состоянии создать и передать большее усилие. *Скорость потока в скважине должна_составлять 0,5 м/сек.*

Время соприкосновения с грунтом

Время соприкосновения с грунтом пропорционально зависит от скорости подачи/тяги. Чем дольше струя будет воздействовать на определенную площадь, тем больше энергии поступает на нее.

Проходка

Проходка является результатом произведенного усилия и состава грунта. Сила давления струи естественно теряет свою энергию, удаляясь от сопла. Проходимые грунты могут быть мягкими, имеющими небольшое сопротивление, позволяющее проходить большие расстояния, а также такими, которые требуют большого давления, создаваемого в непосредственной близости от сопла. Поэтому, проходка определяется усилием и временем соприкосновения с грунтом.

Обратимся к вопросу использования параметров проходки и правильному формированию профиля скважины. Скважина должна быть достаточно широкой для прохождения буровой головки и отвода разрушенного грунта. Ошибки, возникающие при формировании недостаточного диаметра, вызывают «заглушки» или «подрезки». Под «подрезкой» понимается такое положение, при котором затрачивается на проходку большее усилие, чем необходимо.

Ни «подрезка», ни расширение скважины не дают нужного диаметра. Правильное использование всех параметров проходки зависит от знаний свойства грунта.

Первым шагом для формирования диаметра скважины является сбор информации о состоянии грунта на протяжении всей трассы скважины. Для этого следует использовать пробное бурение, разведочные скважины и пробы грунта при земляных работах. Скважина формируется только тогда правильно, когда вызванное давлением смеси усилие отбрасывает грунт на оптимальное расстояние от буровой головки. Скважина должна быть достаточно широкой для буровой головки и смеси бентонитовой суспензии с частицами грунта. Такая смесь называется «буровой массой». В идеальном случае это должно происходить при максимальной скорости подачи/тяги для поддержания высокой производительности.

Одновременно должен быть соответствующим и размер сопла, чтобы подавать нужное количество суспензии с целью удержания вымытого грунта во взвешенном состоянии и его вынос из скважины. Неправильное использование данных параметров происходит из-за неверного выбора давления суспензии, размера сопла и скорости подачи/тяги, что и вызывает сужение или расширение скважины и связанные с этим проблемы.

Сужение скважины является ошибкой, возникающей при невозможности выноса грунта вокруг буровой головки. Такое может случиться независимо от техники проходки, когда твердость грунта превышает возможность проходки. Сужение наступает также в случае, если затраченное усилие недостаточно для отвода грунта вокруг бурильной головки, чтобы и грунт и головка могли без препятствий двигаться.

Сужение сопровождается различными проблемами. Если, например, частицы грунта за буровой головкой не могут свободно протекать, то перед буровой головкой возникает препятствие – давление суспензии.

С увеличением удельного веса грунта увеличивается и давление суспензии, которое выдавливает смесь верх. Давление, чуть более 1 бара на 1 кв.см. поднимает до 1 кг грунта. Давление же в 10 бар на площадь в 1 кв.м способно поднять 100 т.

Представьте себе, что буровой инструмент может создать давление в 10 бар. Уплотнитель-
ные свойства бентонита способствуют возникновению пузыря, который передает давление дальше. Проезжая часть дороги, места парковки и другие плотные поверхности могут быть приподняты. К ним относятся также и глинисты почвы. Даже плотно заросшие газоны, как это часто бывает на практике, можно приподнять.

Если буровая масса может выходить на поверхность, то это вызывает проблемы с техникой безопасности и вызывает расходы на очистку территории. Такое явление называется «пузырение».

Другая важная проблема, которая возникает в связи с сужением скважины, вызвана неверными командами управления: «заглушка» легко возникает тогда, когда заданный режим бурения длится очень долго, так как буровой

инструмент проходит за время действия данной команды менее 1/3 сечения скважины. Струя суспензии в непосредственной близости от буровой головки наиболее мощная. Из-за сцепления между буровой головкой и поверхностью стенок скважины буровая смесь не имеет выхода, а увеличивающееся давление создает вздутие поверхности.

Так как поверхность управления буровой головки тесно соприкасается со стенками при максимальном угле, то это определяет прямую зависимость скорости подачи команды и производительности бурения.

Резкие смены команд управления вызывают сильные нагрузки на буровой инструмент и буровые штанги, так как нарушаются оптимальные радиусы их изгиба. Быстрая подача одних команд вызывает обычно команды обратного действия, чтобы скорректировать первые. Это приводит к «зигзагообразному» движению, которое усиливает сопротивление движения буровых штанг, разработку скважины, увеличивает продолжительность движения головки и снижает точность проходки (см. рис. 2, 3, 4, 5). Все это вызывает снижение производительности буровых работ.

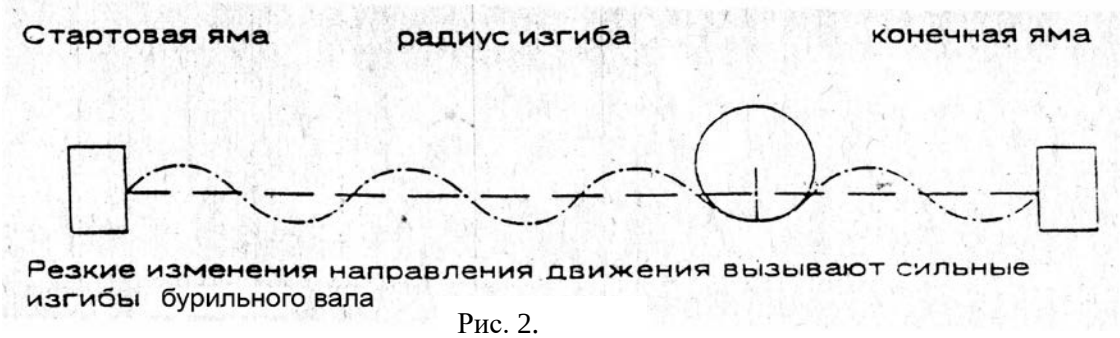


Рис. 2.

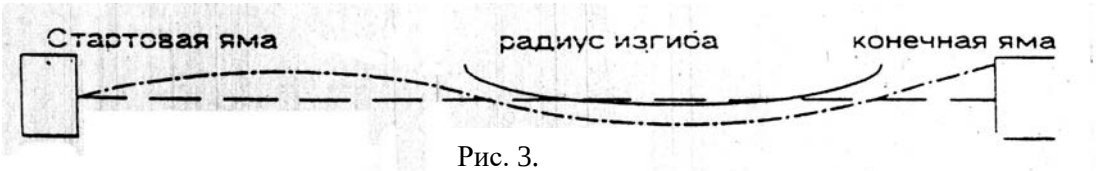


Рис. 3.

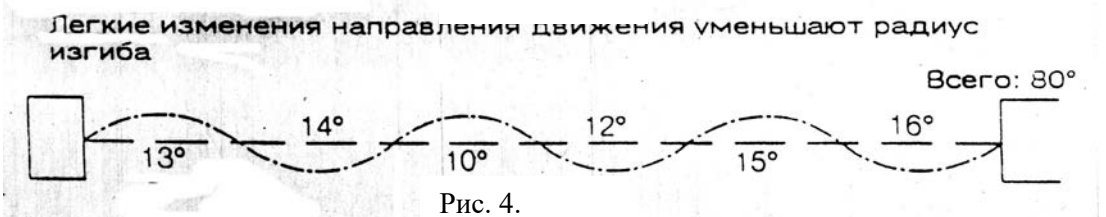


Рис. 4.

Рис. 5.

Команды, отдаваемые на короткое время, вызывают обвал скважины и другие проблемы. Точная локация и полное восприятие перемещений бурового инструмента снижает необходимость больших корректировок. Между корректировками перемещения головки необходимо включать вращение, чтобы сократить возникновение зон обвалов.

Расширение скважины происходит тогда, когда затрачено очень большое усилие, вызванное неправильным выбором величины давления суспензии, размером сопла и скорости подачи/тяги при определенных характеристиках грунта.

При расширении скважины резко увеличивается «буровая масса». Так, скважина диаметром 65 мм имеет площадь сечения 34 кв.см, а диаметром 100 мм – свыше 78,5 кв.см, поэтому количество выводимой массы более чем удваивается.

Если расширение скважины сопровождается чрезмерным давлением и маленьким размером сопла, то это означает, что количество суспензии недостаточно для поддержания вымытого грунта во взвешенном состоянии и его вывода из скважины. Грунт, который не выводится из скважины, может вызвать затруднения в управлении головкой и ее отклонении от заданного направления. Слишком «тяжелый» поток выводимого грунта часто становится причиной «закупорки». Слишком большое расширение скважины приводит к тому, что буровая головка полностью перестает слушать команды, потому что управляемая поверхность буровой головки не соприкасается со стенками скважины.

Вес бурового инструмента и буровых штанг вызывает еще и силу, которая направлена вниз и увлекает туда и буровую головку.

Мы говорили о сужении и расширении скважины. Рассмотрим, как это влияет на процесс работ по расширению скважины пилотного бурения. Например, если мы хотим пробурить скважину диаметром 225 мм, а вместо этого получили расширение в 255 мм, то разбуриваемая площадь увеличивается с 397 кв.см до 510 кв.см и при расходе 75 литров в минуту невозможно вынести шлам. Сила тяги на протягиваемую трубу возрастает, а суспензии для достаточной смазки не хватает, поэтому снижается скорость подачи трубы.

Ситуацию усугубляет также **длительное время соприкосновения с грунтом** (время проходки относительно определенного расстояния), которое еще больше увеличивает площадь проходимого сечения, тем самым удваивая объем разбуриваемого грунта. Это может привести к превышению допустимых значений прочности протягиваемой трубы.

Особенно трудное расширение в длинной скважине является причиной обвалов, которые, в свою очередь, приводят к оседанию поверхности земли над ней. Это особенно опасно при работе под проезжей частью дорог.

Расширение при протягивании труб происходит потому, что скорость тяги не снижают настолько, чтобы усилие было направлено только на проходку скважины перед расширяющей головкой. Буровая установка имеет высокую мощность тяги по сравнению с относительно более низкой мощностью силы

бурения (силы продавливания). Так, для расширения скважины с 65 мм до 225 мм необходимо вывести из скважины грунта в 11 раз большего объема.

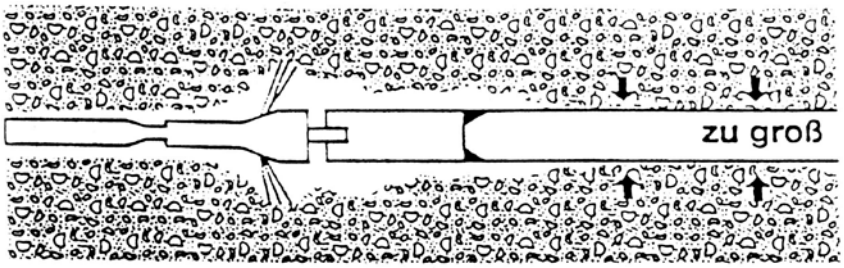


Рис. 6. Неправильное (зауженное) получение свободного пространства

Слишком малое расширение приводит к соприкосновению поверхности расширительной насадки со стенками скважины и сцеплению с ними. Поступательное движение головки вдавливает грунт, а не выводит его вокруг расширительной головки в уже пробуренную скважину. Расширительная головка работает как скребок, в результате чего повышается сила тяги трубы. Выбуренная масса грунта быстро распределяется, создавая при этом давление, направленное в их сторону. Если при этом предел прочности растяжения трубы еще не достигнут, то работу в таком режиме можно будет продолжить, откорректировав параметры проходки и снизив давление на стенки с помощью промывки.

Особенно мощное расширение происходит в том случае, когда рабочая поверхность расширительной головки в плотных грунтах полностью соприкасается со стенками скважины, что приводит к тому, что расширяющая головка уплотняет поверхность стенок скважины вместо того, чтобы выводить грунт. При этом уплотненный грунт обваливается и практически запирает канал. Давление «буровых масс» усиливается, и они начинают выходить на поверхность и вспучивать жесткие покрытия. Сопла расширительной головки вкачивают суспензию в грунт вместо того, чтобы уплотнять стенки; они обваливаются на протягиваемую трубу.

Хотя увеличивающаяся сила тяги имеет достаточно времени, чтобы замедлить движение расширяющей головки и скорректировать условия расширения скважины, спасти работу практически невозможно. Несмазанная, свалившаяся порода стопорит движение трубы. Дальнейшие попытки приводят лишь к превышению допустимых нагрузок.

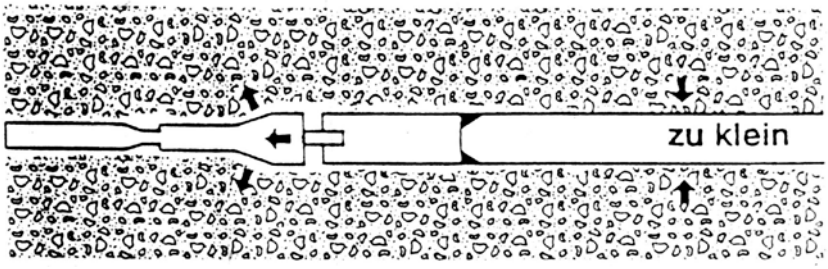


Рис. 7. Слишком малое свободное пространство при расширении

«Резьбовая» поверхность стенок скважины возникает при чрезмерной интенсивности работы в режиме расширения. Сопла вращающейся расширительной головки, оставляют на стенках скважины следы, которые возникают в результате или слишком малого времени соприкосновения головки со стенками, или же расстояние проходки для одного или нескольких сопел чрезмерно большое.

Эти следы на стенках скважины ослабляют прочность стенок, увеличивают зоны рыхлости и обвала. Радикальное смешение сопел на буровой и расширительной головках приводит иногда к изменению ситуации.

Теперь, когда мы получили представление о расширении и сужении канала бурения, а также сопутствующих проблем, следует поставить вопрос – каким образом можно все это предотвратить? Для этого необходимо соблюдать параметры проходки, размеры сопла, скорость подачи и тяги, а также учитывать свойство грунтов. **Следите за перепадами давления. Это единственная рекомендация для достижения успеха.**

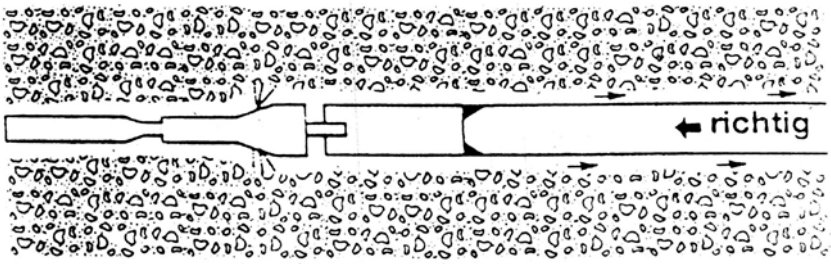


Рис. 8. Правильно полученное свободное пространство при расширении

Слишком малый поток выходящей из скважины породы к стартовой или конечной яме является признаком обвала в результате сужения или расширения канала.

Постоянный поток бентонита вперед или назад дает максимальную гарантию хорошего бурения.

Перепад давлений является самым точным и постоянным признаком процесса бурения. Для ввода в грунт буровых штанг и протягивания труб в хорошо смазанную и сформированную скважину требуется незначительное усилие. Следите при этом и за перепадом давления.

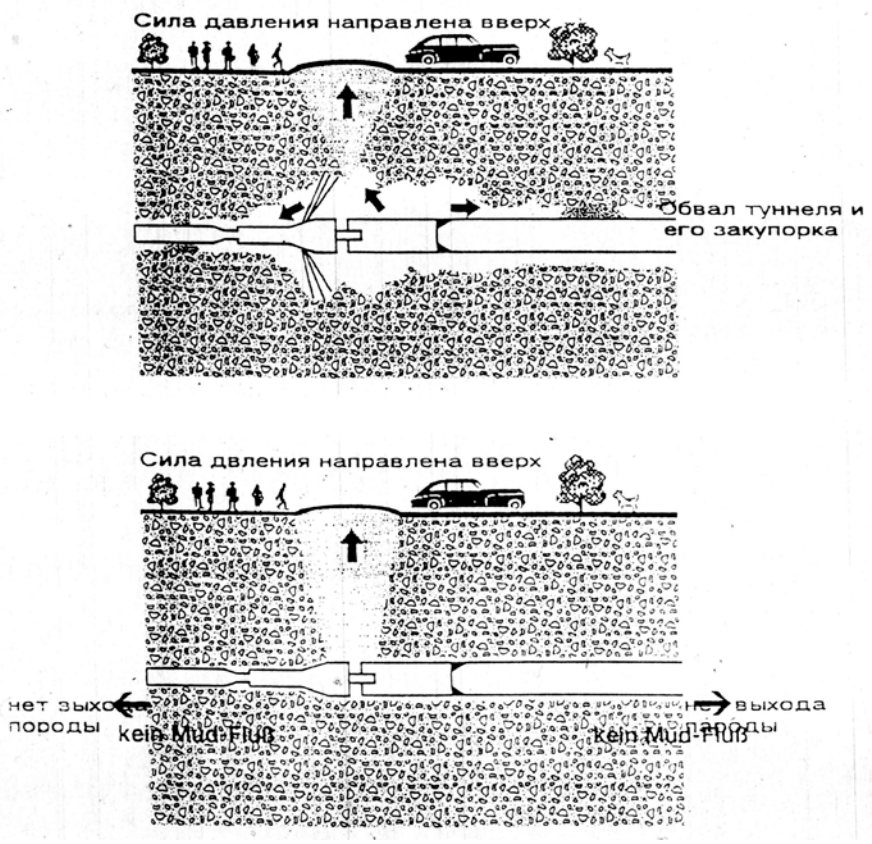


Рис. 9. Слишком маленькое свободное пространство при расширении канала туннеля

Что такое перепад давлений?

Под перепадом давления понимаются сравнительные показания манометра силы подачи и силы тяги. Разница в показаниях давления отражает рабочую мощность мотора или масляного насоса. Максимальная разница в 130 бар при втягивании трубы возможна, хотя действительная мощность подачи составляет всего 70 бар. Это значение соответствует действительной силе тяги в 65 кН при давлении 200 бар.

Если гидромоторы работают без нагрузки, то возникает незначительный перепад давлений. При рабочем усилии в 60-80 бар в режиме проталкивания и протяжки труб практически всегда формируется канал бурения.

Если продвижение прекращается из-за появившихся **камней** или **других препятствий** в грунте, то сила толкающего давления увеличивается, так как масляный насос работает на полную мощность.

Вращение головки вызывает лишь незначительные перепады давления, так как при вращении прорезается только сечение скважины.

Перепады давления, вызываемые **сменой команд** управления, не должны превышать разницу давлений при вращении, более **чем на 40 бар**. Перепад давления менее 40 бар является идеальной предпосылкой для прокладки скважины нужного диаметра.

Очень малый перепад давления или его полное отсутствие **однозначно указывает** на опасность резкого расширения. Если процесс расширения продолжается более нескольких метров, то этот отрезок туннеля может обвалиться.

Если отрезок туннеля, подверженного расширению или сужению, составляет более одной/двух буровых штанг, то на лицо аварийная ситуация. Корректировка параметров проходки в данном случае не даст существенных результатов.

Тенденция к сужению скважины в процессе расширения канала учитывается конструкцией рабочих инструментов. Усилие, требующееся для обратного хода, соотносится к буровому усилию как 2:1 и создает перегрузку для всех элементов, находящихся в скважине.

Такое соотношение усилий можно не учитывать, если пилотный канал будет расширен расширительной головкой, а сужение происходит от того, что обратное движение инструмента шло быстрее, чем вывод породы.

Только при учете различных факторов можно достигнуть правильного формирования скважины.

Таким образом, существуют многие признаки правильной и неправильной проходки, которые позволяют изменять параметры прокладки скважины для получения хороших результатов.

Рекомендуется следующий выбор буровых головок и сопел в зависимости от типа грунта.

Таблица 1

Тип буровой головки (сопла)	Тип грунта			
	мягкий	песок	средней плотности	плотный
Буровая головка Грундодрилл ДЖЕТ 100-210	–	–	X	X
Разрушающая буровая головка ДЖЕТ 00-215	–	X	X	–
Малые сопла от 1,0 ÷1,5 мм и от 1,5 ÷2,5 мм	–	–	X	X
Большие сопла от 2,3 до 3,0 мм	X	X	–	–

Расширительные насадки фирмы «Тракто-Техник» могут быть использованы для грунтов класса 1-5. Они должны иметь как минимум 40 мм свободного пространства.

Разработка ГНБ начиналась первоначально с простого метода технологии бестраншейного способа проходки скважин – **метода «прокола»**, т.е. образования скважины за счет уплотнения массива грунта. Необходимое для прокола усилие (обычно 150-2000 кН) прямо пропорционально квадрату радиусов сечения скважины, т.е. этот метод относится к проходке скважин для труб малого диаметра. Важнейшее значение имеет свойство грунта (пористость и коэффициент трения стали о породу), а также длина скважины и масса труб.

Различают «механический» прокол, гидропрокол (имеется гидронасадка) и вибропрокол (используются вибромолоты, обеспечивающие продольно-направленные колебания).

Если при проколе грунт, вытесненный из скважины, попросту «вдавливается» в стенки скважины, то при продавливании он, подобно керну при колонковом бурении, поступает в снаряженную ножом трубу, что позволяет работать с трубами гораздо большего диаметра (до 2000, а отдельных случаях даже 3000 мм). Проталкивание, трубы, как и при проколе, осуществляется домкратами. Давление передается через наголовник сменными нажимными удлинительными патрубками, шомполами или зажимными хомутами. Труба (стальная или железобетонная) вдавливается циклически, путем попеременного переключения домкратов на прямой и обратный ход. Прилагаемое усилие до 3000 кН.

Возможно использование виброударных установок, гидроразмыва, комбинации гидромонитора, размывающего грунт, и шнека, его удаляющего.

Длина продавливания составляет обычно до 100 м. Скорость проходки при применении гидравлических домкратов - до 10-12 метров в смену. Работы могут вестись как с разрушением, так и без разрушения старой трубы.

Этот метод имеет ограничения по областям применения – наличие в разрезе скважины твердых горных пород или иных аналогичных препятствий.

Микротоннелирование можно считать своего рода симбиозом технологий горизонтального бурения и продавливания (конечно, очень далеко ушедшим от своих прародителей). Этот метод основан на строительстве тоннеля с помощью дистанционно управляемого проходческого щита, выдвигаемого из заранее подготовленной стартовой шахты. После завершения проходки (а она может вестись в прямолинейном или криволинейном направлении) его извлекают из приемной шахты.

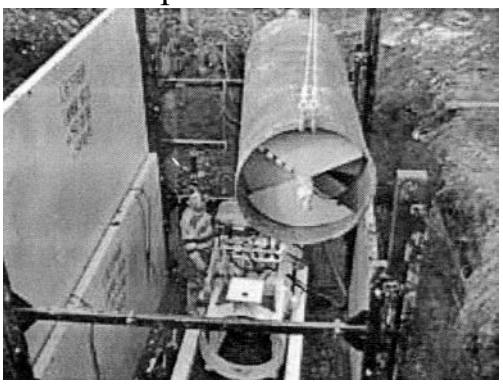


Рис. 10. Оборудование для микротоннелирования компании Herrenknecht AG.

Что означает приставка «микро»? Канадская фирма Lowat относит к этому классу технику для тоннелей диаметром до 1500 мм. В московском руководстве по применению микротоннелепроходческих комплексов и технологий микротоннелирования при строительстве подземных соору-

жений и прокладке коммуникаций закрытым способом сказано: «Микротоннелирование - процесс строительства подземного сооружения круглой формы поперечного сечения с диаметром от 200 до 2000 мм с использованием управляемых установок без присутствия людей в забое». Впрочем, иногда к микротоннелям относят тоннели диаметром 3000 мм.

От продавливания микротоннелирование отличается большей длиной проходки (до 500 м, а при необходимости до нескольких километров), скоростью и точностью (независимо от длины трассы она контролируется компьютерным комплексом с применением системы лазерного ведения). А кроме того, минимизацией затрат и материальных ресурсов. Импульс ускоренному развитию этой технологии в России дало не только появление эффективной техники (Lovat, Robbins, Herrenknecht AG), но и приход в нее квалифицированных специалистов из свернувших свою работу в середине 90-х годов метростроев.

С помощью микротоннелирования можно «пробиться» через грунты любой категории - от неустойчивых суглинков и водоносных песков до скальных пород, работать в смешанном забое, не бояться появления в грунтовом массиве по трассе крупнообломочных включений, валунов, гальки и щебня.

Для прокладки микротоннелированием используются самые разные трубы: полимербетонные, железобетонные, керамические, стеклопластиковые, асбестоцементные.

Разработана линейка (ряд) установок для данной технологии, например «TT-Ground bur st», установки шнекового бурения «60-1200 G2, «Р40» и «Р80» зарубежного производства и «ИП-4610», «СО-166» – отечественного. Наибольшего успеха достигла Германия, которая выпустила более 11 типов установок и Швейцария – 26 установок.

Основные требования организации и технологии работ

С начала 2001 г. в России распространение получила технология бестраншейной прокладки трубопроводов методом горизонтального направленного бурения (ГНБ), которая позволяет осуществлять прокладку коммуникаций – трубопроводов и кабелей на большой глубине и большой протяженности.

Установка ГНБ позволяет осуществлять:

– бестраншейную прокладку трубопроводов в условиях, где нет возможности применять землеройную технику;

– прокладку трубопроводов под автомобильными дорогами и железнодорожными путями без разрушения дорожного полотна и насыпи; под или над подземными коммуникациями; под зданиями и сооружениями ниже их фундаментов; под дном небольших водных преград.

Основными факторами, ограничивающими возможности применения технологии ГНБ являются: крупнообломочные грунты, грунты с включением

валунов и гальки, грунты песчаные, глинистые и гравелистые (с содержанием гравия более 30%); невозможна прокладка трубопроводов в плывунах (при коэффициенте текучести грунта >1) из-за невозможности создания стабильного бурового канала; затруднена прокладка трубопроводов в **рыхлых** песках (при коэффициенте пористости > 0,7) из-за сложности создания прочных стенок скважины.

Основными производителями установок ГНБ являются компании Vermeer, Ditch Witch, Robbins Tracto-Technik, Straightline, American Augers, Case и др.

Классификация установок ГНБ по тяговым усилиям и основным техническим характеристикам типовых представителей установок различных компаний-производителей приведены в табл.4.8.

Между тяговым усилием установок ГНБ, длиной скважины и диаметром прокладываемого в буровой канал трубопровода имеется жесткая взаимосвязь, изображенная на рис. 11. Пользуясь данными графика рис. 12 и табл. 2 можно быстро и точно определить тип (модель) требуемой установки ГНБ.

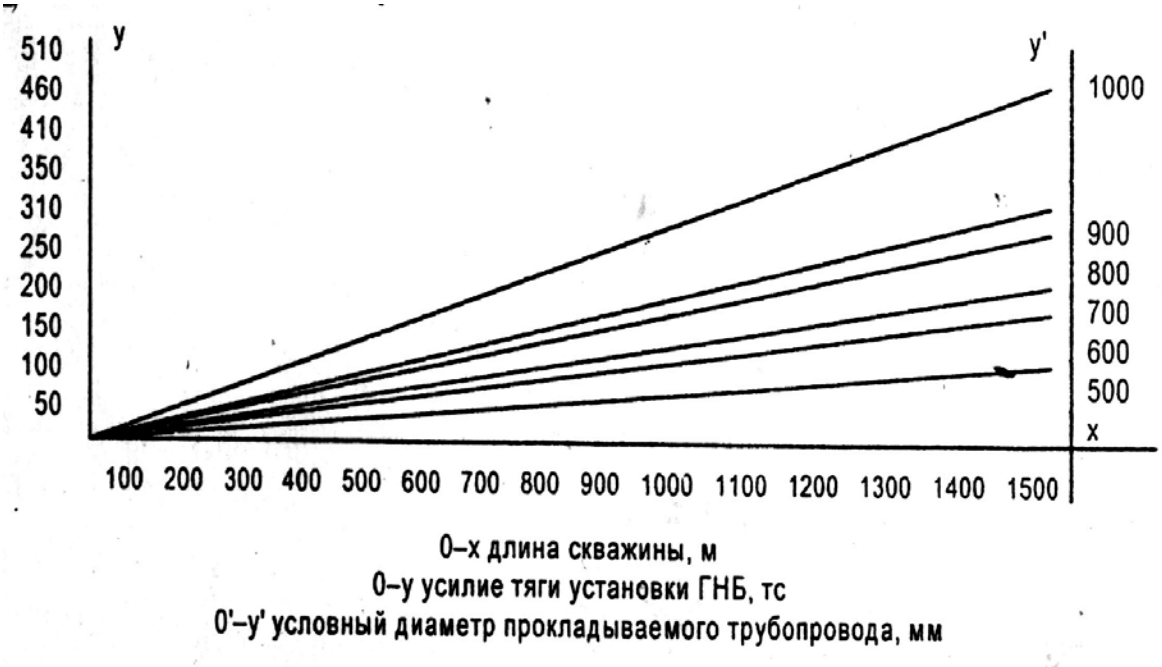


Рис. 11.

Технологический процесс бурения и прокладки инженерных коммуникаций по технологии ГНБ состоит из следующих этапов:

– планирование и расчет траектории бурения, организация места работ;

– пилотное бурение;

– расширение пилот-скважины и протягивание трубопровода.

Подготовительные работы

После перевозки установки ГНБ и сопутствующего технологического оборудования с базы механизации на объект производства работ, для выполнения буровых работ подготавливается площадка для размещения:

– буровой установки;

– генератора;

– контейнера для хранения строительных материалов;

– служебных помещений для персонала;

– приводного блока;

– подставки для хранения буровых штанг и т.д.

Производится отрывка котлована для бурового входа и котлована для временного хранения использованной буровой смеси.

Принципиальная схема размещения установки ГНБ на площадке приведена на рисунке.

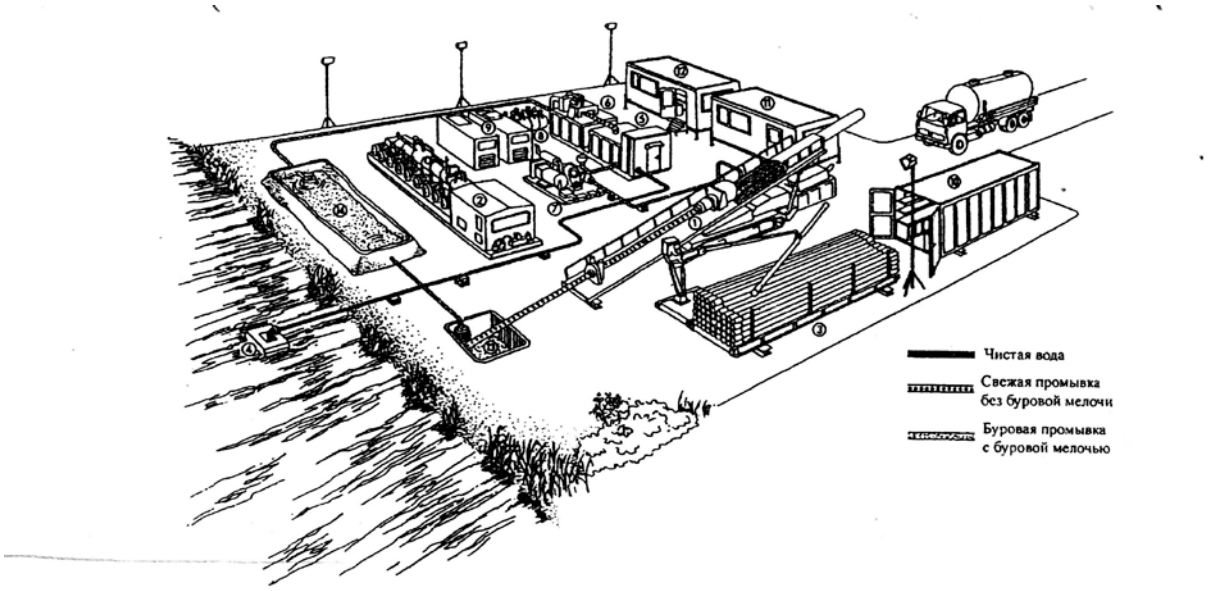


Схема размещения установки ГНБ на строительной площадке

1. Буровая установка ГНБ
2. Пульт управления (приводной блок)
3. Склад буровых штанг
4. Водяной насос
5. Промывочный блок
6. Резервуар для приготовления буровой смеси
7. Промывочный блок
8. Генераторы
10. Контейнеры для материала
11, 12. Служебные и бытовые помещения
13. Буровой вход
14. Котлован для временного хранения использованной промывки

Рис. 12

Установка ГНБ устанавливается в точке бурения, закрепляется анкерными стойками и фиксируется упорными устройствами, рассчитанными на двойное тяговое усилие, которое может развить установка.

Место производства буровых работ следует огородить. Ширина ограждения должна составлять не менее 1,5 м.

Прокладка подземных коммуникаций по технологии ГНБ осуществляется в следующие этапы.

Подготовительный этап

Планирование и расчет траектории бурения скважины

Перед началом работ тщательно изучаются свойства грунта (это влияет на выбор инструмента и состав буровой жидкости); выясняется дислокация подземных коммуникаций (может быть выборочное зондирование грунтов, а, при необходимости, шурфление особо сложных пересечений трассы бурения с существующими коммуникациями); оформляются соответствующие разрешения и согласования; рассчитывается траектория бурения (углы входа и выхода бура по отношению к поверхности земли с учетом допустимых радиусов кривизны плети штанг).

Организация места работ

Непосредственно бурению предшествуют доставка, выгрузка, позиционирование на местности и фиксация установки ГНБ. Настраивается сигнализация предупреждения подземного столкновения с находящимися под напряжением электрическими сетями. Подготавливаются к работе двигатели установки и миксеры для приготовления раствора, приготавливается водно-бентонитовая суспензия.

Бурение пилот-скважины

Бурение пилотной скважины – особо ответственный этап работ в горизонтально направленном бурении, от которого зависит конечный результат. Оно осуществляется при помощи буровой головки со скосом в передней части и встроенным излучателем.

Контроль за местоположением буровой головки в процессе бурения осуществляется с помощью приемного устройства локатора, который принимает и обрабатывает сигналы встроенного в корпус буровой головки передатчика.

Схема бурения пилотной скважины приведена на рис. 13.

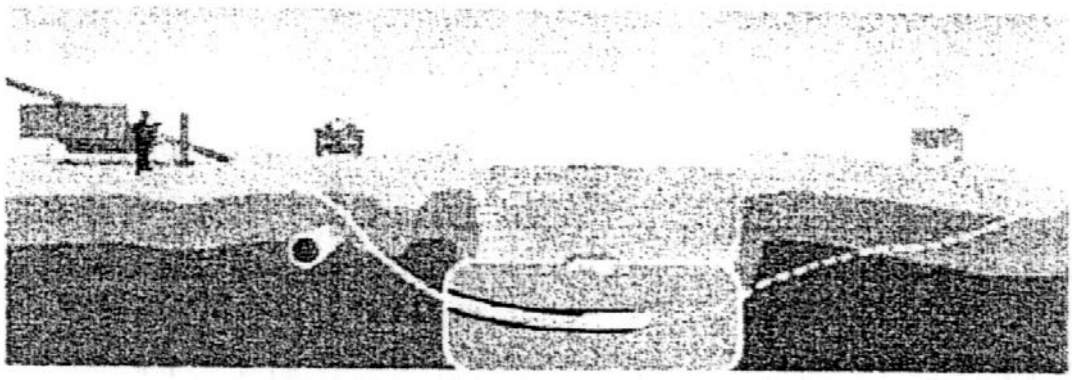


Рис. 13

Буровая головка соединена с гибкой приводной штангой, что позволяет управлять процессом бурения пилотной скважины и обходить выявленные препятствия в любом направлении в пределах естественного изгиба приводной штанги. Буровая головка имеет отверстия для подачи специального бурового раствора, который закачивается в скважину и образует суспензию с размельченной породой.

На мониторе локатора отображается визуальная информация о местоположении, уклоне, азимуте буровой головки. Эта же информация отображается на дисплее оператора буровой установки. Эти данные являются определяющими для контроля соответствия траектории строящегося трубопровода проектному направлению и минимизируют риск излома рабочей штанги. При отклонении буровой головки от проектной траектории оператор останавливает вращение буровых штанг и устанавливает скос буровой головки в нужном положении. Затем осуществляется задавливание буровых штанг в нужном положении с целью коррекции траектории бурения. Бурение пилотной скважины завершается выходом буровой головки в заданной проектом точке.

Расширение скважины

Расширение скважины осуществляется после завершения пилотного бурения. При этом буровая головка отсоединяется от буровых штанг и вместо нее присоединяется расширитель обратного действия.

Схема расширения буровой скважины приведена на рисунке 14.

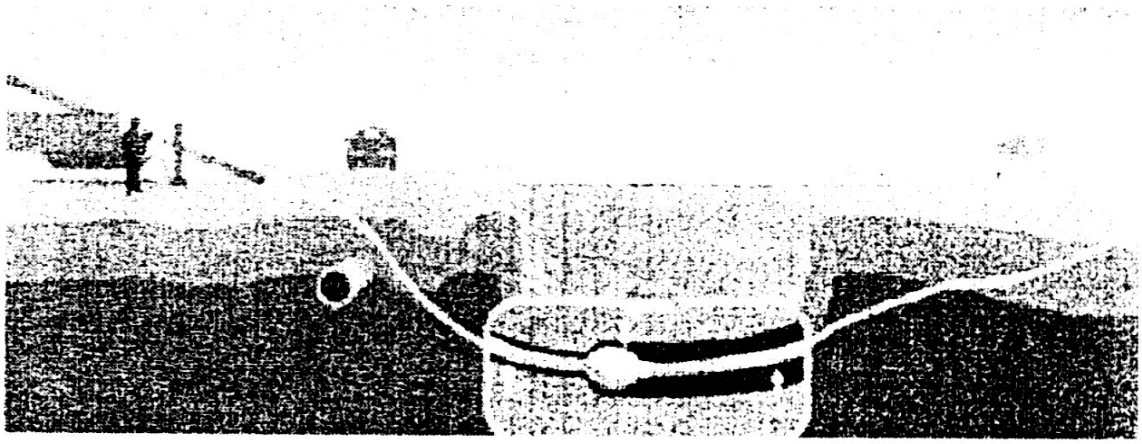


Рис. 14

Приложением тягового усилия с одновременным вращением расширитель протягивается через скважину в направлении буровой установки, расширяя пилотную скважину до необходимого для проталкивания трубопровода диаметра. Для обеспечения беспрепятственного протягивания трубопровода через расширенную скважину ее диаметр должен на 25-30% превышать диаметр трубопровода.

При благоприятных грунтовых условиях и относительно небольших расстояниях бурения расширение скважины возможно производить с одновременным затягиванием трубы по схеме приведенной на рисунке 15.

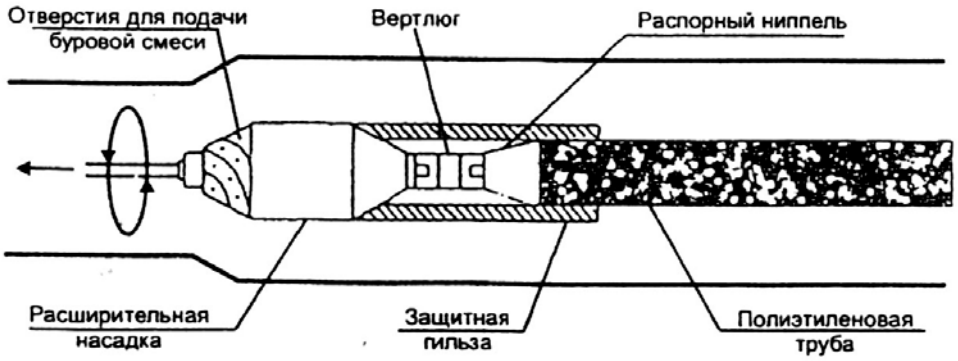


Рис. 15

Протягивание трубопровода

На противоположной от буровой установки стороне скважины располагается готовая плеть трубопровода. К переднему концу петли крепится оголовок с воспринимающим тяговое усилие вертлюгом.

Вертлюг вращается с буровой штангой и расширителем, и, в тоже время, не передает вращательное движение на трубопровод.

Таким образом, буровая установка затягивает в скважину плеть протягиваемого трубопровода.

Схема протаскивания трубопровода приведена на рисунке 16.

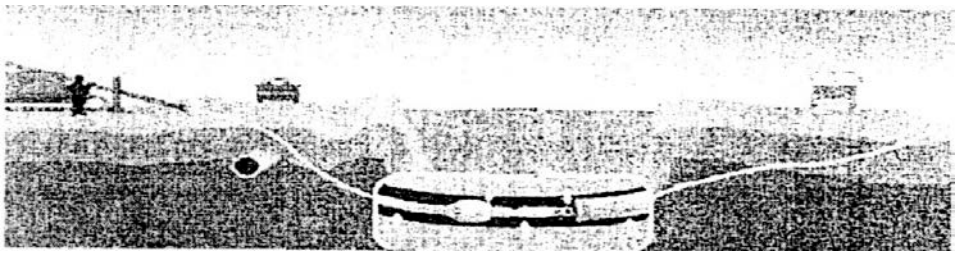


Рис. 16

Технология горизонтально направленного бурения уникальна тем, что позволяет изменять, при необходимости, направление прокладки, как в плане, так и в профиле, огибая на своем пути различные препятствия (действующие или брошенные подземные коммуникации или другие сооружения).

При протаскивании трубопровода с целью уменьшения силы трения рекомендуется использовать роликовые подставки. Схема протаскивания трубопровода в буровой канал без расширителя, приведена на рисунке.

Схема протаскивания трубопровода в буровой канал без расширителя

1. Котлован для временного хранения использованной промывки
2. Буровой вход
3. Роликовая подставка
4. Трубопровод
5. Экскаватор
6. Склад буровых штанг
7. Генератор
8. Транспорт для подготовки

Рис. 17

Для оптимизации процесса бурения (управляемости буровой головки и условий протаскивания труб) определяются составы грунтов по трассе прокладываемого трубопровода, а затем назначаются необходимые режимы производства работ.

Рекомендуемые режимы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Состав грунта	Вязкость, сек	Размер сопла, мм	Давление буровой смеси, атм.	Скорость, м/мин.		Наружный диаметр трубы, мм
				бурение	протаски-вание	
Песок	100 100	2,3-3,0 2,3-3,0	40-60 40-60	2,0 1,2	1,5 1,5	до 160 до 225
Песок с грунт водами	140	3,0	20-50	1,5	0,86	до 160
Песок	140	3,0	20-50	0,86	0,86	до 225
Шлам	120	2,3-3,0	20-50	4	2	до 160
Шлам	120	2,3-3,0	20-50	1,2	1,2	до 225
Глина, песок	80	1,5-2,3	60-80	2,4	2	до 160
Глина, песок	80	1,5	60-80	3	2	до 225
Глина, шлам	60	1,5	60-80	3	2	до 160
Глина, шлам	60	1,5	60-80	1,5	1,5	до 225
Глина	30	1,0	80-100	2,4	1,5	до 160
Глина	30	1,0	80-100	1,5	1,5	до 225

Концентрация бентонита в буровой смеси

Назначение буровой смеси:

– создание прочных конструкций стенок бурового канала;

– охлаждение и смазка режущего инструмента и штанг;

– удаление грунта из буровой скважины;

– формирование прочных стенок пилотной скважины (бурового канала), предотвращающая их обвал от давления окружающего грунта;

– создание избыточного давления внутри пилотной скважины (бурового канала), что предотвращает просачивание фунтовых вод в буровой раствор;

– снижение усилий протягивания трубопровода.

Приготовление смеси производится, как в навесных емкостях, крепящихся непосредственно на установке ГНБ, так и в отдельно стоящих резервуарах с использованием воды, бентонита и различных добавок.

Обязательным условием бурения является применение буровой смеси в течение всего процесса бурения. Состав и концентрация бентонита в буровой смеси в зависимости от состава грунта приведены в таблице 3.

Таблица 3

Грунт	Основа смеси	Концентрация для применения, кг/м^3
Глина	Бентонитовый загуститель	20-35
Плотный песок	Бентонит	3045
Слабый песок	Бентонит	20-30

Приготовление буровой смеси осуществляется добавлением бентонита или бентонитового загустителя на струйную мешалку.

Размешивание продолжается до получения однородной смеси, при приготовлении которой необходимо контролировать показатели плотности и содержания хлорида. Показатель pH не должен превышать 10, а содержание хлорида должно быть не более, чем 1000 мг/л.

Количество добавок для улучшения качества буровой смеси и ее рабочих параметров в зависимости от состава грунтов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Грунты	Возможные сложности	Состав смеси	Замес, кг/1000 л
Песок с гравием, зернистый песок	Обвал канала, высокий момент вращения, отсутствие циркуляции	Бентонит Биополимер для увеличения плотности взвеси	40-60 1-3
Мелкий песок	Обвал канала, утечка смеси	Бентонит Биополимер для увеличения плотности взвеси	20-35 2-4
Смесь песка с глиной	Непрочность стенок канала	Бентонитовый загуститель Эмульсия для сгущения смеси	25-30 2-4

Сухая глина	Застревание штанг	Эмульсия для сгущения смеси Биополимер, регулирующий фильтрацию	3-4 2-5
Вязкая глина	Высокий момент вращения, засорение форсунок	Эмульсия для сгущения смеси Смачивающий состав	3-4 2-3

Скорость проходки в грунтах 1-2 группы

Данные фирмы VERMEER о скорости проходки в грунтах 1-2 группы горных пород для установки марки NAVIGATOR D 50×100 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Диаметр расширителя, мм	Скорость проходки, м/ч
Пилотная скважина dnwl.=114	12,0-15,0
Расширитель di = 150	10,8-14,7
Расширитель d2 = 200	9,0-13,9
Расширитель d3 = 250	7,5-11,6
Расширитель d4 = 300	6,3-9,7
Расширитель d5= 350	5,25-8,1
Расширитель d6 = 400	4,4-6,8
Расширитель d7 = 450	3,7-5,7
Расширитель d8 = 500	3,0-4,8
Расширитель d9 = 550	2,5-4,0
Расширитель d10 = 600	2,0-3,3
Расширитель dn = 650	1,7-2,7
Расширитель d12 = 700	1,4-1,9
Расширитель d13 = 750	1,1-1,5
Расширитель d14 = 800	0,9-1,2
Расширитель d15 = 850	0,7-0,9
Расширитель d17 = 950	0,4-0,5
Расширитель d18 = 1000	0,3-0,4
Расширитель d16 = 900	0,5-0,7

Примечания:

1. При протаскивании трубопровода скорость последнего расширения принимается с коэффициентом 0,8;

2. Скорость бурения меняется в зависимости от категорий грунтов, материала и массы прокладываемого трубопровода;

3. Данные получены при бурении в грунтах 1-2 группы и прокладки полиэтиленовых трубопроводов длиной до 100 м.

4. При изменении условий рекомендуется применять следующие коэффициенты для:

– стальных трубопроводов – 0,60;

– водных преград – 0,80;

– городских условий – 0,90;

– особо стесненных условий – 0,85;

– грунта 3 группы – 0,20

5. Очистка скважины может производиться неоднократно, в зависимости от параметров (доли примеси в грунтах) бурового раствора на выходе.

Контроль за бурением на поверхности

Траекторию направляющей скважины можно отслеживать с применением системы контроля на поверхности, которая позволяет определить место нахождения зонда в забое скважины посредством замеров ее фактического положения относительно сетки или пункта на поверхности (рис. 18).

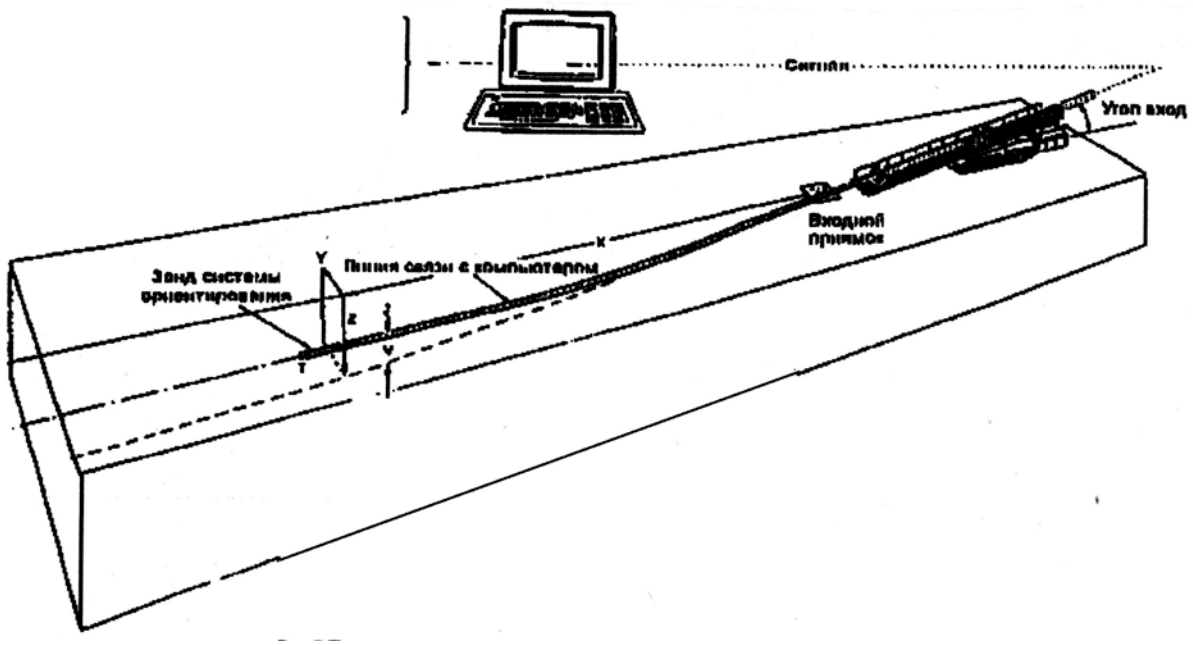


Рис. 18. Принципиальная схема системы ориентирования на поверхности:
Пробуренная часть скважины – Т.
Горизонтальная проекция – Х.
Вертикальная проекция – У.
Глубина скважины – Z .
Вероятное отклонение – V

Данные измерений, выполненных с помощью измерительного зонда, проходящему внутри колонны бурильных труб. Эти показания в совокупности с данными замеров искривления интервалов, пробуренных после каждого предыдущего измерения, используются для расчета горизонтальных и вертикальных координат точек вдоль оси направляющей скважины относительно начальной (на устье скважины). Результаты измерения азимута, определяемого относительно силовых линий магнитного поля Земли, чувствительны к действию забойного инструмента, бурильной колонны и магнитных полей соседних металлических сооружений. По этой причине зонд устанавливается в немагнитной буровой штанге и размещается таким образом, чтобы была обеспечена его достаточная изоляция от забойного инструмента и бурильной колонны.

На экране компьютера выводятся следующие данные:

– пробуренная длина скважины; горизонтальная длина;

– горизонтальное отклонение буровой головки от проектного створа;

– глубина расположения буровой головки от уровня установки компьютера.

Слежение за траекторией пилотной скважины во время бурения ведется путем считывания показаний приборов, проводимых через 9-10-метровые интервалы бурения. Эти показания используются для расчета горизонтальной и вертикальной координат скважинного зонда по мере его продвижения вдоль пионерной скважины.

Исходные данные скважинного обследования и результаты расчетов должны включать, наряду с другими возможными компонентами, следующие данные:

– длина ствола скважины (расстояние между двумя точками исследования скважины, измеренное вдоль траектории бурения);

– измеренное расстояние – общее расстояние от любой точки исследования скважины до входа в скважину, измеренное вдоль траектории бурения;

– уклон – угол отклонения скважинного зонда от вертикальной оси в конкретной точке исследования скважины; при этом вертикальное направление, ориентированное вниз, соответствует нулю градусов;

– азимут – угол, под которым расположена проекция скважинного зонда на горизонтальную плоскость в конкретной точке исследования скважины; при этом направление, ориентированное на северный магнитный полюс, соответствует нулю градусов.

– визирный пункт – горизонтальное расположение измеренной при исследовании точки скважины относительно установленной горизонтальной системы отсчета;

– высота – вертикальное расположение измеренной при исследовании скважины точки относительно установленной вертикальной системы отсчета;

– отклонение – расстояние от точки исследования скважины до предусмотренной проектом опорной линии; положительные значения указывают, что точка проведения скважинного обследования расположена вправо от опорной линии, а отрицательные значения указывают, что точка проведения скважинного обследования расположена влево от опорной линии.

Ниже перечислены дополнительные данные, которые следует регистрировать:

– расстояние от головки бура до зонда – расстояние от ведущего края головки бура до скважинного зонда;

– курс – азимут линии магнитного поля, относительно которой отсчитывается траектория бурения.

– отступ буровой установки – расстояние от впервые установленной на бурильную установку головки бура, измеренное от отмеченной нивелиром входной точки.

– длина комплекта забойного инструмента – длина комплекта забойного инструмента. Данные слежения на поверхности – координаты, измеренные системой.

Расчет координат забоя «i».

Существуют три метода, применяемых при бурении ГНБ: метод среднего угла; метод минимальной кривизны и метод усредненной касательной.

Уравнения, применяемые в этих трех методах, используются для расчета вертикальных и горизонтальных расстояний от точки входа, а также расстояния от опорной линии. Обозначения, применяемые в уравнениях, указаны на рис.8 и определяются следующим образом (рис. 19).

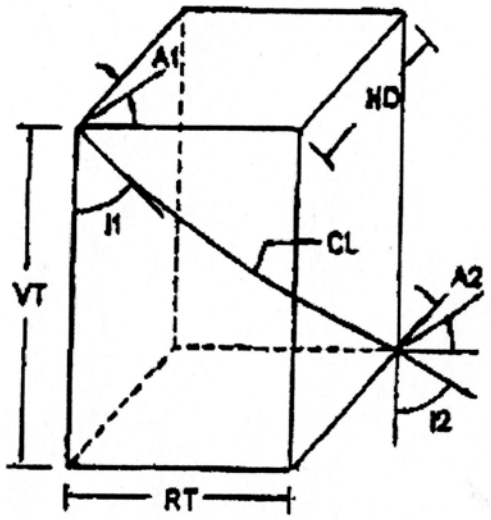


Рис. 19. Трехмерное изображение текущей и предыдущей точек замера:
CL – курсовая длина;
I1 – угол наклонения в предыдущей точке замера;
12 – угол наклонения в текущей точке замера;
A1 – угол отклонения от курса в предыдущей точке замера;
A2 – угол отклонения от курса в текущей точке замера;
HD – расстояние по горизонтали между предыдущей и текущей точками замера;
RT – разность отклонений от опорной линии, замеренных в предыдущей и текущей точках замера;
VT – разность по вертикали между предыдущей и текущей точками замера.

Метод среднего угла – при этом используются средние значения предыдущего и текущего углов азимута и наклонения, чтобы определить проекцию измеренного расстояния на траекторию, касательную к этому среднему углу.

Метод усредненной касательной – предполагается, что половина измеренного расстояния представляет собой касательную к проекциям углов наклонения и азимута в текущей точке, а другая – касательную к проекциям углов наклонения и азимута в предыдущей точке

Система контроля на поверхности TruTracker®. В ней применяется катушка, находящаяся в известной точке и служащая для наведения магнитного поля. Зонд определяет свое местоположение относительно наведенного магнитного поля и передает эту информацию на поверхность. Процесс схематично показан па рис. 20.

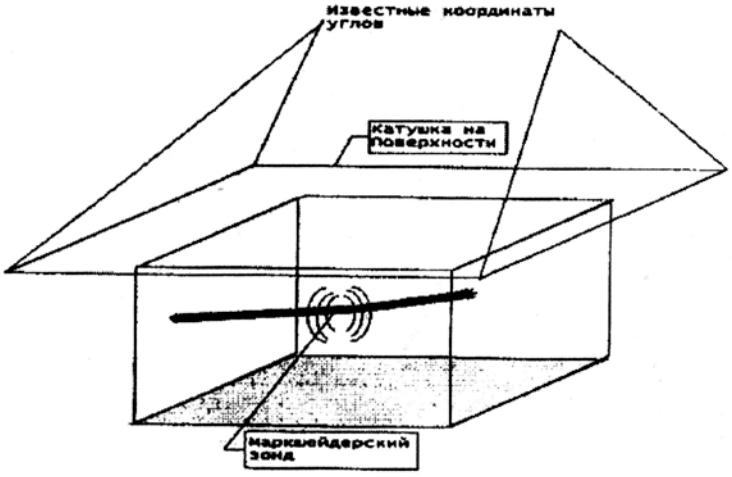


Рис. 20. Система поверхностного контроля TruTracker ®

До начала бурения катушка укладывается на поверхность грунта, и ее угловые точки точно привязываются к геодезической сетке. При выборе компоновки катушки необходимо учитывать следующее:

– позволяет обнаруживать забойный зонд в пределах ширины ЗН на глубине И;

– может иметь до 32 углов;

– не требуется точное ориентирование относительно заданной оси;

– не должна быть обязательно прямоугольной;

– провода должны быть натянуты прямо, как по горизонтали, так и по вертикали, от угла до угла.

Данные системы TruTracker® обычно являются более точными, чем значения, рассчитываемые по результатам замера углов наклонения и азимута. При контроле данных необходимо учитывать следующие принципы:

– радиальный угол должен находиться в пределах 270±90°;

– рассогласование радиального угла должно представлять собой дробь, близкую к нулю; рассогласование радиальной напряженности должно представлять собой дробь, близкую к нулю; рассогласование осевой напряженности не должно превышать 10%.

Если катушку нельзя установить непосредственно над преодолеваемым препятствием (например, при сооружении перехода через крупную реку), следует применять расчетные значения. Однако для корректировки результатов измерения магнитного азимута можно применять данные катушек, размещенных на обоих берегах. Это способствует получению более точных расчетных значений направлений и позволит Подрядчику повысить точность управления пространственной ориентации зонда.

Основные виды осложнений при бурении ГНБ

Осложнения являются причиной аварий и снижают технико-экономические показатели бурения. Необходимо стремиться к предупреждению осложнений, так как на их ликвидацию требуется значительно больше времени и средств. Часто не устраненное вовремя осложнение углубляется или является причиной новых осложнений; поэтому очень важно предупреждать их и быстро ликвидировать.

Поглощение промывочной жидкости является широко распространенным видом осложнений, его интенсивность зависит от величины перепада давления на пласт от проницаемости горных пород и свойств промывочной жидкости. В большинстве случаев поглощение приурочено к проходке сильно трещиноватых и кавернозных карбонатных пород, галечниковых и песчаных отложений. Снижение уровня промывочной жидкости в скважине может привести к снижению противодавлению на слабоустойчивые породы и к их обрушению.

Обвалы стенок скважины возникают как в рыхлых, так и в скальных породах. В рыхлых породах поддержание стенок скважины в устойчивом состоянии достигается противодавлением столба промывочной жидкости на пласт. В глинистых породах возможно существенное снижение устойчивости за счет повышения влажности, вызванной контактом с раствором и проникновением фильтрата раствора. Об обвалах судят по возрастанию давления на буровых насосах, повышенному выносу обломков породы и шлама из скважины, возрастанию крутящего момента. Обвалы могут привести к прихвату инструмента. Процессы обвалообразования интенсифицируются во времени, поэтому важно вести бурение быстро, без задержек.

На буровой установке должен быть необходимый комплект специального ловильного инструмента. Ловильный инструмент предназначен для захвата и извлечения оставленных в скважине частей бурового снаряда, промывочных труб и других предметов.

Метчик - ловильный резьбонарезной инструмент с конической наружной нарезкой для соединения с внутренней поверхностью извлекаемых труб. На его рабочей поверхности профрезерованы продольные канавки, которые образуют режущую кромку, обращенную в сторону вращения метчика. Нарезка на верхней цилиндрической части метчика служит для соединения последнего с бурильными трубами.

Колокол – ловильный резьбонарезной инструмент с внутренней конической нарезкой для соединения с наружной поверхностью извлекаемых труб. Колокола рекомендуется применять при ловле утонченной части буровых труб; при соединении с трубой, имеющей клиновидный или спиральный излом, а также продольный разрыв; при устранении аварий, требующих расхаживания колонны и приложения больших крутящих моментов, т.е. когда снаряд прихвачен; при извлечении любых предметов цилиндрической формы (сплошных и пустотелых).

В зависимости от способа соединения с оставшейся частью, колокола подразделяются на резьбонарезные и гладкие; по конструктивному выполнению - с резьбой под направляющую воронку для облегчения ловильных работ в скважинах большого диаметра; с воронкой, изготовленной за одно целое с корпусом колокола; без направляющей воронки и резьбы под нее.

Колокола всех типов могут быть с правыми и левыми резьбами. Последние предназначены для развинчивания колонны и подъема ее по частям.

Труборезы – аварийные инструменты, служащие для отрезания труб в скважине с целью их извлечения. Они представляют собой сочетание режущего и захватывающего узлов, что позволяет за один раз произвести отрезание части трубы аварийной колонны, ее захват и извлечение на поверхность.

Мелкие предметы, попавшие в скважину, извлекаются с помощью паука, представляющего собой трубу, на нижем конце, которой вырезают зубья высотой 150-200 мм. Мелкие стальные предметы удаляются из скважины магнитными ловушками, в корпусе которых помещены постоянные магниты.

Аварии, возникающие при бурении, могут быть обусловлены:

– геологическими причинами (обвалы стенок скважины в неустойчивых породах закарстованыость и трещиноватость пород, тектонические нарушения, встреча плывунов с большим напором и т.п.);

– небрежным отношением к уходу за оборудованием и выполнению правил, предупреждающих аварии;

– использованием неисправного или чрезмерно изношенного оборудования буровых и промывочных труб инструментов и принадлежностей;

– нарушением правил технологии бурения, работой на режимах, не соответствующих характеру буримых пород и создающих недопустимые нагрузки на буровой инструмент и оборудование.

Во избежание аварий с бурильными трубами необходимо:

– осуществлять систематический осмотр буровых труб и своевременно выбраковывать имеющие дефекты или чрезмерный износ;

– вести учет продолжительности работы труб, не включать в колонну трубы различного качества;

– следить за состоянием резьбовых соединений.

Основные виды осложнений при бурении и меры по их предупреждению и ликвидации представлены в табл. 6.

Таблица 6

Вид осложнений	Горные породы	Причины возникновения осложнений	Проявление осложнений	Основные меры предупреждения и ликвидации осложнений
Поглощение промывочной жидкости	Трещиноватые закарстованные рыхлые со значительной пористостью и низкими статическими уровнями подземных вод. Зоны тектонических нарушений	Превышение давления столба промывочной жидкости над пластовым. При спуско-подъемных операциях и бурении имеют место гидродинамические воздействия промывочной жидкости на пласт что интенсифицирует процесс поглощения и может привести к гидравлическому разрыву пласта	Нарушение циркуляции промывочной жидкости, затяжки и прихваты инструмента, а также обрушение пород	Исключение или сведение к минимуму динамических условий при спуско-подъемных операциях. Уменьшение противодавления промывочной жидкости на пласт путем снижения плотности раствора. Использование буровых растворов с высокими кольматирующими свойствами, тампонажных растворов (в том числе быстросхватывающихся) и инертных наполнителей
Обвалы стенок скважины	Пески, супеси, суглинки, глинистые сланцы, аргиллиты. Трещиноватые полускальные породы (известняки, доломиты, гипсы и т.д.)	В результате действия горного давления вышележащих пород. Недостаточное гидростатическое давление промывочной жидкости на стенки скважины. Снижение прочности пород за счет увлажнения	Кавернообразование и обильный вынос шлама, резкое повышение давления в нагнетательной линии насосов, прихват бурового инструмента. При спуске инструмент не доходит до забоя	Применение промывочных жидкостей с минимальной водоотдачей и плотностью, обеспечивающих устойчивость пород; применение технологий, обеспечивающих минимальные затраты времени на бурение. Скорость выноса шлама должна быть >0,8-1,0 м/с. Не допускать длительного пребывания бурового инструмента без движения
Сужение ствола	Глины, глиняные сланцы, аргиллиты, соляные породы	Выдавливание породы в ствол скважины под действием горного давления или при недостаточном противодавлении столба промывочной жидкости	Ползучесть породы и сужение ствола скважины, затяжки и прихват бурового инструмента	Применение утяжеленных растворов. Организация работ и применение технологии, обеспечивающие минимальные затраты времени на бурение

Образование желобов	Твердые глины, глинистые сланцы, аргиллиты и др.	Увеличение сил прижатия буровых труб к стенкам скважины на участках искривления стволов скважин. Значительное время бурения и частые спускоподъемные операции	Затяжки и прихваты бурового инструмента, необходимость проработки ствола скважины	Использование компоновок бурового инструмента и технологии бурения, обеспечивающих заданное искривление ствола скважины. Бурение с максимальной проходкой на долото и высокими коммерческими скоростями
Образование сальников	Глинистые породы	Недостаточная выносная способность промывочной жидкости, а также применение растворов с большой водоотдачей и образованием на стенках скважины толстой глинистой корки	Повышение давления в нагнетательной линии насоса; рост крутящего момента при бурении; затяжки и прихваты бурового инструмента	Увеличение интенсивности промывки, использование турбулизаторов на бурильной колонне. Периодическое проработывание ствола скважины при высоких частотах вращения колонны. Применение раствора с малой водоотдачей, обработка полимерами
Образование грифонов	Закарстованные трещиноватые рыхлые со значительной пористостью	Инфильтрация бурового раствора в окружающий грунт, недостаточное заглубление скважины	Непреднамеренные прорывы бурового раствора с выходом на дневную поверхность	Увеличение заглубления скважины, пригрузка грунтом места прорыва раствора, тампонаж затрубного пространства.
Растворение	Соляные породы	Растворение пород, слагающих стенки скважины под воздействием промывочной жидкости	Интенсивное кавернообразование, обвалы вышележащих пород, некачественное цементирование обсадной колонны	Применение безводных промывочных жид-костей, а также жидкостей, обеспечивающих минимальное растворение породы (соляные растворы, водогипановые и др.). Использование обычных глинистых растворов допустимо для маломощных пластов с обязательной их последующей изоляцией

Под **аварией** подразумеваются нарушения технологического процесса бурения, требующие проведения специальных работ по их устранению. Процесс бурения скважин требует осуществления постоянного контроля за применяемыми техническими средствами и технологией бурения, чтобы исключить возможность аварии или свести се к минимуму.

Основные виды аварий и способы их устранения приведены в таблице 7.

Таблица 7

Вид аварии	Причины возникновения	Методы ликвидации
Прихват инструмента при бурении	Обвал и осыпи стенок скважины, сужение ствола, образование желоба или сальников. Прижег долота.	Проработка ствола скважины с вращением, расхаживание колонны. Интенсивная промывка скважины. При отсутствии циркуляции – закачка жидкости под максимальным давлением. Применение гидравлических и вибромеханизмов, левого бурового инструмента и разбуривание оставшегося инструмента фрезерным долотом
Обрыв буровых труб, УБТ и замков	Применение труб изношенных, низкого качества и с дефектами. Отсутствие службы контроля состояния труб и замков. Высокие осевые нагрузки и частоты вращения. Навинчивание замков на трубы с малым моментом.	Соединение с оставшейся в скважине инструментом с помощью колокола, метчика или труболовки и извлечение инструмента из скважины
Отвинчивание или обрыв долота	Недостаточная затяжка долота, плохое качество резьб и недостаточный контроль их состояния.	Соединение с долотом через переводник, колокол или метчик. Возможно применение паука.
Поломка узлов и деталей долота	Использование долота с низким качеством изготовления или изношенного. Несоответствие типа долота проходимым породам. Удар долота о забой, заклинивание долота. Неправильный выбор режимных параметров бурения.	Извлечение узлов и деталей долота пауком или магнитным фрезером. Если это невозможно, то необходимо цементирование забоя и разбуривание фрезерным долотом.
Прихват .труб	Сужение.ствола скважины, обвал пород. Длительная остановка при бурении	Интенсивная промывка скважины. Проработка ствола скважины с расхаживанием колонны. Извлечение при максимальных усилиях. Применение гидравлических и вибромехаиизмов. Взрыв торпеды и детонирующего шнура в месте прихвата. Извлечение труб по частям или с применением труборезки
Обрыв труб	Недостаточная затяжка резьб. Низкое качество труб и элементов их соединений, недостаточный контроль за их состоянием.	Извлечение труб с помощью муфты или ниппеля, применение метчика или труболовки.
Отвинчивание труб	Плохое качество резьбы, не используются специальные смазки для резьб.	Замена изношенных промывочных труб. Повторное свинчивание резьбового соединения.

Ассортимент установок ГНБ Astec Undergdround покрывает весь спектр потребностей современного строительства. Установка DD-1100 превосходит миниатюрную DD-65 по массе в 35 раз (43 т против 1200 кг). Еще более разительна разница в крутящем моменте (678 и 136000 Нм) и тяговом усилии (2,72 и 500 т).

Пульт управления установкой горизонтально-направленного бурения Astec DD-3238 приведен на рисунке 21.

Рис. 21

Фирма Charles Machine Works, Inc. The Charles Machine Works, Inc. является одним из мировых лидеров по производству оборудования для бестраншейных технологий, самостоятельно разрабатывающего практически все компоненты систем выпускаемого бурового оборудования, включая буровой инструмент, штанги и электронные системы слежения. В ассортименте фирмы 9 моделей установок ГНБ – от самой маленькой JT-520 (масса – 1352 кг, длина прохода – до 50 м, диаметр – до 102 мм, усилие проталкивания/тяги – 2000/2200 кг.

Установки для горизонтально-направленного бурения: Robbins 2420 (диаметр коммуникации до 450 мм/длина бестраншейного участка до 300 м); Robbins 4510 (800 мм/457 м); Robbins 6015 (600 мм/610 м); Robbins 9015/ Robbins 9030 (900 мм/914 м); Robbins 18030 (1350 мм/1372 м); Robbins 25030 (1500 мм/1524 м); Robbins 36030 (1350 мм/1830 м); Robbins 50030 (1800 мм/1830 м); Robbins 100030 (2000 мм/2000 м).

В ассортименте фирмы Vermeer Manufacturing Company 16 установок: от самой маленькой Navigator PL8000 весом менее полутонны и, тем не менее, обеспечивающей бурение скважин с протяженностью до 95 м, диаметром до 300 мм и силой протяжки 3990 кг до таких гигантов, как Navigator D150X300 и Navigator D200X300 массой 34473 кг с протяженностью бурения почти в полтора километра, расширением до 1200 мм, силой протяжки – 68039 и 90719 кг.

Известная швейцарская фирма TERRA AG уже более 30 лет производит оборудование для прокладки подземных инженерных коммуникаций без вскрытия грунта. Самая маленькая в модельном ряде TERRA MINI-JET MJ 1400 – компактная установка горизонтально-направленного бурения с приме-

нением раствора для буровых скважин длиной до 50 м и диаметром до 260 мм (используются штанги длиной 0,5 м, с минимальным радиусом изгиба R=15 м). Самая большая – TERRA-JET 6015 D предназначена для прокладки буровых каналов длиной до 400 м и диаметром до 650 мм.

В последнее время большое распространение получили системы вакуумной экскавации грунта. Применительно к горизонтально-направленному бурению (ГНБ) они используются для быстрого выполнения шурфов для обнажения подземных инженерных коммуникации, отсоса бурового раствора из котлованов и уборки места работы. Система вакуумной экскавации грунта Vermeer E900 EVACUATOR приведена на рисунке 22.

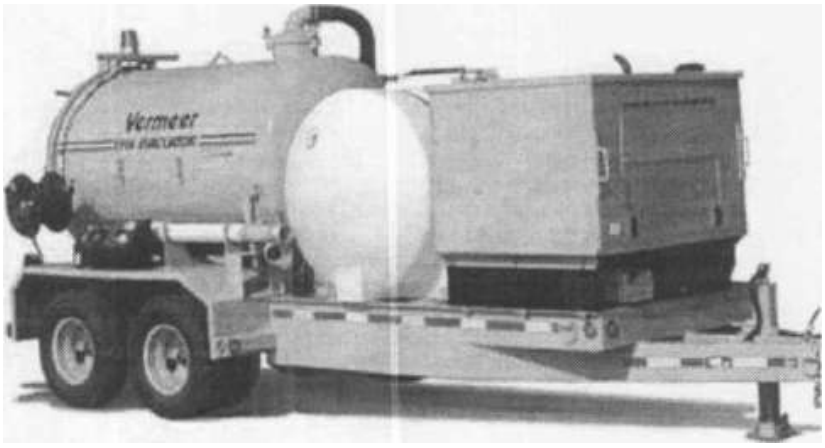


Рис. 22

Серия установок компании Tracto-Technik. ГНБ GRUNDODRILL X включает модели массой: 7Xplus TD (для прокладки труб диаметром до 300 мм на длину до 200 м), 10X TD (для прокладки труб диаметром до 355 мм на длину до 250 м), 13X TD (для прокладки труб диаметром до 3400 мм на длину до 300 м); 15X (для прокладки труб диаметром до 3400 мм на длину до 350 м).

Серия GRUNDODRILL S Family – это две модели: 10S TD (6600 кг) и 20S TD (14000 кг) приведена на рисунке 23.

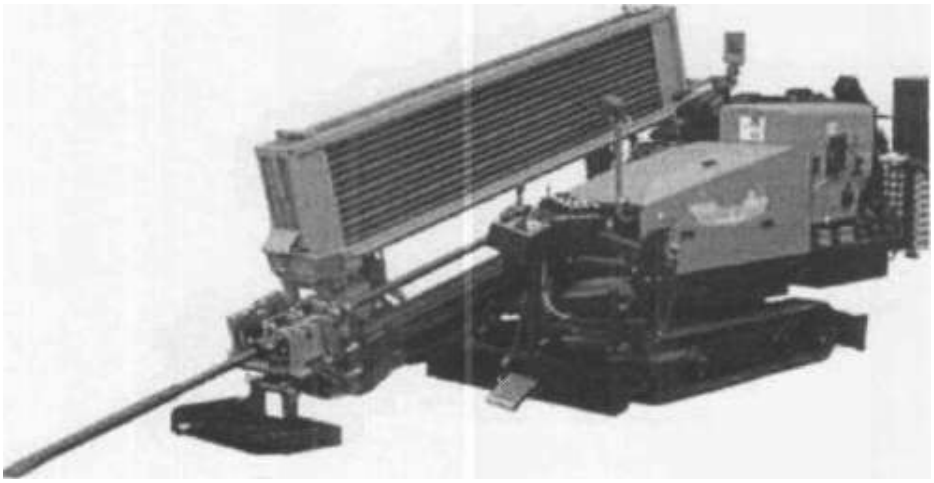


Рис. 23

Классификация установок ГНБ

Таблица 8

Класс установки ГНБ	Тяговое усилие, тс/кн	Диаметр прокладываемой коммуникации, мм	Типовые представители моделей установок ГНБ	Основные параметру модели установки ГНБ		
				Тяговое усилие, тс	Диаметр прокладываемой коммуникации, мм	Длина прокладываемой коммуникации, м
Мини	до 12/117,72	от 32 до 315	VERMEERD7×11	3,2	250	95
			VERMEERD 10×15	7,2	350	130
			VERMEER D 24×40	10,8	600	320
			TRACTO-TECHNIK 6.5	6,5	300	200
			TRACTO-TECHNIK 10S	10,0	450	300
			TRACTO-TECHNIK 12G	12,0	600	350
Миди-1	12-25/ 117,72-245,25	от 32 до 500	VERMEER D 36 × 50	16,3	600	400
			ROBBINS HDD 4515 TMS C	21,3	800	457
			VERMEERD 50×100	22,5	700	600
Миди-2	25-45/ 245,25-441,45	от 32 до 800	ROBBINS HDD 6015 TMS C	28,4	1000	610
			ROBBINS HDD 9015 TMS C	42,6	1200	914
			WIRTH PB 30	34.7	1200	900
Макси-1	45-150/ 441.45-1471.5	от 32 до 1400	WIRTH PB 50	57,1	1500	1200
			WIRTH PB 70	71,4	1500	1300
			ROBBINS HDD 9030 TMS C	81,7	1300	1372
			ROBBINS HDD 18030 TMS C	114,0	1300	1524
Макси-2	более 150/1471,5	от 1400 до 2000	ROBBINS HDD 25030 TMS C	163,0	1600	1830
			ROBBINS HDD 36030 TMS C	230,0	1600	1830
			ROBBINS HDD 50030 TMS C	342,5	1600	1830
			WIRTH PB 150	157,1	1600	1800
			WIRTH PB 250	260,2	1600	1800

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

ПИОНЕР

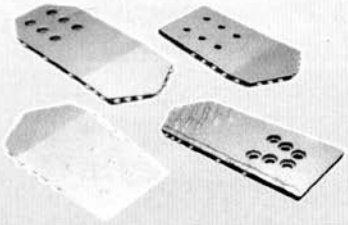
Передовой бур (пионер) со сменными насадками создан для проведения универсальных работ.

Буровая лопатка расположена по центру для максимальной эффективности, это расположение создает оптимальный угол резания грунта, снижает крутящий момент и улучшает работу вашей буровой установки.

Пионер является разборным. Буровая лопатка и носовая часть легко заменяются, что снижает затраты и время на замену изношенного инструмента.

Диаметр пионера, мм	Стоимость, у.е.
82	1150
92	1370
105	1660

БУРОВЫЕ ЛОПАТКИ



Буровая лопатка расположена по центру для максимальной эффективности, это расположение создает оптимальный угол нарезания грунта, сокращает требования по крутящему моменту и улучшает работу вашей буровой установки. Ширина буровой лопатки может подбираться под условия грунта.

Буровая лопатка с изгибом ошипованная и обваренная твердосплавом

Ширина буровой лопатки, мм	Стоимость, у.е.
115	110
135	115
160	125

Буровая лопатка прямая обваренная твердосплавом

Ширина буровой лопатки, мм	Стоимость, у.е.
115	80
135	85
160	90

Буровая лопатка прямая ошипованная и обваренная твердосплавом

Ширина буровой лопатки, мм	Стоимость, у.е.
115	100
135	110
160	115

Буровая лопатка с изгибом обваренная твердосплавом

Ширина буровой лопатки, мм	Стоимость, у.е.
115	85
135	90
160	100

ПЕРЕХОДНИКИ И ПЕРЕВОДНИКИ

Диаметр пионера, мм	Стоимость, у.е.
82	90
92	95
105	100

РАСШИРИТЕЛИ СКВАЖИН (римеры)

Режущие римеры имеют различный дизайн, что предоставляет возможности для выполнения работ в песке, глине, легких сланцах и т.д.

Универсальная крыловидная форма способствует быстрому прониканию и более мягкой нарезке даже при малом крутящем моменте.

Радиально-поточный ример

Используется в неуплотняемых почвах, содержащих слои песка и гравия.
Размеры: от 101,6 мм до 508 мм.

Диаметр римера, мм	Стоимость, у.е.
160	500
200	600
250	805
350	1050
400	1165
500	1345
600	1615
780	1840

Ример режущий зубчатый

Зубчатый расширитель скважин просто необходим для работы в сложных составных почвах. Может успешно работать в сложных грунтовых условиях, включая сочетания глины и булыжного камня. Долговечные твердосплавные лезвия, расположенные точно по спиральным линиям, придают расширителю необычайно сильный режущий и смесительный эффект.

Диаметр римера, мм	Стоимость, у.е.
350	1200
400	1295
500	1495
600	1795
800	2100

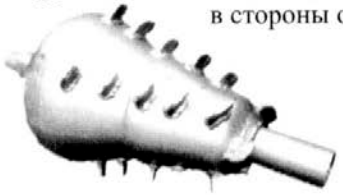
Трехфункциональный ример

Ример Tri Action имеет форму длинной свечи имеющей три больших желобка, которые позволяют легко отбрасывать нарезанный грунт, обеспечивая прохождение буровой жидкости, и предотвращают застревание.

Режущая кромка защищена высокопрочным материалом. Ример создан для работы в затрудненных условиях и уплотненных грунтах.

Диаметр римера, мм	Стоимость, у.е.
250	1200
350	1350

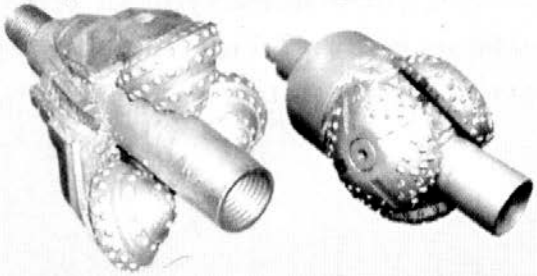
Ример калибрующий



Используется для увеличения диаметра скважины путем сжатия почвы в стороны от ее оси.

Диаметр римера,	ммСтоимость, у.е.
230	850
320	1300
400	1600
530	2500
620	3100
730	4000

Римеры для скальных пород



Диаметр римера, мм	Стоимость, у.е.
212	3000
250	2100
350	2800

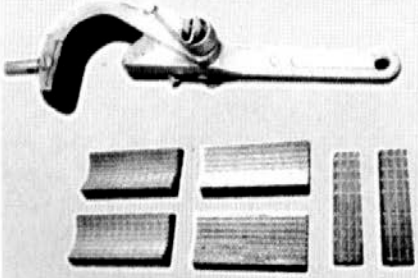
ВЕРТЛЮГ

Усилие протяжки до 16 тонн

Усилие протяжки до 40 тонн

Усилие протяжки, т	Стоимость, у.е.
16	1100
25	1485
40	2800

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ



1.Комплект для измерения вязкости бурового раствора.
2.Комплект фильтров.
3.Заглушка буровой штанги.
4.Комплект инструментов для раскручивания штанг в стесненных условиях 500 у.е.
5.Ключ одношарнирный трубный 85 у.е.
6.Плашки для механизма раскручивания буровых штанг.

Расходные материалы:

Полимер (18 кг бочка)	232 у.е.
Бентонит HYG 200 (бумажный мешок 22,7 кг)	820 у.е./тонн
Смазка для штанг (ведро 4,5 кг)	180 у.е.
Твердосплав (резцы)	8 у.е.

Оборудование для приготовления бурового раствора

Полиэтиленовая емкость объемом 2000 литров, насос Robbin мощностью 7,5 л.с., 3-х дюймовые резиновые шланги и шаровые краны, фильтр, приемный резервуар.

Цена за комплект 6 800 у.е.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Г. А. Усов

Промывочные жидкости

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
«Бурение скважин в осложненных условиях»
для студентов специальности
21.05.03 Технологии геологической разведки

очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

Практические занятия - важнейший элемент подготовки молодого специалиста - предусматривают выполнение студентами под руководством преподавателя самостоятельных заданий, включающих экспериментальные исследования по результатам непосредственного наблюдения изучаемых объектов и процессов.

Главной целью методических указаний является знакомство с теоретическими положениями изучаемой дисциплины, приобретение навыков экспериментальной деятельности, обеспечение глубокого понимания студентами изучаемых явлений, закономерностей и форм их проявления, формирование у будущих специалистов практических умений и навыков в области общеинженерной деятельности и овладения специальностью.

В соответствии с требованиями УМС практические работы должны содержать следующие основные элементы:

- теоретическую часть работы, помогающую понять изучаемые процессы или явления, цели и задачи, стоящие перед студентами при выполнении работы;
- методическую часть, целью которой является изучение применяемых и исследуемых образцов и материалов, методик экспериментов, оборудования, приборов, используемых в практической работе;
- экспериментальную часть, в которой осуществляются процессы подготовки образцов (проб), технологические процессы их обработки, снятие характеристик процесса, определение параметров после завершения процесса;
- обсуждение результатов и составление выводов по работе, что позволяет установить, достигнута ли цель, в краткой форме сформулировать основные сведения об изучаемом материале, процессе, явлении.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед проведением практических работ студенты должны изучить правила безопасного ведения работ и противопожарной безопасности и после инструктирования их преподавателем расписаться в журнале инструктажа.

Практическая работа выполняется по теме, по которой начитан теоретический материал. Для успешного проведения работы студенты должны обладать минимальным запасом теоретических знаний. Контроль этих знаний проводится преподавателем в виде опроса (в устной или письменной форме), на основе новых информационных технологий (тестов).

Студенты, не получившие допуск, отстраняются от выполнения практической работы, а её выполнение проводится студентом после проверки его знаний индивидуально.

Допуск студентов на последующие практические работы производится после контроля знаний по этой работе, сдачи отчёта и защиты по предыдущей работе.

Подгруппа может разбиваться на бригады по 2-3 человека.

Отчёт должен оформляться по каждой практической работе титульным листом и содержать следующие основные разделы:

- цель и основные задачи;
- теоретическая часть;
- описание установок, приборов, инструмента, материалов, реагентов;
- методика выполнения работы;
- результаты наблюдений;
- анализ результатов исследований и выводы;
- список литературы.

Отчёт должен иллюстрироваться таблицами, графиками, рисунками.

Защита практической работы осуществляется каждым студентом отдельно на очередном занятии после представления отчёта.

Практическая работа 1.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЛИНЫ И ВОДЫ.

Цель работы: Изучить методики определения качества глины, как структурообразователя бурового раствора.

Теоретическая часть

Структурированные промывочные жидкости представляют собой дисперсные системы, состоящие из дисперсионной среды и дисперсной фазы.

В качестве дисперсной среды чаще всего используют воду, а в качестве дисперсной фазы структурообразователи: глинистые минералы, полимеры, конденсированную твёрдую фазу. Наиболее доступным и дешёвым структурообразователем являются глинистые минералы: монтморилонит, иллит, каолинит. Эти листовые силикаты, легко диспергируют вследствие их листовой структуры и гидрофильности в воде на тонкие частицы размером в микрон и менее.

Благодаря наличию нескомпенсированного поля межмолекулярных сил и функциональных (полярных) групп с отрицательный зарядом на поверхности частиц происходит адсорбция молекул воды (гидратация частиц) с образованием общей гидратной структуры промывочной жидкости. Прочности структуры (прочность адсорбированного слоя) глинистого раствор, а значит и качество глины определяется суммарно поверхностью частиц (дисперсностью глины) количеством и активностью (гидрофильностью) функциональных групп $\equiv SiO$ $\equiv SiOH$.

Благодаря огромной суммарной поверхности глинистых частиц таких минералов, как монтморилонит, почти вся вода бурового раствора становится адсорбированной (гидратированной). Дисперсная система превращается в гель.

Наиболее легко диспергирует в воде натриевый монтморилонит, представляющий собой совокупность глинистых частиц, состоящих из пакетов двухлистовых кремнекислородных тетраэдров, связанных гидроаргилитовым слоем $Al(OH)^{2+}$.Пакеты

между собой слабо связаны обменными ионами Na которые в воде легко диссоциируют, глинистые частицы расщепляются на более мелкие частицы.

Кальциевые монтморилониты в связи с более прочными связями пакетов диспергируют значительно труднее, поэтому считаются менее качественными.

Ещё хуже диспергируют в воде (вследствие более прочных связей между пакетами) иллиты и каолиниты.

Существенное влияние на диспергирование глинистых частиц оказывают минеральные компоненты воды, в первую очередь ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}. При значительном содержании в воде они способствуют дегидратации (нейтрализации заряда, снижению гидрофильности) частиц и их сшиванию. Поэтому для приготовления глинистых растворов используют воду с общей жёсткостью не более 12-15° (1° жёсткости соответствует 10 мг CaO в 1 л воды). Жёсткость воды определяют титрованием воды с добавкой 2,5 мл аммиачного раствора раствором олеата калия.

$$Н° = 20\ П \cdot \delta\ , \qquad (1.1)$$

где П - количество раствора олеата калия, израсходованного на титрование, мл, δ - титр олеата калия (количество г в I мл).

Таким образом, наиболее качественными глинистыми структурооразователями являются монтморилонитовые (бентонитовые) глины.

Оценку качества глины для приготовления раствора производят визуальным методом, методом смачивания (по Н. А. Максимовичу) и по выходу раствора (количеству $м^3$ раствора, вязкостью 25 *с*).

$$Q_р » 630/ (\delta_р - 1000), \qquad (1.2)$$

где $\delta_р$ - плотность глинистого раствора при условной вязкости 25 с.

Визуальный метод используют для оценки качества комовой глины. Глина считается пригодной, если при естественной влажности и воздушно сухом состоянии:

а) характеризуется большим сопротивлением излому; б) при изломе образует острые края; в) не поддаётся раздавливанию пальцами даже в мелких кусочках; г) даёт тёмную полированную поверхность при резании ножом; д) в эластичном (смоченном

водой) состоянии раскатывается в длинные шнуры, диаметром I мм и менее.

Метод смачивания используют для определения качества порошкообразной глины. С помощью этого метода примерно можно определить и минеральный состав глины.

За показатель качества глины принимают условную величину

$$K = t\,d\,, \qquad (1.3)$$

где L - время впитывания I мл весьма гидрофильного (с высокоэлектроотрицательными атомами) раствора, например, 4 % раствора пирофосфорнокислого натрия ($Na_4P_2O_7$), d – диаметр смоченной раствором глины, мм.

Благодаря высокой гидрофильности раствор интенсивно всасывается глинопорошком. Чем выше дисперсность и гидрофильность частиц глины, тем быстрее и на более значительное расстояние (больший объём) распространяется раствор. При К>300 глина считается монтморилонитовой, при К = 300 100 - иллито-каолинитовой, при К = 100 - 50 - каолинитоиллитовой, при К < 50 - каолинитовой.

Методическая часть

Для определения качества комовой глины необходимо иметь: исследуемую глину в воздушно сухом состоянии, линейку, перочинный нож.

Для определения качества порошкообразной глины: сито с отверстиями 0,5 мм, фарфоровую чашку с пестиком, 4% раствор пирофосфорнокислого натрия, пипетку, секундомер.

Для определения качества воды: аммиачный раствор, раствор олеата калия, мензурку 250мл.

Экспериментальная часть

Подгруппа разбивается на четыре бригады. Одна бригада исследует качество комовой глины. Для этого глину подвергают излому, раздавливанию, режут ножом, в пластичном состоянии раскатывают в шнуры. Затем после размельчения глины в фарфоровой чашке определяют показатель К подобно рассмотренному ниже

$$K = t\,d\,,$$

Результаты испытаний заносят в табл.1.

Вторая бригада исследует качество глинопорошка. Для этого порошок просеивают через сито; 40-50 г просеянного глинопорошка высыпают в фарфоровую чашку, уплотняют пестиком и выравнивают его поверхность.

С помощью пипетки в центр чашки вводят по каплям (по мере впитывания) 1 мл 4 % раствора пирофосфата натрия и засекают время впитывания по секундомеру.

Расстояние нижнего конца пипетки от поверхности глинопорошка должно быть не более 2 см, каждая капля должна направлена в одну точку.

После впитывания последней капли раствора секундомер выключают и линейкой определяют диаметр смоченной поверхности. При неравномерном распространении раствора определяют диаметр в различных направлениях и рассчитывают среднее значение d.

По полученным результатам вычисляют показатель К:

$K = t\,d.$.

Одновременно с этим оценивают характер смоченной поверхности: набухание, усадку, толщину увлажнённого слоя.

По показателю К определяют минеральный состав глины. Глины с показателем К =100, а также при явно выраженной усадке смоченной поверхности для приготовления бурового раствора не пригодны.

Полученные результаты необходимо занести в табл.1.

Таблица 1

	Визуальный метод				Метод смачивания			
	Сопротив. излому	Сопротив. раздавлив.	Характер поверх. разреза	Диаметр и длина шнура	t, мин	d, мм	К =	Характер смоченной поверхности

Третья бригада определяет качество воды (её жёсткость).

Для этого: в мензурку ёмкостью 250 мл заливают 50 мл исследуемой воды; добавляют 2,5 мл аммиачного раствора; проводят медленное титрование раствором олеата калия (титр которого известен) до образования стойкой (мелкопузырчатой) пены, сохраняющейся 4-5 мин.

При титровании после очередного прибавления раствора обязательно нужно встряхивать содержимое мензурки.

После образования стойкой пены вычисляют жёсткость воды

$$Н° = 20 П \delta$$

Результаты испытаний занести в табл.2.

Таблица 2

Проба воды	П, мл	δ , град	$Н^{о}$, град	Примечание

Четвёртая бригада определяет качество глины по выходу раствора. Для этого необходимо приготовить 0,5 л глинистого раствора с условной вязкостью 25 с, замерить его плотность и по формуле (2) определить выход раствора

$$Q_{р} = 630/ (\delta_{р}-1000).$$

Анализ результатов исследований. Выводы

На основании заполненных таблиц необходимо определить минеральный состав, сделать выводы о качестве глины и её пригодности для приготовления глинистых растворов, то же Сделать и по отношению к воде.

Практическая работа 2.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОФИЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БУРОВЫХ (ГЛИНИСТЫХ) РАСТВОРОВ

Цель лабораторной работы - экспериментально раскрыть теоретические положения о природе структурирования глинистых растворов, получить навыки экспериментальной деятельности, обеспечить глубокое понимание явлений структурирования глинистых растворов.

Структурированные промывочные жидкости при бурении скважин применяют с целью кольматации пор и трещин горных пород, закрепления стенок скважин, представленных рыхлыми и неустойчивыми горными породами, создания противодавления на стенки скважин неустойчивых пород. Структурированные жидкости обладают малой водоотдачей, что предотвращает набухание глинистых пород и их обвалы; обладают высокой несущей способностью, что позволяет выносить с забоя тяжёлый шлам.

Теоретическая часть

"Структура - это совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающая его целостность, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях".

В коллоидной химии понятию структура придаётся более широкий смысл. По классификации П. А. Ребиндера для дисперсных систем выделяют два типа структур: кристаллизационный (конденсационный) и коагуляционный (тиксотропный). Если первый тип структур соответствует вышеописанному определению, т. е. представляет собой совокупность устойчивых связей твёрдых частиц с образованием жёсткого каркаса, то второй тип структур представляет собой совокупность неустойчивых связей твёрдых частиц, обеспечивающих устойчивые связи только в состоянии покоя. При течении эти временные структуры (пространственные каркасы) разрушаются.

Таким образом, под структурой дисперсных систем понимают совокупность межмолекулярных связей частиц твёрдой фазы.

Коагуляция частиц (межмолекулярное взаимодействие) возможна лишь на незначительных расстояниях между частицами, измеряемых чаще всего десятками нанометров (т. е. в весьма концентрированных твёрдых дисперсных системах или растворах с гидрофобной твёрдой фазой).

В промывочных жидкостях расстояния между частицами значительно превышают названную величину. В этих системах с гидрофильной твёрдой фазой прочность структуры осуществляется за счёт гидратных слоёв. В зависимости от гидрофильности твёрдой фазы и характера структуры (за счёт коагуляции частиц или за счёт гидратных, адсорбционных слоёв) структуры буровых растворов можно разделить на гидрофобные и гидрофильные. Задачей лабораторной работы является изучение гидрофильной структуры. В качестве структурированных промывочных жидкостей в практике бурения чаще всего применяют глинистые растворы.

Прочность структуры глинистых растворов зависит от количества глинистых частиц в единице объёма (концентрации и дисперсности глины) и их активности (гидрофильности).

Глина - это совокупность глинистых частиц различных фракций и различных минералов (силикатов), чаще всего листовых. Поверхность частиц силикатов представлена кремнекислородными группами (силанольными анионами) $\equiv SiO^-$. Кислород, как известно, обладает весьма высокой электроотрицательностью, поэтому поверхность частиц оказывается полярной с отрицательным зарядом и способна взаимодействовать с различными катионами, наиболее активно (по исследованиям академика Гедройца) с ионами водорода, который способен вытеснить даже трёхвалентные катионы. В результате нейтрализации полярной группы водородом $\equiv SiOH^+$ заряд частиц, а следовательно, её активность понижаются.

Под воздействием заряда частиц вокруг *них* образуется плотный гидратный слой четко соорентированных и прочно связанных молекул-диполей воды. Гидратный слой обладает высокой прочностью, в результате чего и промывочная жидкость становится более вязкой с прочной структурой. Прочность

гидратного слоя (прочность межмолекулярных связей воды) зависит от его толщины

$$f = \frac{c}{r^7} \tag{2.1}$$

где r - толщина слоя.

Чем больше глинистых частиц и меньше расстояния между ними (тоньше гидратный слой), тем прочнее структура промывочной жидкости.

Качество глины определяется как её способностью диспергировать в воде, так и количеством функциональных групп ($\equiv SiO^-$; $\equiv SiOH^-$) и их активностью. Наиболее интенсивно диспергируют в воде натриевые монтморилониты, пакеты которых связаны слабыми одновалентными катионами Na^+, легко диссоциирующими в воде. Труднее диспергируют кальциевые монтморилониты.

С целью удаления или замены натрием обменных катионов Ca^{2+}, сшивающих пакеты глинистых частиц в глинистый раствор добавляют щелочные электролиты, способные взаимодействовать с катионами Ca^{2+} и образовывать нерастворимые соли. Наряду с удалением ионов Ca^{2+} щёлочи способны удалять водородный экран и переводить малоактивные функциональные группы $\equiv SiOH^-$ более активные $\equiv SiO^-Na^+$.

Пример: В воде кальцинированная сода диссоциирует на ионы

$H_2O + Na_2CO_3 \rightarrow HCO3 + OH^- + Na^+ HCO^-_3$ взаимодействует с обменными катионами и выпадает в осадок

$$Ca^{2+} + HCO^-_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Оксигруппа OH^- взаимодействует с водородом функциональной группы и образует воду, а функциональная группа OH переходит в более активную группу $\equiv SiO^-$

$$\equiv SiOH^- + OH^- \rightarrow SiO^- + H_2O$$

Вследствие этого при обработке глинистого раствора щёлочью стабильность (агрегативная и седиментационная устойчивость) раствора повышается.

Однако с увеличением щёлочи увеличивается не только концентрация оксигруппы OH^-, но и концентрация катионов (в

частности Na+),которые при избытке щёлочи способствуют нейтрализации (снижению) гидрофильности глинистых частиц. Поэтому щёлочность глинистого раствора должна контролироваться специальными приборами.

Кроме качества глины, на прочность структуры оказывает влияние её концентрация. Суммарная энергия взаимодействия молекул воды с поверхностью глинистой частицы определяется суммой энергий ориентационного и электростатического взаимодействий.

$$U=\frac{m\,e\,\mu}{2}+\frac{2\,n\,\mu^4}{3r^6\,R\,T}, \qquad (2.2)$$

где e – заряд иона частицы, μ- дипольный момент частиц, *m*-число взаимодействующих ионов.

Для разбавленных растворов (при расстояниях, превышающих действие межмолекулярных сил) между частицами и молекулами воды действуют только электростатические силы

$$f=\frac{m\,e\,\mu}{r^3}=\frac{m\,e\,\mu\,C}{V_{ср}}, \qquad (2.3)$$

где

$$r=\sqrt[3]{\frac{V}{n}}=\sqrt[3]{\frac{V_\phi\,V}{V_{ср}}}=\sqrt[3]{\frac{V_{ср}}{C}}$$

Здесь V- объём раствора, *n* - число глинистых частиц, $V_{ср}$- объём одной усреднённой частицы, V_ϕ - объём всех частиц, C - концентрация глины в растворе.

Из формулы (2.3) следует, что для разбавленных растворов прочность структуры прямо пропорциональна концентрации глины и обратно пропорциональна объёму частиц.

В концентрированных растворах (при расстояниях действия межмолекулярного взаимодействия *r*)

$$f=\frac{2\,n\,\mu^4}{r^7}=2\,n\,\mu^4\left(\frac{C}{V_{ср}}\right)^{7/3}, \qquad (2.4)$$

Методическая часть

Основными показателями гидрофильной структуры глинистых растворов являются величина статистического напряжения сдвига (прочность структуры), водоотдача и стабильность.

Статистическое напряжение сдвига определяют по прибору СНС-2, представляющему из себя два соосных цилиндра (стакана, устанавливаемого на вращающемся столике и боба с рифлённой боковой поверхностью, подвешенного внутри стакана на упругой нити к кронштейну). Стакан через редуктор с частотой вращения 0,2 об/мин приводится в движение от электродвигателя.

Водоотдачу бурового раствора определяют по прибору ВМ-6,имеющему фильтрационный и напорный узлы. Фильтрационный узел состоит из фильтрационного стакана и основания, между которыми устанавливают фильтр. В основании просверлен канал, перекрываемый пробкой.

Напорный узел состоит из напорного цилиндра с тарелкой и клапаном для слива масла и плунжера - груза со шкалой.

Стабильность раствора определяют по суточному отстою в мензурке (в % осветлённой части раствора) и разности плотностей раствора в нижней и верхней частей цилиндра ЦС-I после отстоя его в течение суток

$$C=\rho_{н} - \rho_{в}$$

Порядок измерения статистического напряжения сдвига: 1) с помощью регулировочных винтов добиваются соосности подвешенного на кронштейне цилиндра и стаканна; 2) подвесную головку нити приподнимают и поворачивают до полного совмещения нуля риски с риской указателя (закреплённого на кронштейне); 3) заполняют стакан раствором (при этом не следует смачивать верхний торец цилиндра); 4) путём поворота цилиндра в стакане перемешивают раствор и оставляют его в покое на 1 мин; 5) через минуту включают двигатель и после полной остановки поворота лимба берут отсчёт угла поворота; 6) таким образом, (после перемешивания раствора и минутной выдержки) берут три замера и определяют среднее значение угла поворота $\varphi_{ср}$; 7) вычисляют СНС по формуле $\theta = K\varphi_1$; 8) аналогичным способом замеряют СНС через 10 мин покоя 10= $K\varphi_{10}$. Коэффициент упругости нити K = 1,26.

Порядок измерения водоотдачи: 1) насухо протереть все детали прибора; 2) смочить два листа фильтровальной бумаги и отжать влагу между листами;3) уложить фильтром (а сверху них резиновую прокладку) в гнездо основания;4) закрепить стекай в

основании; 5) установить пробку; 6) заполнить стакан раствором; 7) закрепить напорный цилиндр на стакане; 8) закрыть клапан напорного цилиндра; 9) заполнить цилиндр маслом; 10) вставить плунжер; 11) с помощью клапана спустить масло в тарелку до совпадения нуля шкалы с риской на верхней части цилиндра, после чего клепан закрыть; 12) извлечь пробку в основании прибора; 13) включить секундомер, через 30 мин взять отсчёт по шкале прибора; 14) с помощью клапана слить масло в тарелку; 15) снять плунжер;16) отсоединить напорный цилиндр от стакана и слить масло из тарелки в ведро;17) вылить масло и раствор из стакана, ополоснуть стакан; 18) нельзя ополаскивать детали напорного узла.

Щелочность бурового раствора определяют по лакмусовой бумаге или с помощью специального прибора pH-метра, основанного на способности одного из его электродов в зависимости от концентрации водородных ионов изменять потенциал. Потенциал другого электрода (электрода сравнения) остаётся постоянным.

В результате изменения потенциала измерительного электрода создаётся меняющаяся с изменением pH разность потенциалов, которая с помощью электронного усилителя усиливается и фиксируется прибором со шкалой, протарированной в единицах pH.

В качестве измерительного электрода используют стеклянную трубочку с толщиной стенки 0,01 мм, заполненную 0,1H раствором HC1,в которую помещён вспомогательный хлорсеребряный электрод. Стеклянный электрод имеет отрицательный заряд. С увеличением концентрации катионов водорода заряд постепенно нейтрализуется, потенциал электрода понижается.

В качестве электрода сравнения используют каломельный электрод, состоящий из металлической ртути, покрытой каломелью Hg_2Cl_2, и погруженный в насыщенный раствор KCI.

Экспериментальная часть

Для проведения лабораторной работы заранее приготавливают пасту из бентонитового глинопорошка на пресной воде при соотношении бентонита и воды I:I по массе.

Из приготовленной пасты студенты на миксере готовят 15 % глинистый раствор на водопроводной воде.

Подгруппа разбивается на 3-6 бригад. Каждой бригаде выдаётся задание:

1-й бригаде - замерить статическое напряжение СНС «водоотдачу В и pH необработанного раствора;

2-й бригаде – 15 % раствор обработать кальцинированной содой из расчёта 2 % соды от содержания глины, раствор перемешать (в течение 5 мин) и после этого замерить СНС,В и pH;

3-й бригаде - разбавить 15 % глинистый, обработанный щёлочью раствор до 10 % и после перемешивания замерить СНС,В и pH;

4-й бригаде - разбавить 15 % глинистый, обработанный щёлочью раствор, до 5 % и после перемешивания замерить СНС,В и pH;

5-й бригаде разбавить 15% глинистый обработанный раствор до 2% и после перемешивания замерить СНС,В и pH.

Полученные бригадами замеры занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№	Необраб. 15 % глинистый раствор	15 % обраб. щелочью глинистый раствор	10 % обраб. щелочью глинистый раствор	5 % обраб. щелочью глинистый раствор	2 % обраб. щелочью глинистый раствор	Примечание
ПаН						

По экспериментальным данным необходимо построить графики зависимости статического напряжения сдвигу (прочности структуры) от концентрации глины $\theta = \varphi(C)$, В= $\varphi(C)$, pH= $\varphi(C)$.

Обсуждение результатов. Выводы

На основании таблицы и графиков необходимо сделать выводы о целесообразности обработки глины кальцинированной содой, о влиянии концентрации глины в растворе на статическое напряжение сдвига, водоотдачу, а также выводы о соответствии экспериментальных результатов теоретическим.

Практическая работа 3.

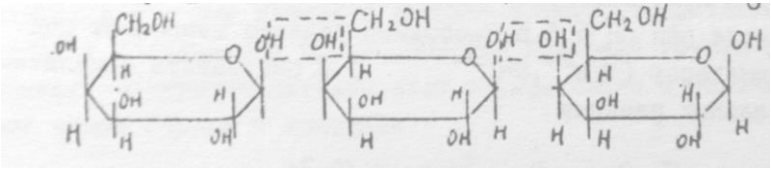
ИЗУЧЕНИЙ ГИДРОФИЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БУРОВЫХ (ПОЛИМЕРНЫХ) РАСТВОРОВ.

Цель работы: экспериментально доказать теоретические положении о природе структурирования полимерных растворов, получить навыки экспериментальной деятельности, обосновать глубокое понимание явление структурирования полимерных растворов.

Теоретическая часть

Полимерами называет соединения, молекулы которых состоят из большого числа атомных групп (звеньев),соединённых химическими связями в длинные цепи и сетки. Полимеры обладают гибкостью цепи, т.е. способностью звеньев под воздействием силового электрического поля какого-либо тела или соседних цепей вращаться относительно друг друга. Все полимеры, в зависимости от состава, подразделяют на органические и неорганические, органические - на природные и синтетические. К неорганическим полимерам можно отнести листовые силикаты. Наиболее широкое применение для приготовления промывочных жидкостей из органических природных полимеров получили производные целлюлозы, а из синтетических производные полиакриловой кислоты.

Целлюлоза (клетчатка) $C_6H_7O_2(OH)_3$ - природный полисахарид, образованный в результате поликонденсации Д - глюкозы $C_6H_{12}O_6$



Это главная составная часть клеточных стенок растений, обуславливающая их прочность. Получают целлюлозу путём растворения древесины и выделения из неё лигнина при сульфидной, сульфатной или щелочной варке. В промышленности целлюлоза используется для получения химических волокон (вискозного, ацетатного), пластмасс, целофана, бумаги, пороха, лаков и др.

В чистом виде целлюлоза в воде не растворяется вследствие наличия в макромолекуле большого количества оксигрупп, способных с атомами водорода соседних макромолекул образовывать прочные водородные связи. Для возможности растворения целлюлозы в воде часть оксигрупп замещают гидрофобными группами (что позволяет снизить прочность их молекулярных водородных связей) или более гидрофильными (полярными) функциональными группами.

*поликонденсация - процесс образования макромолекул с выделением воды.

По первому варианту путём замещения части оксигрупп OH^- гидрофобной метиловой группой $^-OCH_3$ получают метилцеллюлозу (ММЦ) $C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_3)_x$ оксиэтильной группой – оксиэтилцеллюлозу и т. д.

По второму варианту путём замещения части оксигрупп OH^- гидрофильной карбоксиметильной группой $^-OCH_2COONa$ получают карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2C00Na)_x]_n$, сернокислой группой $^-OSO_3Na$-сернокислый эфир целлюлозы (СЭЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OSO_3Na)_x]_n$ и т. д.

Путём комбинаций первого и второго вариантов получают метилкар-боксиметилцеллулозу (МКМЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x-y}(OCH_3)_x(OCH_2COONa)_y]_{,n}$ и т.д. Группа ^-C00Na КМЦ так же, как и соли Na_2CO_3 активно взаимодействует с двухвалентными металлами Ca^{2+} , Mg^{2+} с образованием нерастворимой КМЦ (соли), поэтому в агрессивных средах при наличии катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} КМЦ не применяется. Более устойчивы в этих средах ММЦ, СЭЦ, ОЭЦ, МКМЦ.

Полиакриловая кислота $[CH_2CHC00H]_n$. - синтетический карбоцепной полимер, который получают путём радикальной полимеризацией акриловой кислоты в воде при pH $\leq$ 6,5.Свободный радикал возникает под воздействием инициаторов (Fe^{2+}, CR^{2+}) в результате окислительно-восстановительных реакций

$$ROOH + Fe^{2+} \rightarrow RO^- + OH^- + Fe^{3+}$$

Этот радикал реагирует с двойной связью молекулы мономера и образует более сложный радикал

$$RO^- - + CH_2 = \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix} \rightarrow RO - CH_2 - \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix}$$

способный взаимодействовать со следующей молекулой мономера и т.д.

$$CH_2 - \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix} - CH_2 - \begin{matrix} CH \\ COOH \end{matrix} -$$

Как и все кислоты, полиакриловая кислота ухудшает качество промывочных жидкостей (в первую очередь структурно-механические свойства), повышает водоотдачу, поэтому для обработки буровых растворов полиакриловая кислота не применяется.

В качестве структурообразователей используют соли полиакриловое кислоты, которые получают путём этерификации (нейтрализации) полиакриловой кислоты спиртом. Так, при этерификации полиакриловой кислоты нашатырным спиртом получают полиакриламмонит, полиакриламид (ПАА), полиакрилнитрил (ПАН)

$$\text{-COOH} + H_4OH \rightarrow \begin{Bmatrix} -COONH_4 + H_2O \\ -CONH_2 + 2H_2O \\ -CN + 3H_2O \end{Bmatrix}$$

Хорошими структурообразователями являются и сополимеры: метас, М-14, лакрис 20. Метас - термостойкий сополимер метакриловой кислоты и метакриламида, М-14 - термостойкий сополимер метакриловой кислоты и метилметакрилата, лакрис - модификация сополимера М-14.

Качество полимера, как структурообраэователя, определяется длиной макромолекулы (степенью полимеризации - количеством звеньев мономеров в цепи), количеством функциональных групп и их гидрофильностью (полярностью).

Полярность функциональной группы обусловлена величиной электроотрицательности её атомов. Под воздействием электроотрицательности электронное облако атомов группы с меньшей электроотрицательностью смещается в сторону атомов с большей электроотрицательностью, что и приводит к поляризации группы. Энергия полярной группы определяется разностью электроотрицательностей отрицательно и положительно заряженных ионов группы в квадрате

$$E = \frac{(n\text{Э}_1 - \text{Э}_2)^2}{2},$$

где Э_1 - электроотрицательность отрицательно заряженного, а Э_2- положительно заряженного атома, n - число отрицательно заряженных атомов в группе.

Функциональные группы с малой разностью электроотрицательностеп атомов являются гидрофобными.

Наиболее высокой электроотрицательностью обладают анионы фтора (Э_1 =4), кислорода (Э_1 =3,5), азота (Э_1 =3,07), хлора (Э_1 = 3). Наиболее низкой электроотрицательностью - одновалентные катионы калия (Э_2 =0,91) и натрия (Э_2 =0,93). Следовательно, полимеры, имеющие в функциональных группах кислород и азот, весьма гидрофильны.

Причём, чем больше их атомов в группе, тем более гидрофилен полимер. Поэтому для приготовления промывочных жидкостей чаще всего применяет полимеры с кислородо- и азотосодержащими функциональными группами.

Повысить гидрофильность функциональной группы можно путём устранения экрана катионов или их замены на менее электроотрицательные катионы.

С этой целью прибегают к гидролизу (разложению воды) полимера с образованием кислоты и спирта - процессу этерификации.

Так, при гидролизе производных полиакриловой кислоты (в щелочной среде) получают полиакриловую кислоту, которая в щелочной среде теряет водород и превращается в весьма гидрофильный полимер

$$-COONH_4 + H_2O \rightarrow COOH + NH_4OH$$
$$-CONH_2 + 2H_2O \rightarrow COOH + NH_4OH$$
$$-CN + 3H_2O \rightarrow COOH + NH_4OH$$

В щелочной среде карбоксильная группа переходит в более активную группу

$$-COOH + OH^- \rightarrow COO^- + H_2O,$$

а гидроксид аммония разлагается на аммиак и воду

$$NH_4OH \rightarrow NH_3\uparrow + H_2O$$

Так, в результате гидролиза ПАА получают более активный полимер ГПАА и его разновидности РС-1, РС-2, РС-4. В результате гидролиза полиакрилнитрила - ГиПАН и его разновидности: К-4, К-9 , "нитрон"

$[CH_2 - CHC\ N]_x \cdot [CH_2 - CHCONH_2]_y \cdot [CH_2 - CHCOON\ a]_z$.

Методическая часть

Основными показателями прочности структуры полимерных растворов, так же, как и для глинистых растворов, являются статическое напряжение сдвигу, водоотдача и pH. Приборы для определения этих показателей рассмотрены в предыдущей работе.

Экспериментальная часть

Подгруппа разбивается на 3-5 бригад. Каждой бригаде выдаётся индивидуальное задание.

1-й бригаде - приготовить миксером 0,5; 1,0; 1,5% растворы КМЦ, определить СНС, водоотдачу и pH растворов.

Результаты занести в табл.1.

Таблица 3.1

	1-я бригада			2-я бригада			3-я бригада			4-я бригада			5-я бригада		
	КМЦ %			ПАА %			ОЭЦ %			Метас %			Гипан %		
	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2	0,5	1,0	2
θ, Па В, см^3/30мин pH															

2-й бригаде - приготовить 0,5; 1,0;2% растворы ПАА, определить показатели СНС, водоотдачу и pH, результаты занести в табл.1.

3-й бригаде - приготовить 1,0;2,0;3% растворы метаса, определить СНС, водоотдачу и pH, результаты занести в табл. 3.1.

4-й бригаде - приготовить 0,5;1,0;2% растворы метаса, определить СНС, водоотдачу и pH, результаты занести в табл. 3.1.

5-й бригаде - приготовить 0,5;1,0;2% растворы гипана, определить СНС, водоотдачу и pH растворов, результаты занести в табл. 3.1.

По экспериментальным данным необходимо построить графики зависимости СНС, водоотдачи и pH от концентрации полимера

Обсуждение результатов. Выводы

На основании таблицы и графиков необходимо сделать выводы о влиянии концентрации полимеров на показатели θ, В, pH, о соответствии зависимостей с теоретическими положениями, о возможности использования полимерных растворов в качестве промывочных жидкостей при следующих условиях СНС = 0,5 ÷I Па, В = 5-10 см3/30 мин.

Практическая работа 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы: экспериментально определить зависимость вязкости буровых растворов от концентрации твёрдой фазы, скорости течения плотности и сечения потока.

Теоретическая часть

Вязкость (внутреннее трение) - свойство жидкостей оказывать сопротивление при её течении.

Вязкость - один из важнейших показателей промывочных жидкостей - существенно влияет на эффективность бурения горных пород. Вязкие структурированные растворы способствуют кольматации пор и трещин в горной породе, закреплению стенок скважин в рыхлых и неустойчивых горных породах; вязкие растворы имеют малую водоотдачу, а, следовательно, предотвращают насыщение пористой глинистой породы водой, её набухание и обвалы стенок скважин. Вязкие растворы обладают высокой несущей способностью и применяются при бурении горных породообразующих шлам высокой плотности.

Природа вязкости промывочных жидкостей та же, что и прочность структуры - межмолекулярное взаимодействие молекул воды и частиц твердой фазы. Поэтому зависимости

вязкости от концентрации твёрдой фазы, температуры и размеров сосудов (диаметра труб, зазора между трубами и стенками скважин, в котором находится или протекает жидкость) те же, что зависимости прочности структуры от этих величин. Однако вязкость не всегда соответствует статическому напряжению сдвига. Так, например, в малоглинистых, активированных растворах, растворах с гидрофильной структурой вязкость значительно ниже, чем СНС, так как при движении жидкости вследствие дезориентации молекул взаимодействие между ними снижается, а в растворах с гидрофобной структурой вязкость значительно выше, чем СНС, так как при течении воды вследствие дезориентации молекул толщина гидратных оболочек уменьшается, а сила межмолекулярного взаимодействия частиц возрастает.

При обработке малоглинистых растворов гибкими полимерами (например, метасом) при повышении концентрации полимера в небольших объёмах СНС понижается (за счёт повышения толщины гидратного слоя), а вязкость повышается. Дело в том, что полярные (функциональные) группы полимера (по закону полярностей Ребиндера) поворачиваются в сторону фазы с большей полярностью. При течении раствора молекулы воды дезориентируются (движутся более хаотично) полярность воды понижается и полярные группы поворачиваются в сторону более полярной поверхности глинистых частиц, а гидрофобной в сторону воды. В результате частицы становятся более гидрофобными и, как следствие, вязкость раствора сначала возрастает (до некоторого предела концентрации полимера, а затем при образовании второго слоя полимера понижается.

За единицу вязкости принимают касательные усилия при течении жидкости, приходящиеся на единицу площади (касательные напряжения, Па) при разности скоростей между слоями равно dv=м/с и расстояние между ними dr= 1 м.

Для ньютоновских жидкостей

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr} = |\eta| , \quad (4.1)$$

где η - коэффициент вязкости.

Для бингамовских (вязкопластичных) жидкостей (глинистых растворов)

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dr} \quad (4.2)$$

где τ_0 - динамическое напряжение сдвига, η - коэффициент пластической вязкости.

Коэффициент пластической вязкости при использовании вискозиметра ВСН-3 определяют из соотношения

$$\eta = (\varphi_{600} - \varphi_{300}), \text{ Па·с} \quad (4.3)$$

а динамическое напряжение сдвига

$$\tau_0 = 0{,}3(2\varphi_{300} - \varphi_{600}), \text{ Па} \quad (4.4)$$

где φ - угол поворота лимба, град, вискозиметра ВСН-3.

Вязкость структурированных жидкостей можно определить и по формуле

$$\tau = \eta_{эф} \frac{dv}{dr} , \text{ Па}, \quad (4.5)$$

где

$$\eta_{эф} = \eta + \tau_0 / \frac{dv}{dr} , \quad (4.6)$$

Вязкость (касательные напряжения сдвига) псевдопластич-ных жидкостей (активированных малоглинистых, полимерных, полимерглинистых растворов) при η =600 об/мин определяют по степенному закону

$$\tau_{600} = \eta_c \frac{v^n}{r} , \quad (4.7)$$

С другой стороны касательные напряжения можно выразить через коэффициент трения и радиальное давление жидкости

$$\tau_{600} = fP \quad (4.8)$$

В соответствии с законом Бернулли у стенок внутреннего цилиндра (боба) вискозиметра ВСН-3, где $V = 0$

$$P_0 = const - \frac{\rho v^2}{2} = const \quad (4.9)$$

у стенок вращающегося внешнего цилиндра $v = v_ц$

$$P_ц = const - \frac{\rho v_ц^2}{2} \quad (4.10)$$

тогда радиальное давление

$$P=P_o-P_ц=\frac{\rho v_ц^2}{2} \quad (4.11)$$

При $V_0 = V_ц$ P=0

Из уравнений (4.7),(4.8) и (4.11)

$$f=\frac{\eta_c(\frac{v}{r})^n}{\rho\Delta v^2}=\frac{\eta_c}{\rho\Delta v^{2-n}r^n}=\frac{\eta_0 C^{7/8}}{\rho\Delta v^{2-n}r^n}, \quad (4.12)$$

где η_0 - показатель вязкости.

Таким образом касательные напряжения сдвига определяются двумя показателями коэффициентом трения f, (межмолекулярного взаимодействия молекул воды и частиц твёрдой фазы), зависящим от концентрации твёрдой фазы, скорости течения и размеров труб с одной стороны и радиального давления $P=\rho v^2/2$ с другой стороны.

При повышении скорости течения коэффициент трения понижается и тем интенсивнее, чем меньше показатель степени (чем ниже гидрофильность глинистых частиц, выше глиноёмкость раствора). При некоторое значительной концентрации, когда молекулярные связи между частицами окажутся выше, чем с поверхностью частиц, скорость течения по всему сечению потока окажется одинаковой $V=V_ц$ радиальное давление снизится до нуля, следовательно, взаимодействие молекул воды со стенками трубы возрастает, и раствор будет перемещаться в трубе как твердое тело. Энергия затрачивается только на трение раствора о трубу $\tau = fr\mathrm{P}_0$, и касательные напряжения не будут зависеть от скорости течения (n=0, $\tau = \tau_0$=*const).*

Методическая часть

Таким образом, основными показателями вязкости бурового раствора являются: для бингамовских (глинистых) растворов - динамическое напряжение сдвигу τ_0 и пластическая вязкость, для псевдопластичных (полимерных) растворов - эффективная вязкость.

Все эти показатели определяют по прибору - вискозиметру ВСН-3.

В полевых условиях пользуются условной величиной вязкости, определяемой по времени истечения 500 $см^3$ раствора из воронки через трубку с внутренним диаметром 5 мм.

Вискозиметр ВСН-3 состоит из станины, внутри которой в нижней части установлен двигатель для привода (через редуктор) гильзы для измерения вязкости раствора, а в верхней части - двигатель для вращения этой же гильзы при определении СНС (с частотой 0,2 об/мин). Внутри гильзы на стержне, установленном в станине на подшипниках, подвешивается подпружинный цилиндр с рифлёной поверхностью (боб). В процессе измерения гильза вводится в стакан с исследуемым буровым раствором при подъёме телескопического столика. На стержне боба закреплён лимб с делениями (в градусах). Редуктор нижнего двигателя с помощью переключателя позволяет менять частоту вращения гильзы (200,300,400,600 об/мин).

Порядок измерения вязкости.

1. Заполнить стакан исследуемым раствором до риски, установить его на подъёмном столике, поднять столик до упора и зафиксировать его поворотом по часовой стрелке. 2. Установить переключатель в положение 600 об/мин и включить двигатель. 3. Выждать 2-3 мин (до полной остановки лимба), взять отсчёт по лимбу f_{600} и отключить двигатель. 4. Переключатель установить в положение ŋ=300 об/мин и включить двигатель. 5. Послеполной остановки лимба взять отсчёт f_{300}.

По полученным значениям в соответствии с формулами (4.3-4.6) определяем пластическую вязкость, динамическое напряжение сдвига, эффективную вязкость и вязкость раствора при 600 об/мин. Вязкость раствора при других числах оборотов гильзы можно определить по формуле

$$T = K \cdot \varphi_n \qquad (4.13)$$

коэффициент К приводится в паспорте вискозиметра.

Статическое напряжение сдвига определяют при 0,2 об/мин после перемешивания раствора при n = 600 об/мин и выдержки после перемешивания в течение 1 мин и 10 мин.

Показания шкалы снимают в момент максимальных знамений перед разрушением структуры

$$\theta = К \bullet \varphi_п \qquad (4.14)$$

Экспериментальная часть:

Из приготовленной заранее пасты черногорского глинопорошка миксером приготавливают 2 л 20 % глинистого раствора, обработанного (2 % от веса с чистой глины) кальцинированной содой.

Группа студентов разбивается на 3-6 бригад. Каждой бригаде выдаётся индивидуальное задание.

1-й бригаде: определить зависимость вязкости глинистого раствора от концентрации глины. Для этого отлить из общей ёмкости 0,3 л. раствора и разлить его в пять частей: 120, 90, 60, 30 мл, разбавить водой четыре последних до 120 мл, получив таким образом по 120 мл: 20, 15, 10, 5 и 2%-х глинистых растворов.*

Для каждого раствора определить по формуле (4.6) значение τ_{600} и формуле (4.14) значения θ.

Полученные значения занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Показатели τ_{600} *и* θ *глинистого раствора при концентрации глины*									
20%		15%		10%		5%		2%	
	600		600		600		600		600

По полученным данным построить график зависимости $\tau_{600} = \varphi$(С), $\theta = \varphi$ (С).

2-й бригаде: определить зависимость вязкости глинистого раствора от скорости вращения цилиндра вискозиметра. Для этого из общей ёмкости отлить 150 мл 20 %-го глинистого раствора, определить по формулам (4.13) и (4.14) значения τ и θ при различной скорости вращения цилиндра: 0,2; 200; 300; 400; 600 об/мин. Затем в 2 раза разбивать раствор водой (до 10 %) и вновь замерить эти показатели.

*Для сокращения времени приготовления растворов получить требуемые растворы можно путём последовательного разбавления одного и того же 20 %-го раствора после определения τ_{600} до 15, затем 10,5 и 2 %.

Полученные результаты занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Концентрация раствора %	θ, Па	Вязкость, Па			
		τ_{200}	τ_{300}	τ_{400}	τ_{600}
20 10					

По экспериментальным данным построить графики зависимости $\tau = \varphi(n)$ для 20 и 10%-х растворов.

3-й бригаде: определить зависимость вязкости и СНС глинистого раствора от зазора между вращающимся цилиндром и бобом.

Для этого из общей ёмкости отлить 150 мл 20 %-го глинистого раствора, определить по формулам (4.7) и (4.16) и τ_{600} при установке различных цилиндров, позволяющих получать зазор….. мм. Разбавить в 2 раза раствор и вновь определить значения θ и τ

Результаты занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Концентрация глины, %	Значения θ и τ_{600} при					
	$\delta =$		$\delta =$		$\delta =$	
	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}
20 10						

По экспериментальным данным построить график зависимости $\tau_{600} = \varphi(\delta)$ и $\theta = \varphi(\delta)$.

4-й бригаде: определить зависимость вязкости и СНС глинистого раствора от его плотности.

Для этого отлить из общей ёмкости 150 мл 20 %-го глинистого раствора, в который добавить 10 % барита и определить на вискозиметре значения θ и τ_{600} и ареометре значения ρ. Затем добавлять по 5 % барита и также определять значения ρ, θ, τ_{600} при 15 и 20 % барита.

Результаты занести в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Показатели θ и τ_{600} при					
10 % барита		15 % барита		20 % барита	
θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}

По полученным результатам построить график зависимости $\tau_{600} = \varphi(\delta)$, $\theta = \varphi(\delta)$.

5-й бригаде: определить зависимость вязкости глинистого раствора от температуры. Для этого отлить 150 мл 20%-го глинистого раствора, замерить его температуру и определить показатели θ и τ_{600} на вискозиметре ВСН-3. Подогреть раствор до 40 °С и определить показатели θ и τ_{600}. Затем подогреть до температуры 60 и 80 °С и замерить значения θ и τ_{600}.

Результаты занести в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Показатели θ и τ_{600} при							
20 ^{0}C		40 ^{0}C		60 ^{0}C		80 ^{0}C	
θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}	θ	τ_{600}

По полученным данным построить графики зависимости $\tau_{600} = \varphi$ (*T* °C), $\theta = \varphi$ (T °C).

Обсуждение результатов. Выводы

Полученные различными бригадами исследования обобщить, составить отчёт, сделать выводы.

Практическая работа 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ПРОЧНОСТЬ СТРУКТУРЫ И ВЯЗКОСТЬ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ (ГИДРОФОБНОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ)

Цель работы: экспериментально раскрыть теоретические положения о гидрофобных структурах промывочное жидкости, обеспечить более глубокое понимание происходящих в растворах физико-химических процессов при обработке их электролитами.

Теоретическая часть

Гидрофобная структура промывочной жидкости обусловлена межмолекулярным взаимодействием частиц твёрдой фазы, которые возможны только на незначительном удалении частиц друг от друга. Сближение частиц возможно в двух случаях: при повышении количества частиц твёрдой фазы (повышении концентрации или их диспергировании) и при гидрофобизации частиц (снижении их потенциала электролитами или гидрофобизация гидрофобными полимерами).

Все структурообразователи промывочных жидкостей обладают отрицательным зарядом, поэтому нейтрализацию заряда производят катионоактивными электролитами. В процессе насыщения бурового раствора электролитами вокруг частиц твёрдой фазы образуется двойной электрический слой (ДЭС), состоящий из заряженной поверхности самих частиц и слоя катионов, нейтрализующих этот заряд.

Интенсивность снижения потенциала частиц зависит от заряда катионов, с увеличением заряда она растёт. С помощью одновалентных катионов заряд частиц нейтрализуется частично, с помощью двухвалентных катионов потенциал может быть понижен до нуля, а трёхвалентными катионами можно даже изменить заряд на противоположный.

По адсорбционной способности (способности катионов вытеснять о поверхности частиц силанольного типа $\equiv SiO^-$) катионы располагаются в следующем порядке

$$Al^{3+} > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > NH_4^{+} > Na > Li$$

Ионы водорода с радикалами $\equiv SiO^-$ образуют прочные водородные связи и поэтому способны вытеснять все вышеприведённые катионы.

При нейтрализации потенциалы частиц твёрдой фазы сила взаимодействия с ними молекул воды понижается, понижается толщина гидратного слоя, частицы получают возможность сблизиться на расстояние их межмолекулярного взаимодействия, что резко повышает прочность структуры (связей частиц). При повышении концентрации катионов может произойти полная нейтрализация заряда, агрегатирование (слипание) частиц и их седиментация.

При снижении толщины гидратного слоя увеличивается и кулоновское взаимодействие катионов с частицами твёрдой фазы. Особенно интенсивно оно проявляется при наличии поливалентных катионов, способных “сшивать” частицы уже при малых концентрациях.

Гидрофобиэация частиц сопровождается повышением водоотдачи. Гидрофобное структурирование раствора можно определить по повышению прочности структуры и водоотдачи. При агрегатировании твёрдой фазы водоотдача также растёт, но прочность структуры понижается. При флокуляции частиц (образовании хлопьев) прочность структуры растёт, водо-отдача остаётся постоянной.

Для повышения прочности структуры промывочных жидкостей электролиты используют редко. Чаще электролиты добавляют в раствор с целью ингибирования (ограничения, предотвращения), набухания глинистых пород. В этом случае катионы из раствора за счёт кулоновских сил по порам проникают в глинистую породу, нейтрализуют заряд глинистых частиц, в результате чего предотвращается всасывание воды и набухание породы. Глинистые частицы без гидратного слоя повышают свою прочность за счёт межмолекулярного взаимодействия.

Наиболее эффективными ингибиторами являются поливалентные катионы. Однако поливалентные катионы при высокой их концентрации повышают положительный заряд бурового раствора, что приводит к диспергированию глинистой породы (засасыванию раствором отрицательно заряженных глинистых частиц породы, слагающих стенки скважин), кавернообразованию, авариям и ухудшению качества бурового раствора. Поэтому ингибирующие растворы готовят с использованием солей одновалентных металлов (NaCl, КС1) или слаборастворимых в воде соединений поливалентных металлов, вследствие чего обеспечивающих раствор незначительным количеством поливалентных катионов: известь $Ca(0H)_2$, гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Легко растворимые соли поливалентных металлов $CaCl_2$, $AICl_3$ могут использоваться только для приготовления ингибирующих растворов при бурении недиспергирующихся глинистых пород: микротрещиноватых аргиллитов, глинистых сланцев с целью "сшивания" кусков горной породы.

Электролитами насыщают буровые растворы при бурении соленосных отложений с целью предотвращения их растворения при бурении. Обычно насыщают буровой раствор теми же солями, которые присутствуют в геологическом разрезе: при бурении галита - поваренной солью, а бишофита и корналита - раствором бишофита.

Наконец, электролиты применяют для получения конденсированной твёрдой фазы, например, гидрогеля магния

$$Mg\ Cl_2 + NaOH \rightarrow Mg(0H)_2 + Na^+ + Cl^- \text{ тв. фаза}$$

В глинистых растворах электролиты вызывают коагуляцию, агрегатирование и седиментацию глинистых частиц, ухудшают качество бурового раствора. Для предотвращения агрегатирования и седиментация глинистых частиц, а также роста кристаллов конденсированной твёрдой фазы раствор стабилизируют солестойкими полимерами (например, КМЦ КССБ и др.).

Методическая часть

Основными показателями гидрофобной структуры буровых растворов являются прочность структуры (статическое напряжение сдвига), вязкость, водоотдача и стабильность.

Статическое напряжение сдвига и вязкость бурового раствора предусматривается определять на вискозиметре ВСН-3, водоотдачу на приборе ВМ-6, стабильность по суточному отстою в мензурке (%) и в цилиндре ЦС-2 по разности плотности раствора в верхней и нижней половине цилиндра с=$\rho_н$-$\rho_в$. Для приготовления бурового раствора предусматривается использовать миксер, для нагревания раствора - кипятильник.

Экспериментальная часть

Подгруппа разбивается на пять бригад. Каждой бригаде выдастся задание.

1-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи глинистого раствора от концентрации поваренной соли. Для этого из заранее приготовленной пасты черногорского глинопорошка (в соотношении глина - вода 1:1) приготовить 1 л 15 %-го глинистого растворе, обработанного кальцинированной содой (2 % от веса глины). Из общей ёмкости отлить в четыре ёмкости по 250 мл 15 %-го глинистого раствора, добавить в три из них 5,15,25 % поваренной соли, тщательно перемешать и определить показатели, для каждого раствора. Результаты занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 5 15 25			

По экспериментальным данным построить графики зависимости $\theta = \varphi$ (С), $\tau_{600} = \varphi$ (С), В = φ (С).

2-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи от концентрации хлористого кальция. Для этого приготовить 1л 15 %-го глинистого раствора, обработанного

кальцинированное содой (2 % от веса глины), разлить раствор в четыре ёмкости по 250 мл, добавить в три из них хлористого кальция:0,5; 1,5; 2,5 %, тщательно перемешать и определить для каждого раствора показатели θ, τ_{600}, В. Результаты занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 0,5 1,5 2,5			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

3-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи глинистого раствора, стабилизированного КМЦ-600 от концентрации хлористого калия. Для этого приготовить 1 л 15 %-го глинистого раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от веса глины) и 1,5 %-го КМД. Раствор разлить в четыре ёмкости по 250 мл. В три из них добавить хлористого калия 5, 15, 25 %. Для каждого раствора определить θ, τ_{600} и В. Результаты занести в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 5 15 25			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

4-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкости и водоотдачи, стабилизированного КМЦ-600 глинистого раствора от концентрации хлористого кальция. Для этого приготовить 1 л 15 %-го глинистого раствора, обработать его кальцинированной содой (1 % от веса глины) и 1,5 %-го КМЦ-600. Раствор разделить и разлить в 4 ёмкости по 250 мл. В три из них добавить 0,5; 1,5; 2,5 % $CaC1_2$.

Растворы тщательно перемешать и определить для каждого из них показатели θ, τ_{600} и В. Результаты занести в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 0,5 1,5 2,5			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

5-й бригаде: определить зависимость прочности структуры, вязкость и водоотдачи от концентрации поваренной соли. Для этого приготовить 1 л 15 %—го глинистого раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от веса глины) и КМЦ-600. Разлить раствор в 4 ёмкости по 250 мл. В три из них добавить поваренной соли 5, 15, 25 %. Для каждого раствора определить θ, τ_{600} и В. Результаты занести в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Концентрация (С) соли %	θ, Па	τ_{600}, Па	В см^3/30 мин
0 5 15 25			

По экспериментальным данным построить графики зависимости

$$\theta = \varphi(C),\ \tau_{600} = \varphi(C),\ B = \varphi(C).$$

Обсуждение результатов. Выводы

Полученные результаты обобщить всей подгруппой, оделить выводы о влиянии электролитов на свойства глинистых растворов и целесообразности обработки ими буровых растворов.

Практическая работа 6.

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ РАЗЖИЖЕНИЯ (ДЕСТРУКТУРИРОВАНИЯ) БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы: экспериментально раскрыть теоретические положения о влиянии различных способов деструктурирования и снижения вязкости промывочных жидкостей.

Теоретическая часть

В процессе бурения соленосных отложений или при наличии агрессивных подземных вод в результате гидрофобизации катионами электролитов частиц твёрдой фазы прочность структуры и вязкость буровых растворов резко возрастают. Прочность структуры и вязкость буровых растворов возрастают также и вследствие насыщения промывочных жидкостей тонким шламом. Резкое повышение вязкости раствора вызывает ряд нежелательных явлений осложняющих процесс бурения. В первую очередь вязкие растворы существенно снижают механическую скорость бурения.

$$V_{\text{мех}} \approx V_0(I - \text{к}\tau)$$

где V_0 - механическая скорость бурения при промывке водой, τ- вязкость раствора.

Высокая вязкость раствора вызывает необходимость дополнительного расхода энергии на вращение снаряда, затрудняет очистку раствора от шлама, повышает содержание в растворе абразивного шлама, что ведёт к интенсивному износу снаряда, осложняет спуско-подъёмные операции, создаёт антисанитарные условия.

При повышении концентрации твёрдой фазы в растворе повышается его плотность ρ, что также резко снижает механическую скорость бурения

$$V_{\text{мех}} = \frac{V_0}{\rho^n}$$

Снижение прочности структуры и вязкости раствора но практике осуществляют путём уменьшения частиц тонкодисперсной твёрдое фазы растворе (разбавления водой,

удаления части твёрдой фазы флокулянтами, агрегации и седиментации частиц). Удаление грубой твёрдой фазы (шлама) осуществляет в очистной системе с помощью вибросит, гидроциклонов, желобов, отстойников. Эти методы используют в тех случаях, когда требуется одновременно со снижением СНС и вязкости понизить и плотность раствора.

В тех случаях, когда нужно понизить прочность структуры, но сохранить плотность раствора на прежнем уровне растворы разжижают (путём удаления из раствора катионов в первую очередь, поливалентных металлов Ca^{2+}, Mg^{2+}) с солями с поливалентными анионами, способными образовывать с Ca и Mg нерастворимые соединения Na_2SO_4, Na_2CO_3, путём активации твёрдой фазы: щелочными реагентами (УЩР, ТЩР, фосфатами, щелочными электролитами Na_2CO_3, NaOH, KOH и др.), полимерами - стабилизаторами (в первую очередь олигомерами).

В результате активации твёрдой фазы между частицами твёрдой фазы образуются толстые гидратные оболочки, межмолекулярное взаимодействие между частицами снижается, прочность структуры, вязкость и водоотдача понижаются.

Для разжижения растворов и снижения водоотдачи чаще всего используют активированный щёлочью гидролизный лигнин и его производные, активированные щёлочью бурый уголь и торф.

Лигнин является отходом гидролизного производства спирта, дрожжей, целлюлозно-бумажного производства. Это составная часть древесины, связывающая фибриллы целлюлозы в единое целое. Активированный ливнин и его производные - ароматические соединения, обладают высокой адсорбционной способностью, способностью образовывать на поверхности частиц твёрдой фазы достаточно плотную и гидрофильную полимерную плёнку. Ароматические полимеры - разжижители обладают высокой солестойкостью, при большой концентрации (выше 2-3 %) могут повышать прочность структур.

В практике бурения для разжижения глинистых растворов применяют почти все отходы гидролизного производства: гидролизный лигнин, шлам - лигнин, активные илы,

лигносульфонаты (сульфитспиртовая барда - ССБ, сульфит-дрожжевая бражка - СДБ, нитратный сульфатный щёлок НСЩ). К производным лигнина относятся нитролигнин - продукт окисления и нитрования гидролизного лигнина в 10 % азотной и 4 % серной кислоте, и г е т а н - продукт дальнейшей активации нитролигнина в каустической соде и кислороде; с у н и л - продукт активации нитролигнина гидросульфитом натрия. Производными ССБ являются о к з и л - продукт обработки кальциевой ССБ хромпиком в щелочной среде, феррохромлигносульфонат - продукт взаимодействия ССБ (СДБ) с сернокислым железом и бихроматом натрия, конденсированная сульфитспиртовая барда (КССБ, КССБ-1, КССБ-2, КССБ-4) – продукт обработки ССБ формальгидом и фенолом в кислой среде с последующей нейтрализацией щелочью. Цифра указывает на содержание фенола КССБ-4 кроме того содержит хромпик и по свойствам (термостойкости) близок окзилу.

Помимо целлюлозы и лигнина древесина содержит значительное количество гемицеллюлоз (примерно равное содержанию лигнина), среди которых выделяют древесную смолу. Экстрационная (нерастворимая в воде, но растворимая в этилацетате) смола наполовину состоит из фенолов. При конденсации фенолов с помощью формальдегидов и форма ль сульфитов получают реагент - полифеноллесохимический - ПФЛХ.

Помимо перечисленных реагентов из растений, за рубежом применяют экстракты из различных деревьев и других растений — таннины, представляющие собой конденсированные фенолы. Одним из представителей таннинов является сулькор, получаемый из щелочной вытяжки отходов дубильного экстракта.

Широкое распространение в качестве разжижителей получили УЩР,

ТЩР - продукты активации бурого угля и торфа щелочами и их производные: НГР - (нитрогуматный реагент) - бурый уголь, окисленные 8 %-й азотной кислотой при температуре 50-60 ^{o}C, СНГР - сульфированный нитрогуматный реагент, который получают сульфированием бурого угля бисульфатом натрия, ХГР - хромгуматный реагент - бурый уголь, окисленный хромпиком.

В практике бурения для выбора способа структурирования или разжижения на графике определяет оптимальную зону (рис.1) в системе координат θ ,Т . /

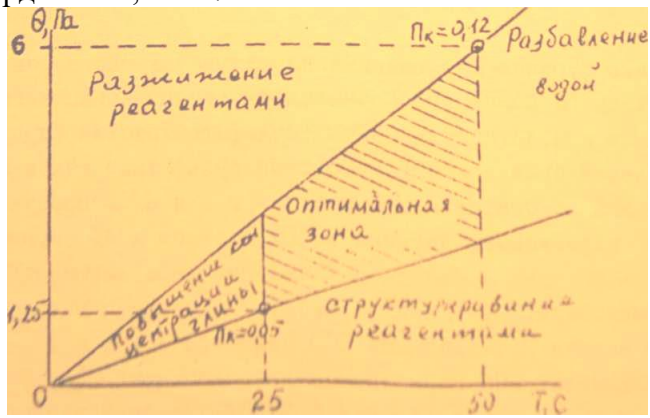


Рис. 6.1. Схема регулирования вязкости раствора

Для этого определяют минимальный и максимальный показатель консистенции - отношение СНС к условной вязкости

$$П_к = \frac{\theta}{T}$$

отмечают точки на графике и через эти точки проводят прямые.

В практике нефтяного бурения за оптимальные показатели принимают θ = 1,25 ÷ 6 Па, Т = 25-50 с, максимальный показатель консистенции $П_к = \frac{6}{50}$ =0,12 Па/с, минимальный $П_к = \frac{1.25}{25}$ =0,05 Па/с. Тогда оптимальной областью консистенции будет область, расположенная между прямыми, проведёнными через максимальный и минимальный $П_к$, в пределах- от 1,25 до 6 Па и Т от 25 до 50 с.

Если вязкость Т будет меньше 25 с раствор структурируют введением дополнительного количества твёрдой фазы, больше 50 с-буровой раствор разбавляют водой. При $П_к <$ 0,05,раствор структурируют реагентами, при $П_к >$ 0,12,раствор обрабатывают разжижителями (табл. 6.1).

В оптимальной области регулируют только показатель фильтрации.

Таблица 6.1

$П_к$ раствора Па/с	Обработка	Тип реагента			
	Растворами реагентами	Пресный раствор	Слабоминераз. NaCl раствор	Минерализ. NaCl раствор	Минерал из.$CaCl_2$ раствор
$П_к$=0,05-0,12	Понизителями фильтрации	УЩР, ТЩР	УЩР,ТЩР	КССБ, КМЦ, гипан, К-4, метас	КССБ, КМЦ
$П_к$<0,05	Структурообразователями	NaCl, Na_2SiO_3, кальц. глина	$Ca(OH)_2$ $CaSO_4$ натр.глина	Асбест солест. глина	$CaCl_2$, $Ca(OH)_2$ $CaSO_4$ кальц. глина
$П_к$>0,12	разжижителями	УЩР, ТЩР, нитролигнин, игетан, окзил, бур.уголь	ССБ, нитролигнин, окзил, ПФЛХ, бур.уголь	ССБ, окзил	ССБ, окзил

Методическая часть

Основными показателями качества разжижения являются вязкость, статическое напряжение сдвига и водоотдача. Статическое напряжение сдвига, как известно, определяют на приборе СНС-2, вязкость можно определять как по вискозиметру СПВ-5, так и вискозиметру ВСН-3.

Экспериментальная часть

Из заранее приготовленной пасты черногорского глинопорошка приготавливают 25 %-й глинистый раствор. Подгруппа разбивается на пять бригад.

1-й бригаде необходимо отлить из общей ёмкости 0,5 л 25 %-го раствора, определить показатель $П_к$ и при необходимости наметить пути дальнейшей обработки раствора. При необходимости разжижения раствора определить методы разжижения и дать оценку эффективности выбранного метода.

2-й бригаде отлить 0,5 л 25 %-го раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от веса глины), определить по показателю $П_к$ необходимость дальнейшей обработки раствора.

Если требуется разжижение раствора, выбрать метод разжижения и после его реализации определить эффективность метода.

3-й бригаде отлить 0,5 л 25/6-го раствора, обработать его кальцинированной содой(2% от массы глины) и полимерами (КМЦ-600, 1,5 % от массы раствора) и определить по показателю [^необходимость- дальнейшей обработки. При необходимости разжижения определить метод разжижения и после его реализации определить эффективность метода.

4-й бригаде отлить 0,5л 25 %-го глинистого, раствора, обработать его кальцинированной содой (2 % от массы глины) и полимерами (КМЦ-600 1,5 % от массы раствора), а затем поваренной солью (5 % от массы раствора). Определить необходимость дальнейшей обработки раствора по показателю $П_к$. При необходимости разжижения раствора выбрать его метод и после реализации определить эффективность метода.

5- й бригаде отлить 0,5 л 25 %-го глинистого раствора, разбавить его в 2 раза водой, обработать кальцинированной содой (2% от массы глины) метасом (0,5 % от массы раствора) и хлористым кальцием (1 % от массы раствора). По показателе $П_к$ определить необходимость дальнейшей обработки. При необходимости разжижения выбрать метод, а после его реализации определить эффективность метода.

Результаты экспериментов бригады заносят в табл. 6.1.

Таблица 6.I

Состав раствора				Показатели			Разжижитель и показатель после разжижения			
Глина %	Na_2CO_3	КМЦ метас	NaCl, $CaCl_2$	θ_{10}, Па	Т, с	$П_к$	Разж.	θ_{10}, Па	Т, с	$П_к$

Анализ результатов исследований и выводы

На основании экспериментальных данных необходимо проанализировать влияние различных компонентов промывочной жидкости на показатели θ, Т, $П_к$ и сделать вывод об эффективности разжижения различными методами.

Практическая работа 7.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Цель работы: ознакомить студентов с методами регулирования плотности бурового раствора.

Теоретическая часть

При бурении скважин непременным условием предупреждения водопроявлений обвалов стенок скважин и связанных с ними осложнений является регулирование гидростатического давления столба бурового раствора в зависимости от давления водоносных пластов и норового давления глинистых пород. В зонах аномально высоких пластовых давлений, зонах неустойчивых горных пород, чтобы не допустить водопроявлений и обвалов .необходимо поддерживать плотность раствора, при которой давление на стенки скважин было бы несколько больше пластового давления флюида.

С другой стороны повышенное давление столба жидкости способно вызвать гидравлический разрыв пластов, что может повлечь потери промывочной жидкости и другие последствия. Повышенная плотность буревого раствора резко понижает механическую скорость бурения

$$V_{\text{мех}} = \frac{V_0}{\rho^n}$$

где V_0 - механическая скорость бурения при промывке водой, ρ - плотность раствора, n - показатель степени, равный 2-3.

Следовательно, при бурении скважин необходимо постоянно регулировать плотность бурового раствора.

Для повышения плотности раствора повышают концентрацию глины, вводят специальные утяжелители.

Буровые растворы, приготовленные на основе бентонитовых глин, имеют невысокую плотность 1059-1080 кг/м^3. Каолиновые и иллитовые глины в зависимости от их качества позволяют получать растворы плотностью 1180—1300 кг/м^3, а за счёт повышения концентрации и обработки химреагентами - разжижителями - 1400 -

1450 кг/м^3. Однако опыт показывает, что выгоднее использовать утяжелители с высокой плотностью, т. к. они позволяют уменьшить концентрацию твёрдой фазы в растворе, а значит, повысить механическую скорость бурения и расход утяжелителя.

Основной показатель качества утяжелителя - утяжеляющая способность, которая определяется плотностью раствора после введения 300% утяжелителя (по массе к исходному раствору) для создания раствора с условной вязкостью 60 с, водоотдачей 5-6 см^3 за 30 мин.

Утяжеляющая способность материала зависит от его плотности, дисперсности, гидрофильности и химического состава. Высокая степень дисперсности утяжелителя способствует повышению вязкости, а вязкость не позволяет повышать концентрацию утяжелителя и плотность раствора. Низкая степень дисперсности утяжелителя снижает седиментационную устойчивость.

В зависимости от минерального состава утяжелители делят на четыре группы: карбонатные (мергель, ρ = 2650 кг/м^3, известняк и мел ρ = 2700 кг/м^3, доломит, ρ = 2900 кг/м^3, сидерит ρ = 3900 кг/м^3), баритовые (баритовые концентраты производства обогатительных фабрик цветной металлургии КБ-1, КБ-2, КБ-3, КБ-4, КБ-5, плотностью 4050-4250 кг/м^3), железистые (гематит ρ = 5300 кг/м^3, магнетит ρ = 4900-5200 кг/м^3, ильменит ρ = 4790 кг/м^3) и свинцовые (галанит ρ = 7400-7500 кг/м^3). Железистые утяжелители вследствие их абразивности применяют редко.

При добавках галенита получают буровые растворы плотностью более 3000 кг/м3.

Для промывки скважин в устойчивых горных породах и особенно в трещиноватых зонах с целью повышения механической скорости бурения и снижения поглощения плотность промывочной жидкости понижают (чаще всего за счет аэрации). Аэрация позволяет уменьшить плотность любых промывочных жидкостей в широких пределах. При этом возрастает вязкость раствора; при концентрации воздуха С = 0 ÷ 54 % она равна

$$\mu_a = \mu_и (1 + 3{,}6\ C)$$

где $\mu_и$- исходная вязкость.

При концентрации воздуха С = 54 ÷ 96 %

$$\mu_a = \frac{\mu_и}{I} - C^{0,49}$$

Плотность аэрированной жидкости определяется по формуле

$$\rho_0 = \frac{(I-a)\rho}{I - a + a\rho_0/\rho}$$

где ρ_0, ρ - плотность аэрированной и исходной жидкостей, а - количество воздуха в единице объёма аэрированной жидкости, ρ_0, ρ - атмосферное и заданное давление.

Гидростатическое давление аэрированной жидкости ρ на глубине *h* для статических условий определяют из соотношения

$$P + \frac{a}{I-a} lg\ \rho - \rho_0 = \rho h$$

Для придания промывочной жидкости закупоривающей способности в неё вводят наполнители. Для надёжного закупоривания трещин размеры частиц наполнителя должны быть в 2 раза меньше величины раскрытия трещин.

Для аэрации промывочных жидкостей применяют специальные аэраторы, а для стабилизации аэрированных растворов - пенообразователи.

Методическая часть

Плотность бурового раствора чаще всего определяют с помощью ареометра АГ-ЗПП или АБР-I, состоящего из поплавка с двумя рабочими и одной поправочной шкалами, мерного стакана с балластом и съёмного груза.

Перед измерением плотности раствора проверяют правильность его показаний. Для этого в стакан заливают пресную воду, подсоединяют его к поплавку и опускают вместе с поплавком в ведёрко с водой. Если по рабочей шкале 0,8-1,7 уровень воды ведёрка окажется выше или ниже 1, 0, нужно определить причину (наличие засохшей глины в стакане, его деформация, попадание воды в поплавок) и устранить ее. При невозможности этого сделать по поправочной шкале определить поправку.

После определения поправки стакан заполняют исследуемым раствором и опустив его вместе с поплавком в ведёрко с водой, по

шкале 1,6-2,6 определяют плотность раствора; к этому показанию добавляют ее личину поправки. Если поплавок не погружается в воду, к стакану подсоединяют груз и отсчёт ведут по шкале 0,8-1,7.

Для измерения плотности могут быть использованы также рычажные весы - плотномер ВРП-1. Плотномер состоит из стойки и рычага со стаканом. На рычаге имеются две призмы, с помощью которых рычаг устанавливается на стойке, и две шкалы, соответствующие этим призмам. Для определения плотности стакан заполняют раствором до отверстия и закрывают крышкой «рычаг устанавливают на правую призму, с помощью подвижного груза стакан с раствором уравновешивают и снимают показания по верхней шкале. Если плотность окажется больше предела измерения, рычаг устанавливают на левую призму и показания снимают по нижней шкале.

Для более точного измерения плотности раствора используют пикнометр, представляющий собой стеклянный сосуд с притёртой пробкой и меткой на шейке.

Для определения плотности раствора вначале взвешивают пустой пикнометр P_1 Заполняют его до метки исследуемым раствором, закрывают пробкой и вновь взвешивают P_2.

Плотность бурового раствора рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

где V - объём пикнометра.

Экспериментальная часть

Для приготовления утяжелённых глинистых растворов заранее готовят пасту из черногорского глинопорошка в соотношении 1:1 по массе.

Подгруппа разбивается на четыре бригады. Каждое бригаде выдаётся задание:

1-й бригаде: а) определить зависимость плотности глинистого раствора от концентрации глины; б) определить концентрацию глинистого раствора максимальной плотности.

Для этого приготовить из глинистой пасты 1 л глинистого раствора с концентрацией 30 %. Разлить его в три ёмкости: 460, 310 и 230 мл.

Во вторую ёмкость добавить 150 мл , в третью 230 мл воды. Определить концентрацию и плотность каждого раствора. По результатам замеров построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С).

Повышая концентрацию глины раствора и регулируя реагентами - разжижителями, добиться максимальной плотности при T_c = 60 с и В =6 см/30 мин.

2-й бригаде: а) определить зависимость плотности раствора от концентрации барита; б) определить уплотняющую способность барита. Для этого приготовить 0,6 л 7 %-го(по массе) глинистого раствора, разлить в три ёмкости по 200 мл, добавить в первую 200 г, во вторую 400 г, в третью 600 г барита, после перемешивания замерить плотность каждого раствора, построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С). Для раствора 600г/200 мл определить показатель условной вязкости T_c и водоотдачу. При T_c >60 с и В >6 см/30 мин обработать раствор реагентами до нужных параметров T_c >60 с, В $\approx$ 6 см/30 мин и вновь замерить плотность раствора. По результатам замеров построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С).

3-й бригаде: определить зависимость плотности бурового раствора от концентрации мела и определить уплотняющую способность мела.

Для этого приготовить I кг мелового раствора следующего состава по массе: 250 г воды, 750 г мела и 20 г КМЦ. Разлить тщательно перемешанный раствор в три ёмкости: 460 г, 310 г, 230 г. Разбавить водой раствор во второй ёмкости в 1,5 раза, а в третьей ёмкости- в 2 раза. После дополнительного перемешивания раствора определить концентрацию мела и плотность каждого раствора.

Построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С).Определить вязкость Тс к водоотдачу В. При необходимости добавить глины до получения вязкости T_c = 60 с и водоотдачи В = 6 см/30 мин. Замерить плотность раствора.

4-й бригаде: определить зависимость плотности цементного раствора от концентрации цемента (или В/ц) и определить его уплотняющую способность. Для этого приготовить I кг цементного раствора следующего состава: 250 г воды, 750 г цемента (В/ц = 0,33). После тщательного перемешивания раствор разлить в три ёмкости: 450 г, 310 г и 230 г. Раствор второй ёмкости

разбавить в 1,5 раза, а в третьей ёмкости в 2 раза. Определить концентрацию цемента (или В/ц) и плотность каждого раствора, построить график зависимости $\rho = \varphi$ (С). Определить вязкость и водоотдачу раствора первого сосуда, добавить глины и полимеры до величины T_c <60с и В<6 см/30 мин. Замерить плотность раствора.

Обсуждение результатов. Выводы

На основании полученных результатов сделать выводы о целесообразности использования различных утяжелителей.

Практическая работа 8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Цель лабораторной работы: экспериментально доказать теоретические положения осложнений при бурении глинистых пород, получить навыки экспериментальной деятельности, обеспечить более глубокое понимание явлений набухания, размягчения и диспергирования глинистых пород.

Теоретическая часть

Глинистые горные породы представляют собой совокупность минеральных обломков различного состава и различных фракций, связанных между собой плёнками воды (в глинах) или кремнекислоты (в аргиллитах). Поэтому глинистые породы называют с вязными. Со ставными частицами «определяющими основные свойства глинистых пород,являются глинистые (размером в микрон и менее) и пылеватые (размером 2-5 мкм) частицы - продукты механического и химического выветривания магматических пород.

По минеральному составу глинистые частицы могут быть представлены различными минералами. Но преобладающими из них являются листовые силикаты: монтморилонит, гидрослюда (чаще всего иллит и каолинит. Реже встречаются палыгорскит, хлорит, вермикулит и другие листовые силикаты.

Плотные метоморфизованные породы (например, глинистые сланцы, роговики) с непосредственным межмолекулярным взаимодействием глинистых частиц весьма устойчивы. Трещиноватые при насыщении их водой распадаются на кусочки (по трещиноватости). Глины с неустойчивыми и слабоуплотнёнными частицами легко насыщаются водой, набухают, теряют свою прочность и разрушаются.

Степень набухания (отношение объема набухшей породы к объёму сухой породы) обусловлена структурой кристаллов горной породы, дисперсностью и гидрофильностью глинистых частиц. С увеличением дисперсности частиц (увеличением их суммарной поверхности) и гидрофильности (заряда частиц, обусловленного количеством гидрофильных функциональных $\equiv SiO^-$; $\equiv SiOH^-$ на их поверхности). Степень набухания возрастает.

Кристаллическая решётка монтморилонита представляет собой пакетиз двух слоёв кремнекислородных тетраэдров $SiO_2O_5^{2-}$-, связанных гидраргиллитовым слоем $Al(OH)^{2+}$. Пакеты между собой связаны обменными катионами: K^+,Na^+,Mg^{2+}, Ca^{2+}. С увеличением заряда катиона прочность связи повышается, поэтому кальциевые монтморилониты значительно труднее набухают и диспергируют в воде, по сравнению с натриевыми.

Кристаллическая решётка иллита сходна с кристаллической решёткой монтморилонита, отличается лишь тем, что в поверхностном слое пакета часть атомов кремния замещена атомами алюминия, в результате чего некомпенсированный заряд поверхности пакетов активнее взаимодействует с катионами (в частности с катионами калия К) и связь между пакетами оказывается значительно выше, чем в пакетах монтморилонита. Иллиты значительно слабее набухают и труднее диспергируют в воде.

Кристаллическая решётка каолинита имеет только два слоя: слой кремнекислородных тетраэдров и гидраргиллитовый слой. Пакеты каолинита за счёт большого количества гидроксильных групп OH^- сказываются прочно связанными между собой. Глина весьма слабо набухает и диспергирует в воде.

Молекулы воды состоят из атомов кислорода и двух атомов водорода. Атомы кислорода и водорода обладают разной

электроотрицательностью, поэтому орбитали кислорода подвергаются гибритизации (вытягиваются). Молекула воды принимает форму тетраэдра и поляризуется (образует диполь). В двух вершинах тетраэдра (в вершинах орбителей кислорода с неподелённым электронными парами) возникает отрицательный заряд, а в двух других вершинах (с атомом водорода) - положительный заряд.

В результате такой поляризации молекул воды осуществляется межмолекулярная связь. Помимо межмолекулярных сил между молекулами воды и поверхностью твёрдого тела возможна и водородная связь, обусловленная способностью атома водорода воды взаимодействовать с высокоотрицательными атомами твёрдого тела: *O, N, CI, F* .Водородная связь прочнее межмолекулярной в 5-6 раз, но в 15-20 раз слабее химической.

В результате взаимодействия отрицательного заряда глинистых частиц (обусловленного наличием на их поверхности огромного количества высокоотрицательного кислорода) и положительных полюсов молекул (диполей) вода (за счёт межмолекулярных и водородных связей) вокруг частиц образуется плотный адсорбированный гидратный слой, прочно связывающий глинистые частицы друг с другом.

Прочность глинистой породы зависит от толщины плёнки воды между глинистыми частицами.

У самой поверхности глинистых частиц силы взаимодействия молекул воды с частицами достигают тысяч и десятков тысяч кг/см^2 .С удалением от поверхности межмолекулярные силы быстро убывают обратно пропорционально седьмой степени расстояния (от молекул до частиц). Таким образом, чем тоньше плёнка воды, тем выше прочность породы.

Суммарную поверхностную энергию всех частиц горной породы называют объёмной электрической энергией. Плотность объёмное электрической энергии определяется главным образом дисперсностью и гидрофильностыо (зарядом) частиц. С увеличением толщины плёнок воды между частицами эта плотность понижается.

Под воздействием объёмной электрической энергии горной породы последняя насыщается водой и набухает. Глина насыщается водой до тех пор, пока толщина гидратного слоя не достигнет некоторого критического значения при котором сила взаимодействия молекул воды с частицами будет меньше силы давления извне или когда межмолекулярные силы снизятся до нуля.

В лабораторных условиях пользуются тремя характеристиками набухания: степенью набухания $K_1=V_н /V_о$, показателем набухания K_2, = $V_ж/\rho$ и скоростью набухания $\omega = K_2/t$, где $V_ж$ - объём воды в горной породе, $V_о$ - объём сухой породы, $V_н$ - объём насыщенной водой породы, P - вес сухой породы, t- время набухания.

В результате насыщения глины водой толщина плёнок воды между
частицами возрастает, вследствие чего прочность глины падает (глина размягчается).

В атмосферных условиях прочность глины понижается обратно пропорционально её влажности в третьей степени

$$f_i = \frac{f_0 K_0^3}{K_i^3} \qquad (8.1)$$

где f_0 и f_i пластическая прочность глины исходного образца и образца, насыщенного водой, K_0, K_i - влажность глины. Характеристикой снижения прочности глинистой породы является коэффициент размягчения $K_p = f_i/f_0$ который зависит от дисперсности глины и гидрофильности ее частиц.

Прочность глины, находящееся под давлением σ_i обратно пропорциональна её влажности W_i

$$\sigma_i = \frac{W_0 \sigma_0}{W_i}, \qquad (8.2)$$

где σ_0 и W_0 - прочность и влажность «сухого» образца глины.

В контакте глины с водой за счёт поверхностной энергии частиц происходит не только ’’всасывание" молекул воды глиной, но и "всасывание” водой глинистых частиц, т. о. диспергирование глины.

Эффективность диспергирования зависит как от дисперсности и гидрофильности глины, так и от наличия количества и заряда в воде катионов.

За критерий диспергирования глины можно принять скорость диспергирования породы.

Скорость диспергирования - это объём (ΔV) или вес (ΔP) глины, перешедшей с единицы площади образца S в промывочную жидкость за единицу времени

$$Д=\frac{\Delta P}{St} \quad . \qquad (8.3)$$

Методическая часть

1. Для изучения процессов набухания ,размягчения и диспергирования глины предусматривается использовать образцы из кальциевых бентонитов, которые студенты получают из заранее приготовленного глинопорошка на водопроводной воде в соотношении 1:1 по массе.

В настоящее время существует целый ряд методик определения набухания глины.

Наиболее простой является методика визуального наблюдения М. Х. Фишера, заключающаяся в следующем.

Исследуемый образец помещается в градуированный сосуд, фиксируется его начальный объём. Затем в сосуд заливается вода и через некоторое время измеряется объём набухшего образца. Отношением объёма набухшего образца к его первоначальному объёму и характеризуется величина набухания.

Для проведения исследований по этой методике необходимо иметь: 2 мензурки, корзинку для опускания образца, весы и часы.

Для изучения процесса размягчения глины (определения пластической прочности) используют различные методы.

Наиболее часто замер пластической прочности осуществляют по методу П. А. Ребиндера на приборе ВИКа, у совершенство ванному М. С. Винарским. Вместо иглы прибор снабжается комплектом конусов из стали или алюминия с углами при вершине 30º,45 º, 60º, 90 º.

Пластическая прочность определяется по формуле

$$Pm= K\alpha(P/h2), \text{ Па}, \qquad (8.4)$$

при Kα – коэффициент зависящий от угла конуса

$$K\alpha=\frac{1}{\pi}\cos^2\frac{\alpha}{2}\ \mathrm{ctg}\frac{\alpha}{2}\ , \qquad (8.5)$$

при α= 60°, Kα = 0,413; P - вес погружаемой системы, Н; *h* - глубина погружения конуса, м.

Коэффициент размягчения определяют по отношению пластическое прочности набухшего образца к пластической прочности исходного образца

$$K_p=\frac{P_m}{P_{исх}}$$

Скорость диспергирования глины в воде невелика, и определить её вследствие сложности происходящих в растворе процессов можно лишь с большой погрешностью, поэтому на практике её не замеряют. Тем не менее этот показатель (особенно при использовании в качестве промывочной жидкости растворов электролитов) имеет важное значение при выборе буровых растворов. Исследования предполагается проводить с использованием 5-10 %-го раствора $Al_2(O_4)_3$.

Скорость диспергирования можно определить приближённо по разности весов образцов глины, выдержанных в воде, и испытуемом буровом растворе, делённой на площадь поверхности образца и время выдержки

$$V_g=\frac{P_{н.в.}-P_{н.р.}}{S\ t}$$

Экспериментальная часть

Исследования набухания и размягчения глины. 1. Из заранее приготовленного замеса глины на воде (в соотношении 1:1 по весу) готовят образцы в виде шариков или цилиндров, диаметром 4-5 см. 2. Определяют вес образцов P_0. 3. Определяют пластическую прочность (среднюю из трёх измерений).

4. В мензурку заливают 150 мл воды. 5. С помощью корзинки в мензурку опускают образцы глины и замеряют их объём (по изменению уровня воды в мензурке) V_0. 6. Через каждые 0,5 часа выдержки в воде образцы извлекают из мензурки и замеряют объём набухшей глины $V_Н$. 7. Замеряют вес набухшего образца Рн. 8. Замеряют пластическую прочность глины P_m. 9. Определяют степень набухания $K_1=\frac{V_Н}{V_0}$. 10. Определяют объём жидкости в глине

$V_ж = \frac{P - P_0/2}{\rho}$. 11. Определяют объём жидкости, связанной I г глины $K_2 = \frac{2V_ж}{P_0}$. 12. Определяют скорость набухания $\omega = \frac{K_2}{t}$. 13. Определяют коэффициент размягчения $K_р = \frac{P_m}{P_{исх}}$

Все результаты заносят в табл. 8.1.

Таблица 8.1

t, ч	P_0, кг	$_0м^3$	$_нм^3$	$P_н$, кг	,м	Р, Па	K_1	$_ж$, $м^3$	K_2		$K_р$
0 0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0											

По полученным данным строят графики зависимости K_1, K_2, $K_р$ от времени.

Исследование скорости диспергирования глины производят на образцах, по весу равным образцам по испытанию набухания, параллельно с исследованиями набухания глины. Для этого дополнительно во вторую мензурку заливают 150 мл 5-10 %-го раствора соли $AI_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ и проводят замеры объёма и веса исходного образца, объёма и веса выдержанных в воде и растворе образцов (так же, как и при исследованиях набухания). Затем замеряют площадь поверхности (для шарика по формуле $S = \pi Д^2$) . Замеры заносят в табл. 8.2.

Таблица 8.2

t, ч	В воде				В растворе			S, $м^3$	$V_g = \frac{P_{н.в.} - P_{н.р.}}{S\,t}$
	P_0, кг	V_0, $м^3$	$V_н$	$P_{н.в.}$	P_0, кг	V_0	$V_н$		
0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0									

По полученным данным строят графики зависимости от времени.

Обсуждение результатов. Выводы.

Общие выводы о характеристиках горной породы, о зависимостях показателей и скорости набухания, размягчения и диспергирования от времени. Прогноз поведения горной породы при её перебуривании. Требования к промывочной жидкости при бурении глины.

Литература

1. Ивачёв Л. М. Промывочные жидкости и тампонажные смеси.М.:Недра,1987.

2. Зварыгин В. И. Регулирование технологических свойств суровых растворов. Красноярск: КИЦМ,1994.

3. Лекции.

ФГБОУ ВО
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра технологии и техники разведки МПИ

В. И. Еркалов, Г. А. Усов, Ф.П. Сердюков

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В БУРЕНИИ

Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине
«Оптимизация в геологоразведочном производстве»

Для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки

Очное, заочное

Екатеринбург
2020

Оглавление

Предисловие …….. .5
Введение ……7
1. Основные понятия и определения……..14
1.1. Научный эксперимент……..14
1.2. Планирование эксперимента…….15
1.3. Система «черный ящик» ……16
1.4. Факторы…….18
1.5. Параметр оптимизации……..19
1.6. Объект исследования……21
1.7. Модель……...22
Контрольные вопросы…….24
2. Классификация экспериментов и их характеристика…….24
2.1. Подразделение экспериментов по структуре……..24
2.2. Виды экспериментов по стадии научных исследований……25
2.3. Эксперименты с точки зрения их организации ……..25
2.4. Эксперименты по способу их проведения……26
2.5. Типы экспериментов по планированию……28
Контрольные вопросы…….28
3. Методологические концепции экспериментирования……29
3.1. Рандомизация……...29
3.2. Получение устойчивых результатов……..30
3.3. Математическое моделирование……31
3.4. Последовательность экспериментирования… ……..31
3.5. Оптимальное использование факторного пространства ……32
Контрольные вопросы…….32
4. Методы обработки результатов наблюдений……...33
4.1. Исключение грубых погрешностей……34
4.2. Результат измерения и оценка его среднего квадратического отклонения……..36
4.3. Коэффициент вариации и точность измерений……40
4.4. Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению……42

4.5. Вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерения……48
4.6. Определение необходимого количества наблюдений…….51
4.7. Проверка однородности наблюдений……53
Контрольные вопросы…….60
5. Полный факторный эксперимент……...60
5.1. Выбор области определения, основного уровня и интервалов варьирования факторов…….62
5.2. Матрица планирования и ее свойства……...68
5.3. Дробные реплики от полного факторного эксперимента ……..74
5.4. Реализация плана эксперимента…….82
5.5. Алгоритм расчета полного факторного эксперимента типа 2^k при равномерном дублировании опытов…88
5.6. Интерпретация результатов……..99
5.7. Принятие решений после построения модели…….101
5.8. Пример применения полного факторного эксперимента с равномерным дублированием опытов ….104
Контрольные вопросы……113
Заключение……113
Библиографический список……115

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эффективность научно-технических исследований определяется прежде всего их организацией и квалификацией кадров. Поэтому в настоящее время все большее внимание уделяется вопросам организации исследований и разработок.

За последние годы коренным образом изменился подход к экспериментально-статистическому исследованию. В различных областях научно-технических исследований успешно стали применяться методы математического планирования эксперимента. Они нашли применение в ряде отраслей народного хозяйства в повседневной экспериментальной работе при проектировании и испытаниях новых технических средств, при разработке и совершенствовании технологических процессов и т. д.

Статистические методы планирования эксперимента позволяют значительно интенсифицировать труд исследователя, сократить сроки и затраты на эксперимент, повысить достоверность выводов по результатам исследования, глубже проникнуть в сущность исследуемых систем и процессов. Важным достоинством методов планирования эксперимента является их универсальность, пригодность в большинстве областей исследования для решения так называемых экстремальных задач.

Математическая обработка и анализ результатов эксперимента все больше входят в круг вопросов, необходимых инженерно-техническим работникам геологоразведочных организаций. В связи с этим в последние годы для студентов специальности «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» был введен курс «Оптимизация буровых и геологоразведочных работ и планирование эксперимента».

В нашей стране и за рубежом издано очень много литературы по планированию эксперимента в химии, металлургии, биологии, машиностроении, электронике и др. При этом необходимо отметить, что, несмотря на наличие большого числа теоретических и прикладных работ по планированию экс-

перимента, учебников и учебных пособий, посвященных данному вопросу, явно недостаточно. К сожалению, до настоящего времени не издана учебно-методическая литература по планированию эксперимента для специалистов по бурению скважин. Недостаточное знание ими методов планирования эксперимента приводит к применению упрощенных и недостаточно обоснованных приемов.

Предлагаемое учебное пособие предназначено для студентов старших курсов, которые должны овладеть одним из направлений в планировании эксперимента, связанного с оптимизацией процессов, – планированием экстремального эксперимента – и уметь применять его на практике. Полезные сведения в нем найдут работники производственных организаций, занимающиеся вопросами бурения скважин.

Для успешного усвоения материала студенту достаточно знаний основ высшей математики в объеме обычной программы вузовского курса, включая элементы теории вероятностей и математической статистики.

В основу учебного пособия положен курс лекций, читаемый авторами студентам специальности 130203 – «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее повышение экономической эффективности геологоразведочных работ в значительной мере связано с научно-техническим прогрессом в области разведочного бурения, в частности, одним из важнейших его направлений — оптимизацией процесса бурения.

Определенные трудности возникают при оптимизации процесса бурения разведочных скважин на твердые полезные ископаемые вследствие изменчивости условий ведения буровых работ, отсутствия полноты информации о геологическом разрезе, частой перемежаемости горных пород и большого разнообразия их по физико-механическим свойствам, наличия трещиноватости, раздробленности горных пород и т. д.

Исследование и оптимизация процесса бурения могут быть проведены как на основе всестороннего теоретического изучения его механизма, так и эмпирическим путем поиска оптимальных условий и построения математической модели по данным эксперимента. Решение этой задачи на современном уровне возможно только при использовании экспериментально-статистического подхода к процессу бурения как к некоторой системе, имеющей определенные входы и выходы. Это, в свою очередь, приводит к пересмотру взглядов на эксперимент, его организацию и научную трактовку.

Процесс бурения относится к классу сложных систем, характеризующихся значительным числом взаимосвязанных параметров. Задача исследования таких систем заключается в установлении зависимости между входными параметрами (факторами) и выходными (показателями качества функционирования системы) и определении уровней факторов, оптимизирующих выходные параметры системы.

В последние десятилетия появились новые методы математической статистики, где используются идеи кибернетического подхода к изучению технологических процессов, к планированию и постановке экспериментов. Получило развитие новое направление экспериментально-

статистических исследований - математическое планирование эксперимента.

Планирование эксперимента - это новый подход к исследованию, в котором математическим методам отводится активная роль. Основываясь на априорных сведениях об изучаемом процессе, исследователь выбирает некоторую оптимальную стратегию для управления экспериментом. Процесс исследования обычно разбивается на отдельные этапы. После каждого этапа исследователь получает новую информацию, позволяющую ему изменить стратегию исследования.

Применение планирования эксперимента делает поведение исследователя целенаправленным и организованным, существенно способствуя повышению производительности его труда и надежности полученных результатов. Планирование эксперимента — мощный инструмент экспериментально-статистического исследования и оптимизации сложных систем. Исключая слепой поиск, оно значительно сокращает число опытов, следовательно, затраты и сроки проведения эксперимента, дает возможность получить количественные оценки влияния факторов, математические модели.

Планирование эксперимента вносит ряд положительных моментов в традиционные экспериментальные методики, среди которых необходимо отметить следующие:

1. Рандомизация условий эксперимента, позволяющая посредством специальных приемов перевести неуправляемые факторы в случайные величины и, следовательно, учитывать их статистически.

2. Планирование эксперимента дает исследователю четкую Логическую схему и способ решения задач на разных этапах исследования (рис. В1).

3. Результаты экспериментов можно представить в виде математических зависимостей между воздействующими факторами и изучаемыми параметрами процесса, для чего можно использовать ПК.

4. При использовании планирования эксперимента с увеличением количества исследуемых факторов точность эксперимента повышается.

5. При планировании эксперимента резко сокращается количество необходимых опытов по сравнению с традиционными экспериментами.

6. Планирование эксперимента позволяет рассмотреть связь между большим числом факторов, оценить долю влияния каждого, отсеять второстепенные факторы, что невозможно сделать при традиционном однофакторном эксперименте.

7. Результаты эксперимента можно представить графически в двух- и трехмерном факторных пространствах.

8. Планирование эксперимента весьма эффективно применяется при решении экстремальных задач. В данном случае при минимальном количестве опытов, варьируя значение независимых переменных (факторов), можно найти область оптимума и получить ее математическую модель.

Из изложенного следует, что математическая теория планирования эксперимента дает в руки исследователя научно обоснованные методы, позволяющие при минимальных затратах времени и средств планировать эксперимент таким образом, чтобы получать максимум информации об изучаемом объекте.

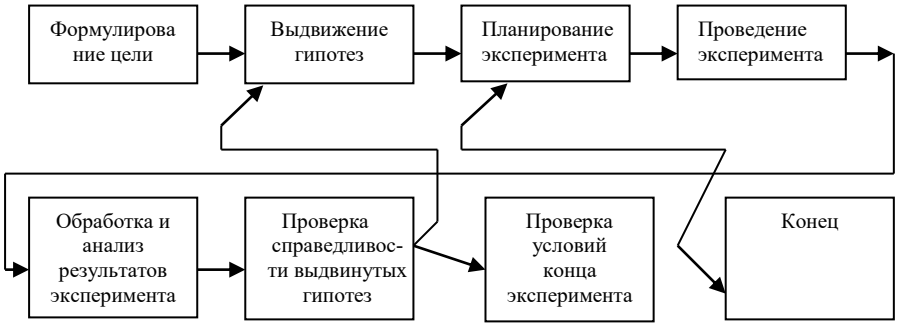


Рис. В1. Логическая схема экспериментального исследования

Методы планирования эксперимента впервые начали использовать в сельскохозяйственных и биологических науках в 20 – 30-х годах XX нашего века. Инициатором применения статистических методов в планировании экспериментов является английский математик Р. Фишер. В начале 50-х годов появляется повое направление в планировании эксперимента, связанное с оптимизацией процессов, - планирование экстремального эксперимента. Первая работа в этой области опубликована в 1951 г. Д. Боксом и К. Уилсоном. Развитие планирования эксперимента связано также с именами Д. Финни, Г. Шеффе, Д. Хантера и др. В нашей стране эти методы получили развитие после появления в 1960 г. работы В. В. Налимова, а в дальнейшем Ю. П. Адлера, Е. В. Марковой, Г. К. Круга, В. В. Федорова, В. Г. Горского, Н. А. Черновой и др.

В настоящее время методы планирования эксперимента, как и другие математические методы (табл. В1), находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства для исследования физических объектов.

В последние годы при технологических исследованиях в бурении стали все больше обращаться к математическим методам, так, была принята схема последовательности технологических работ в процессе бурения скважин на твердые полезные ископаемые, в которой определенное место отведено планированию эксперимента и методу группового учета аргументов (рис. В2).

Планирование экстремального эксперимента находит широкое применение для решения практических задач по оптимизации технологических процессов, и наша цель — в доступной и понятной форме изложить его применительно к задачам бурения скважин.

Таблица В1

Математические методы исследования производства

Класс методов	Способ исследования	Объекты	Используемый математический аппарат
Прямое математическое описание	Аналитическое исследование	Производство с непрерывным стационарным технологическим процессом	Системы алгебраических и трансцендентных уравнений (численные методы)
		Производство с нестационарным непрерывным технологическим процессом	Дифференциальные уравнения и уравнения математической физики (численные методы)
		Производство с дискретным технологическим процессом	Комбинаторика, теория графов
Статистическое моделирование	Статистическое исследование	Производство со стохастическими характеристиками	Метод Монте-Карло
Экспериментальные методы	Пассивный эксперимент	Реальный промышленный объект с высокой производительностью и дорогим продуктом	Математическая статистика (корреляционный, регрессионный, дисперсионный анализы)
	Активный эксперимент	Лабораторная или полупромышленная установка, реальный промышленный объект в пусковой период	Планирование эксперимента

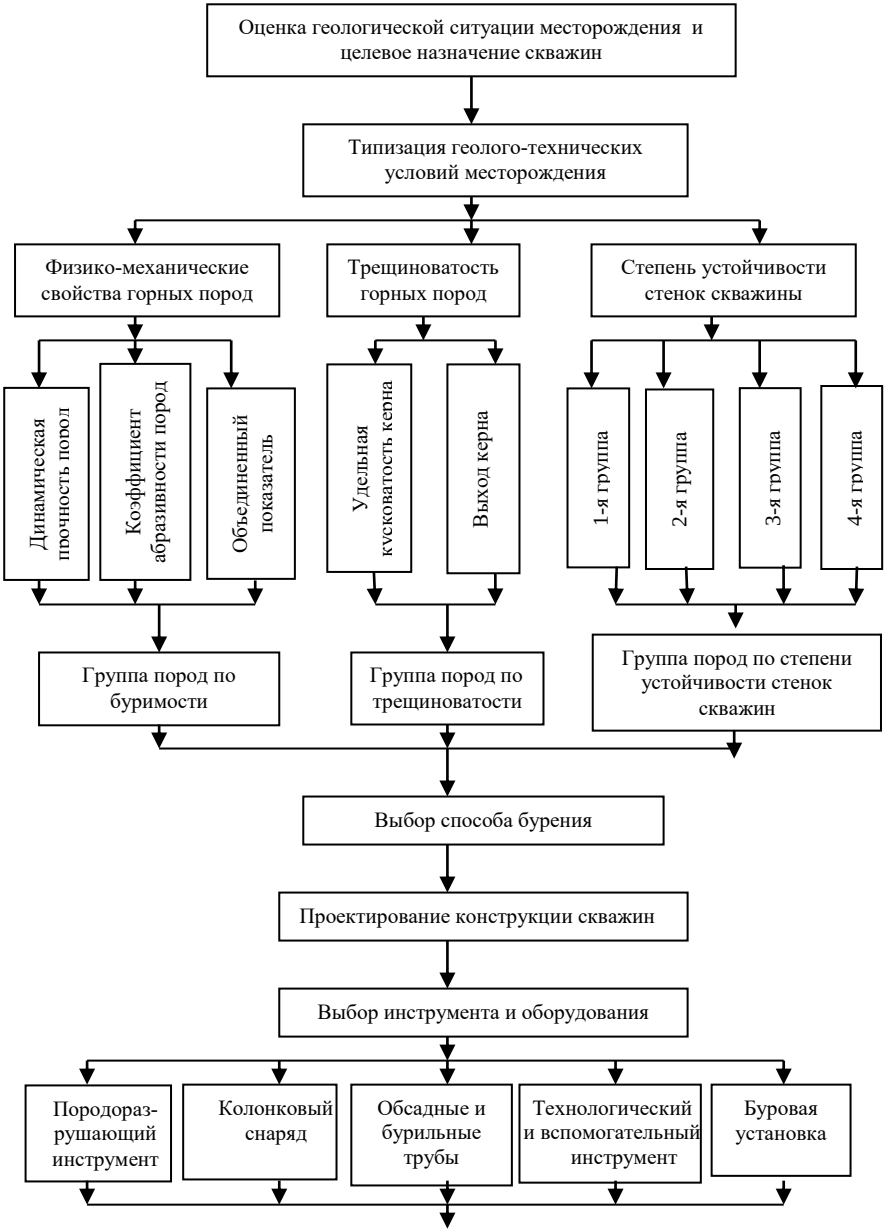

Оценка геологической ситуации месторождения и целевое назначение скважин
Типизация геолого-технических условий месторождения
Физико-механические свойства горных пород
Трещиноватость горных пород
Степень устойчивости стенок скважины
Динамическая прочность пород
Коэффициент абразивности пород
Объединенный показатель
Удельная кусковатость керна
Выход керна
1-я группа
2-я группа
3-я группа
4-я группа
Группа пород по буримости
Группа пород по трещиноватости
Группа пород по степени устойчивости стенок скважин
Выбор способа бурения
Проектирование конструкции скважин
Выбор инструмента и оборудования
Породораз-рушающий инструмент
Колонковый снаряд
Обсадные и бурильные трубы
Технологический и вспомогательный инструмент
Буровая установка

Рис. В2

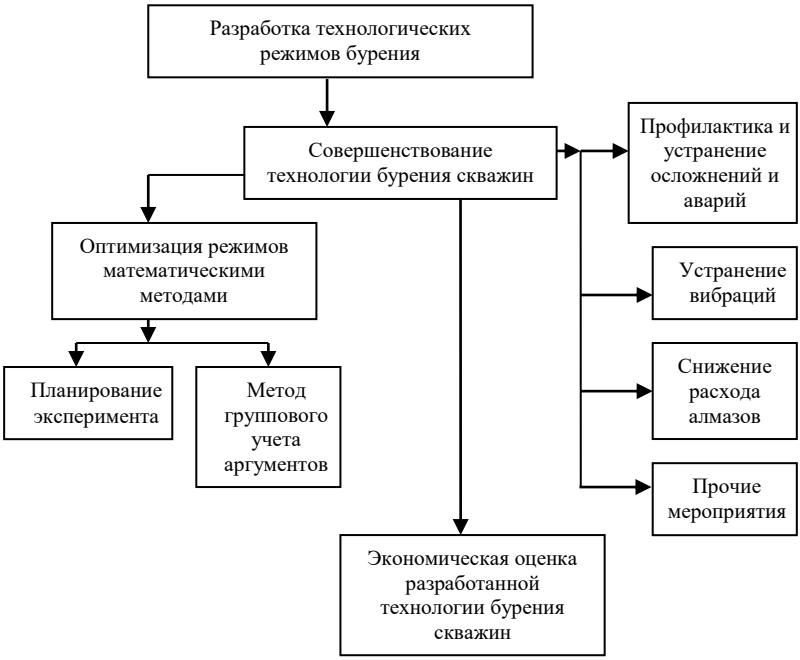


Рис. В2. Последовательность технологических работ в процессе бурения скважин на твердые полезные ископаемые (окончание)

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Научный эксперимент

Эксперимент (от латинского experimentum — проба, опыт) относится к эмпирическому уровню научного познания.

Под экспериментом понимают изучение природных явлений путем научного поиска при точно учитываемых условиях, которые дают возможность следить за ходом исследуемого процесса и повторять его каждый раз при воспроизведении тех же условий.

Эксперимент отличается от простого наблюдения своим активным характером, вмешательством в естественный ход событий. Это делает эксперимент формой практики. Эксперимент предполагает проведение всей совокупности действий и операций с помощью специальных экспериментальных средств, которые обеспечивают создание явлений и условий, совпадающих (или не совпадающих) с выводами и предсказаниями, полученными из проверяемой теории или гипотезы.

Исходя из этого можно дать следующее определение эксперимента: *эксперимент есть вид деятельности, предпринимаемой в целях научного познания, открытия объективных закономерностей и состоящей в воздействии на изучаемый объект (процесс) посредством специальных инструментов и приборов, благодаря чему удается: 1) изолировать исследуемый объект от влияния побочных, несущественных и затемняющих его сущность явлений и изучать его в «чистом» виде; 2) многократно воспроизводить ход процесса в строго фиксированных, поддающихся контролю и учету условиях; 3) планомерно изменять, варьировать, комбинировать различные условия в целях получения искомого результата.*

Из данного определения можно сделать вывод: эксперимент представляет собой органическое единство практического действия и теоретической работы мысли.

Постановка и проведение эксперимента не являются самоцелью. Эксперимент – всегда средство получения некоторой искомой информации, установления фактов, проверки гипотезы, словом, средство для решения определенной познавательной задачи или проблемы.

Эксперимент как вид практики характеризуется взаимосвязью трех его основных составляющих элементов: 1) экспериментатор и его деятельность; 2) средства (инструменты, приборы, экспериментальные установки), с помощью которых проводится эксперимент; 3) объект экспериментального исследования.

1.2. Планирование эксперимента

Рост объемов экспериментальных исследований сделал актуальной постановку вопроса об эффективности эксперимента. Возникли математическая теория эксперимента и планирование эксперимента как ее часть.

Проф. Налимов В. В. дает следующее определение планированию эксперимента: *«...планирование эксперимента — это оптимальное управление экспериментом при неполном знании механизма явлений. Эксперименты обычно ставятся небольшими сериями по заранее составленному алгоритму, оптимальному в некотором строго сформулированном смысле. После каждой небольшой серии опытов производится обработка результатов наблюдений и принимается строго обоснованное решение о том, что делать дальше. Планирование эксперимента можно рассматривать как одно из направлений кибернетики. Возможность управления сложными системами при неполном знании механизма явлений — это одно из основных положений кибернетики».*

Планирование эксперимента рассматривается еще и как процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. При этом существенно следующее: 1) стрем-

ление к минимизации общего числа опытов; 2) одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс, по специальным правилам — алгоритмам; 3) использование математического аппарата, формализующего многие действия экспериментатора; 4) выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

Внешне планирование эксперимента выглядит как математическая дисциплина. Однако его логическая структура отличается от построений чистой математики. В планировании эксперимента роль аксиом играют критерии оптимального эксперимента. Их правомерность основывается на нашем интуитивном представлении о том, что есть хороший эксперимент. Критерии оптимальности, сформулированные на математическом языке, становятся теми исходными высказываниями, на которых строится вся дальнейшая теория. И когда мы говорим о математической теории эксперимента, то это не означает, что здесь строится новая математическая дисциплина. Речь идет о создании формально-логического подхода к изучению проблемы эксперимента, формулируемого на языке математики.

Планирование эксперимента - это раздел знаний, относящийся не только и не столько к математической статистике, сколько к логике. Применение планирования эксперимента требует высокой степени формализации. Это заставляет исследователя стремиться к четкому логическому осмысливанию всей процедуры исследования.

1.3. Система «черный ящик»

В связи с тем, что математические методы планирования эксперимента основаны на кибернетическом представлении об объекте исследования, наиболее подходящей моделью последнего является кибернетическая система, схематически изображенная на рис. 1.1 и называемая «черным, ящиком».

При рассмотрении такой кибернетической системы различают входы и выходы. Охарактеризуем их.

x_1, x_2,... x_k, - управляемые факторы, которые можно фиксировать на определенном уровне или варьировать в процессе эксперимента (например, осевая нагрузка, частота вращения, расход промывочной жидкости);

z_1, z_2, …, z_m – контролируемые факторы, значение которых можно контролировать или поддерживать на определенных уровнях (например, тип породоразрушающего инструмента, промывочной жидкости и др.);

ω_1, ω_2, …, ω_n – неконтролируемые факторы. Они часто недоступны для измерения, а в некоторых случаях неизвестны исследователю (например, физико-механические свойства горных пород, трещиноватость пород и др.);

y_1, y_2, …, y_i – выходные параметры процесса. Они называются функциями отклика, целями или параметрами оптимизации. При исследовании процесса бурения чаще всего это механическая скорость, стоимость одного метра скважины, износ породоразрушающего инструмента и др.

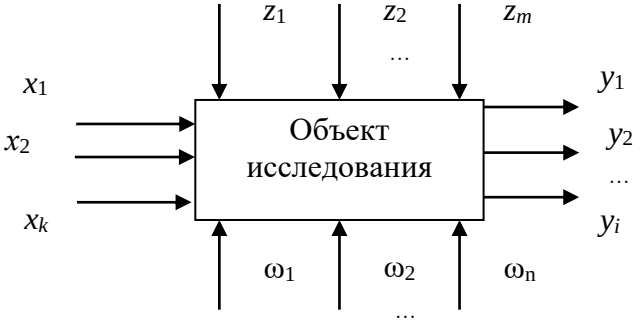


Рис. 1.1. Схема кибернетической системы

Такой кибернетический подход позволяет на основании экспериментальных данных не только построить математическую модель процесса, связывающую функцию отклика (параметр оптимизации) с варьируемыми факторами, но и управлять им при недостаточном знании самого происходящего явления.

1.4. Факторы

Фактором называется входная независимая переменная, принимающая в некоторый момент времени определенное значение и соответствующим способом воздействующая на объект.

Каждый фактор может принимать в опыте одно или несколько значений, называемых уровнями. Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний кибернетической системы. Одновременно этот набор представляет условия проведения одного из возможных опытов.

Опыт - осуществление определенного воздействия на объект и регистрация получаемого результата.

Каждому фиксированному набору уровней факторов соответствует определенная точка в многомерном пространстве факторов, называемом факторным пространством. Опыты могут быть реализованы лишь в точках, принадлежащих допустимой области факторного пространства.

Факторы могут быть количественными и качественными. Количественными факторами являются переменные величины, которые можно оценивать количественно: измерять, взвешивать и т. д., качественными — переменные, характеризующиеся качественными свойствами (разные аппараты, исполнители и т. п.). Качественным факторам в отличие от количественных не соответствует числовая шкала. Однако и для них можно построить условную порядковую шкалу, которая производит кодирование, устанавливая соответствие между уровнями качественного фактора и числами натурального ряда.

При исследовании процесса необходимо учитывать все существенные факторы. Если по каким-либо причинам влияние некоторых факторов невозможно учесть в эксперименте, то эти факторы должны быть стабилизированы на определенных уровнях в течение всего эксперимента. Если число факторов велико, то необходимо отсеять те факторы, которые оказывают незначительное влияние на параметр оптимизации. Отсеивание

несущественных факторов производят на основе априорного ранжирования или с помощью постановки отсеивающих экспериментов (дисперсионный анализ, метод случайного баланса и др.).

Основные требования, предъявляемые к факторам:

1) управляемость, т. е. возможность установки и поддержания выбранного нужного уровня фактора постоянным в течение всего опыта или его изменение по заданной программе;

2) непосредственное воздействие на объект исследования, так как трудно управлять фактором, являющимся функцией других факторов;

3) операциональность - указание последовательности операций, с помощью которых устанавливаются конкретные уровни, размерность и точность фиксирования фактора;

4) совместимость - все запланированные комбинации уровней факторов должны быть осуществимы и безопасны;

5) независимость - возможность установления факторов на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов.

Каждый фактор имеет область определения - совокупность всех значений, которые он может принимать. Эта область имеет ограничения; принципиальные, технические, технологические, экономические.

1.5. Параметр оптимизации

Реакция (отклик) системы на воздействие факторов может быть весьма многогранна. Среди множества выходных параметров исследователь должен уметь выделить параметр, который нужно оптимизировать. Цель исследования должна быть сформулирована очень четко и допускать количественную оценку. Характеристику цели, заданную количественно, называют параметром оптимизации (критерием оптимизации, целевой функцией).

Параметры оптимизации бывают экономическими (прибыль, себестоимость и др.), технико-экономическими (производительность, надежность, долговечность и др.), технико-технологическими (выход продукта, физические характеристики продукта и др.), статистическими и т. д.

Из многих параметров, характеризующих объект исследования, только один может служить параметром оптимизации. Остальные рассматриваются как ограничения. Если параметров оптимизации несколько, то эксперимент проводится по каждому из них, а затем решается компромиссная задача.

К параметру оптимизации предъявляется ряд требований: эффективность с точки зрения достижения цели, универсальность, количественное выражение одним числом, статистическая эффективность, физический смысл, простота и доступность вычисления, существование для всех различных состояний.

Главным, определяющим корректность постановки задачи является требование эффективности с точки зрения достижения конечной цели. Параметр оптимизации должен оценивать функционирование системы в целом, а не отдельных ее подсистем. Под универсальностью параметра оптимизации понимают его способность всесторонней характеристики объекта исследования. Параметр оптимизации должен быть количественным, задаваться числом. Множество значений, которые может принимать параметр оптимизации, назовем областью его определения. Эти области могут быть непрерывными и дискретными, ограниченными и неограниченными. Исследователь должен уметь измерять параметр оптимизации при любой возможной комбинации выбранных уровней факторов. С количественной природой параметра оптимизации связаны требования его выражения одним числом, а также однозначность в статистическом смысле (заданному набору значений факторов должно соответствовать одно с точностью погрешности эксперимента значение параметра оптимизации).

Требование статистической эффективности сводится фактически к выбору параметра оптимизации, определяемого с наибольшей возможной точностью.

Требование физического смысла, связанное с последующей интерпретацией результатов эксперимента, а также требования простоты и легкости вычисления часто также оказываются весьма существенными.

1.6. Объект исследования

Для определения параметра оптимизации и выбора схемы планирования эксперимента предварительно изучают объект исследования на основе априорной информации, которую получают, изучая литературные источники и анализируя результаты ранее проведенных работ. При планировании эксперимента к объекту исследования предъявляют следующие требования.

1. Объект исследования должен удовлетворять требованию воспроизводимости. При многократном повторении опыта его результат имеет разброс значений, который характеризует воспроизводимость результата. Считается, что объект исследования удовлетворяет требованию воспроизводимости, если многократно повторенные опыты дают результаты с разбросом значений, не превышающим некоторой заданной величины.

2. Объект должен быть управляемым, но практически нет абсолютно управляемых объектов. На реальный объект обычно действуют как управляемые, так и неуправляемые факторы. Последние влияют на воспроизводимость результатов эксперимента и являются причиной ее нарушения.

Если требование воспроизводимости удовлетворяется, выявляют возможность проведения активного эксперимента. Объект, на котором возможен активный эксперимент, называется управляемым.

Если требование воспроизводимости не выполняется, приходится обращаться к активно-пассивному эксперименту.

Возможно, что плохая воспроизводимость объясняется действием фактора, систематически изменяющегося (дрейфующего) во времени. Тогда необходимо обращаться к специальным методам планирования.

Наконец, возможно, что все факторы неуправляемы. В этом случае возникает задача установления связи между параметром оптимизации и факторами по результатам наблюдений за поведением объекта, или, как говорят, по результатам пассивного эксперимента.

В учебном пособии рассматриваются только такие объекты, для которых требование воспроизводимости выполняется.

1.7. Модель

Результаты эксперимента используют для получения математической модели исследуемого процесса. Математическая модель - система математических соотношений, описывающих изучаемый процесс или объект. При планировании эксперимента под математической моделью часто понимают уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами. Такое уравнение называется также функцией отклика, а геометрический образ, соответствующий функции отклика, - поверхностью отклика.

Для выбора конкретной модели необходимо сформулировать конкретные требования. К ним относятся адекватность, содержательность, простота и др. Под адекватностью понимается способность модели предсказывать результаты эксперимента в некоторой области с требуемой точностью. Содержательность модели должна хорошо объяснять множество уже известных фактов, выявлять новые, незамеченные явления, в какой-то степени предсказывать их дальнейшее развитие и выдвигать перед исследователем новые проблемы. Одним из главных достоинств модели должна быть ее простота.

В зависимости от постановки задачи могут применяться различные модели. Так, для планирования экстремального эксперимента нашли применение полиномиальные модели - модели в виде алгебраических полиномов.

В общем виде функция отклика, являющаяся и параметром оптимизации, может быть представлена выражением

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_k), \qquad (1.1)$$

где $x_1, x_2, ..., x_k$ – независимые переменные факторы.

При решении экстремальных задач при неполном знании механизма процессов функцию отклика представляют в виде полиномиального уравнения

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i \neq j}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \dots , \qquad (1.2)$$

где $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$ – коэффициенты, характеризующие свободный член уравнения, линейные, квадратичные эффекты и эффекты взаимодействия.

Пользуясь данными эксперимента, исследователь находит лишь оценки коэффициентов уравнения регрессии $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$. После этого уравнение принимает вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i \neq j}^{k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} x_i^2 + \dots \qquad (1.3)$$

где $\hat{y}$ — оценка выходного параметра оптимизации.

Такая математическая модель является наиболее простой и удобной при решении задач оптимизации. Она удобна и в том смысле, что в случае неадекватности (т. е. несоответствия с экспериментом) порядок ее можно увеличить, продолжив исследования с использованием результатов уже ранее проведенного эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение научному эксперименту.
2. Что понимается под термином «планирование эксперимента»?
3. Охарактеризуйте систему «черный ящик»,
4. Какие требования предъявляются к факторам?
5. Понятие «параметр оптимизации». Какие требования предъявляются к нему?
6. Что такое «воспроизводимость» и «управляемость» объекта исследования?
7. Какие математические модели применяются при планировании экстремального эксперимента?

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Рассмотрим один из возможных вариантов схемы разветвленной классификации экспериментов, в которой приняты за основу следующие обобщенные признаки: структура, стадия научных исследований, организация, способ проведения и планирование.

2.1. Подразделение экспериментов по структуре

По структуре эксперименты подразделяются на натурные, модельные и модельно-кибернетические (машинные).

В натурном эксперименте средства экспериментального исследования взаимодействуют непосредственно с объектом исследования.

В модельном эксперименте экспериментируют не с самим объектом, а с его заменителем — моделью. Модель здесь играет двоякую роль: она является непосредственно объектом экспериментального исследования и по отношению к изучаемому объекту выступает в качестве средства экспериментального исследования.

Модельно-кибернетический эксперимент является разновидностью модельного эксперимента, при котором соответствующие характеристики изучаемого объекта вычисляются с помощью моделирующего алгоритма на ПК. Данный вид эксперимента отличается универсальностью и имеет широкую область применения.

2.2. Виды экспериментов по стадии научных исследований

По стадии научных исследований эксперименты делятся на лабораторные, стендовые и промышленные.

К лабораторным относятся эксперименты по изучению общих закономерностей различных явлений и процессов, по проверке научных гипотез и теорий.

Стендовые испытания (исследования) проводят тогда, когда необходимо изучить вполне конкретный процесс, протекающий в исследуемом объекте, с определенными свойствами. По результатам стендовых испытаний судят о различных недоработках при расчетах или конструировании объекта (изделия, технологического процесса и др.), а также вырабатывают рекомендации относительно серийного выпуска изделий и условий его эксплуатации.

Промышленный эксперимент проводят при создании нового изделия или процесса по данным лабораторных или стендовых испытаний, при оптимизации действующего процесса, при проведении контрольно-выборочных испытаний качества выпускаемой продукции.

2.3. Эксперименты с точки зрения их организации

С точки зрения организации можно выделить обычные (рутинные), специальные (технические), уникальные и смешанные эксперименты.

Обычные эксперименты проводятся в лабораторных условиях, как правило, по несложным методикам с использова-

нием сравнительно простого экспериментального оборудования и сопряжены с однообразными измерениями и вычислениями, многократно повторяющимися в течение длительного промежутка времени.

Специальные эксперименты связаны с созданием и исследованием разных приборов и аппаратов (средства автоматики, элементы и узлы ПК).

Уникальные эксперименты проводятся на сложном экспериментальном оборудовании (типа ядерного реактора, радиоэлектронного комплекса и др.). Такие эксперименты отличаются большими объемами экспериментальных данных, высокой скоростью протекания исследуемых процессов, широким диапазоном измерения характеристик объектов исследования. Основные области применения уникальных экспериментов — исследование космоса, новых судов, самолетов и др.

Смешанные эксперименты содержат совокупность разнотипных экспериментов, объединенных единой программой исследования и связанных друг с другом результатами исследований.

2.4. Эксперименты по способу их проведения

По способу проведения различают пассивные, активные, активные с программным управлением, активные с обратной связью и активно-пассивные эксперименты.

Пассивный эксперимент основан на регистрации входных и выходных параметров, характеризующих объект исследования (без вмешательства в эксперимент в процессе его проведения, с применением математико-статистических методов только после окончания эксперимента для обработки собранных экспериментальных данных. Исследование влияния совокупности факторов на объект производится при условии, что изменяется только один из факторов и фиксируются значения всех остальных. В сложных системах, в которых большое число воздействий не может контролироваться или управляться, это условие не выполняется.

В отличие от пассивного неуправляемого активный эксперимент предполагает возможность активного воздействия на исследуемый объект. При использовании методов активного эксперимента математическое описание строится в виде совокупности статических и динамических выходных характеристик объекта, которые регистрируются при подаче на его входы специальных возмущающих воздействий. При активном эксперименте можно оценить дисперсию погрешности, строго проверить адекватность модели и принять необходимые меры для выполнения условий, необходимых для применения метода множественного регрессионного анализа, используемого для обработки результатов эксперимента.

Активный эксперимент с программным управлением проводится по заранее составленному плану. В соответствии с этим планом экспериментатор воздействует на входные параметры исследуемого процесса, а выходные параметры, отражая реакцию исследуемого объекта на управляющие воздействия, позволяют выяснить природу происходящих процессов в объекте исследования.

В случае активного эксперимента с обратной связью, интерпретируя результаты на каждом этапе эксперимента, можно выбрать оптимальную стратегию управления экспериментом – такие эксперименты можно проводить автоматически (без участия экспериментатора).

Активно-пассивный эксперимент характеризуется тем, что при его проведении одна часть данных просто регистрируется, а другая, кроме того, обрабатывается в процессе эксперимента' и участвует в выработке управляющих воздействий. В таком эксперименте одна часть информации, получаемой от объекта, соответствует характеристикам, изменяющимся в соответствии с приложенными управляющими воздействиями, а другая отражает характеристики, не подверженные управляющим воздействиям.

2.5. Типы экспериментов по планированию

В связи с планированием принято выделять следующие типы экспериментов.

Экстремальный эксперимент, задача которого состоит в определении экстремальных значений функции регрессии (или комбинации факторов, при которых функция отклика принимает экстремальные значения). Методы его планирования тесно связаны с методами планирования регрессионного и факторного экспериментов, с одной стороны, и методами стохастического программирования – с другой.

Эксперимент по проверке конкретной статистической гипотезы (дискриминирующий эксперимент). Это сравнительно изученный раздел, который также связан с планированием в регрессионных и факторных моделях.

Отсеивающий эксперимент, задача которого состоит в выделении значимых факторов. Теория его планирования активно развивается в последнее время.

Имитационный эксперимент, который, как правило, связан с имитацией изучаемого явления на ЭВМ или другом устройстве, позволяющем воспроизводить это явление с приемлемой точностью. Ряд результатов по его планированию получен в связи с использованием метода Монте-Карло, а также исследованием сложных систем (типа моделей ядерного реактора).

Контрольные вопросы

1. Какие обобщенные признаки положены в основу классификации экспериментов?
2. Как можно подразделить эксперименты по структуре?
3. На какие виды по стадии научных исследований делятся эксперименты?
4. Дайте характеристику экспериментам с точки зрения их организаций.

5. Охарактеризуйте классификацию экспериментов по способу их проведения.

6. Назовите типы экспериментов по планированию.

3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

Планирование эксперимента существенным образом изменило отношение исследователя к стратегии эксперимента. Это изменение связано с появлением ряда методологических концепций современного подхода к эксперименту. Рассмотрим их.

3.1. Рандомизация

Термин «рандомизация» происходит от английского слова random — случайный.

При проведении эксперимента исследователь сталкивается, как правило, с действием так называемых мешающих факторов, которые трудно поддаются учету и контролю. Но если при этом план многофакторного эксперимента составить таким образом, чтобы рандомизировать, т. е. сделать случайными в пространстве и во времени эти систематически действующие мешающие факторы, то их можно рассматривать как случайные величины и, следовательно, учитывать статистически. Иными словами, в противоположность традиционному подходу к эксперименту со стремлением стабилизировать или не обращать внимание на мешающие факторы, рандомизация внесла концепцию случая в эксперимент и оформилась в виде процедуры планирования эксперимента.

Случайный порядок проведения опытов в большой мере исключает влияние мешающих факторов, тем самым уменьшая систематическую погрешность.

Для рандомизации можно воспользоваться таблицей случайных чисел или применить метод «попугая и морской свинки», который заключается в следующем. Номера опытов записываются на карточках, которые тщательно перемешиваются и затем извлекаются.

Однако далеко не во всех случаях рандомизацию удается осуществить так просто. Часто на рандомизацию приходится налагать ограничения, обусловленные особенностями той или иной экспериментальной ситуации. Как, например, рандомизировать во времени эксперимент, если исследователю нужно последовательно выполнить несколько циклов, состоящих из четырех опытов, а в день он может поставить только три опыта? Появилась потребность в создании экспериментальных планов с ограничениями, наложенными на рандомизацию. Так появились неполноблочные сбалансированные планы, латинские и греколатинские квадраты, латинские кубы и параллелепипеды.

3.2. Получение устойчивых результатов

Одним из важнейших условий экспериментирования является устойчивость получаемых результатов в том смысле, что многократное повторение опыта или измерения дает совершенно строгую картину распределения результатов. Другими словами, желательно, чтобы результаты подчинялись известным статистическим закономерностям.

Обычно предполагают, что среднее значение результатов параллельных опытов стремится к математическому ожиданию, погрешности опытов распределены нормально и т. п. Это позволяет экспериментатору: 1) использовать определенные приемы обработки результатов; 2) делать статистические выводы и принимать решения.

Устойчивости поведения случайной величины обычно добиваются путем сохранения постоянства условий при проведении эксперимента и применением рандомизации.

3.3. Математическое моделирование

Кибернетика внесла свои понятия и методы в процессы изучения и управления исследуемых объектов. Важнейшим из них является понятие математической модели, наиболее широко используемое как средство описания исследуемого объекта в виде математических зависимостей и уравнений.

Математические модели, полученные при исследовании технологических объектов, позволяют решать ряд задач, среди которых особое место занимает задача поиска оптимальных условий исследуемого объекта. Говорят, что в таком случае рассматривается экстремальный эксперимент, где все действия направлены на поиск оптимума (экстремума) технологического объекта. Математическая модель, описывающая исследуемый объект, позволяет эффективно определить его оптимальный режим.

3.4. Последовательность экспериментирования

Каждый экспериментатор в своей практике широко использует идею последовательного экспериментирования, согласно которой эксперимент осуществляется не сразу, а последовательно, этапами. После каждого этапа производится анализ полученных результатов, и на основании этого анализа принимается решение о дальнейшей деятельности.

Эта концепция наиболее ярко проявилась в задачах планирования экстремальных экспериментов, когда исследователь, варьируя многие переменные, пытается найти оптимальные условия протекания некоторого технологического процесса. Поиск экстремума производится последовательно с помощью различных методов: линейного приближения, движения по градиенту, описания полиномами второго порядка и т. д.

3.5. Оптимальное использование факторного пространства

Одной из самых распространенных идей теории эксперимента является концепция многофакторного эксперимента. Суть ее заключается в том, что состояние исследуемого объекта (процесса) в каждом опыте определяется по результату одновременного варьирования факторов, изменяющих состояние этого объекта (процесса). Такое экспериментирование проводится в противовес поочередному изменению факторов, когда состояние объекта (процесса) определяется по результатам изменения вначале одного фактора, затем другого и т. д. Новая идея обладает значительными преимуществами по сравнению с традиционным экспериментированием: резко сокращается количество необходимых опытов, повышается точность расчета коэффициентов математической модели, оценивается доля влияния каждого фактора и влияние их взаимодействий.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные методологические концепции экспериментирования.
2. В чем сущность концепции рандомизации?
3. Охарактеризуйте концепцию математического моделирования.
4. В каких задачах находит применение концепция последовательного эксперимента?
5. В чем суть концепции оптимального использования факторного пространства?

4. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Для небольшого количества экспериментальных данных, полученных на предварительном этапе исследования объекта (процесса), могут быть рассчитаны его основные числовые характеристики выходных переменных как случайных величин. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем с наибольшей эффективностью, а главное, корректно использовать информацию, полученную на данном этапе, для планирования эксперимента и его проведения на последующих этапах исследования.

При статистической обработке группы результатов наблюдений необходимо выполнить следующие операции:

- исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата наблюдения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата измерения;
- проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности результата измерения;
- вычислить границы неисключенной систематической погрешности результата измерения;
- вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Информацию о случайной погрешности получают, повторяя наблюдения; информацию о систематической погрешности из самих наблюдений получить нельзя. Для ее оценки необходимо знать свойства используемых средств измерений, метод и условия измерения.

Если систематическая погрешность результата каждого наблюдения известна, то, введя поправки, можно получить группу исправленных результатов наблюдений.

4.1. Исключение грубых погрешностей

Результаты наблюдений, содержащие грубые погрешности, часто бывают заметны, так как они сильно отличаются от других результатов наблюдений. В этих условиях наиболее целесообразный способ выявления и устранения грубых погрешностей — непосредственный анализ наблюдений, тщательная проверка неизменности условий проведения эксперимента, запись результатов «в две руки» и т. д. Необходимо всегда помнить, что статистические методы выявления грубых погрешностей следует применять лишь в сомнительных случаях, когда дополнительная информация о качестве наблюдений является либо неполной, либо ненадежной.

В литературе можно встретить большое количество различных рекомендаций по обнаружению и исключению грубых погрешностей наблюдений. Предложим для практического применения один из критериев оценки анормальности, используемый при обработке результатов наблюдений случайной величины, заведомо подчиняющейся нормальному закону распределения.

Анормальным называется результат наблюдения, резко отклоняющийся от группы результатов наблюдений, которые являются нормальными.

Критерий оценки анормальности результатов наблюдений при неизвестном генеральном среднем квадратическом отклонении σ и неизвестном генеральном среднем m_x заключается в том, что для упорядоченной выборки результатов наблюдений случайной величины (вариационного ряда значений) $x_1 \leq x_2 \leq \ldots \leq x_n$ подсчитывают выборочное среднее:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (4.1)$$

и выборочное среднее квадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\ . \qquad (4.2)$$

Чтобы оценить принадлежность x_n или x_1 данной нормальной совокупности и принять решение об исключении или оставлении x_n (x_1) в составе выборки, находят отношение

$$U_n = \frac{x_n - \bar{x}}{S} \quad \text{или} \quad U_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{S}\ . \qquad (4.3)$$

Результат сравнивают с величиной h, взятой из табл. 4.1 для данного объема выборки n и принятой вероятности α.

Таблица 4.1

Предельные значения *H* для случая неизвестного генерального среднего квадратического отклонения σ

Объем выборки *n*	Предельное значение *H* при вероятности α				Объем выборки *n*	Предельное значение *h* при вероятности α			
	0,100	0,075	0,050	0,025		0,100	0,075	0,050	0,025
3	1,15	1,15	1,15	1,15	12	2,13	2,20	2,29	2,41
4	1,42	1,44	1,46	1,48	13	2,17	2,24	2,33	2,47
5	1,60	1,64	1,67	1,72	14	2,21	2,28	2,37	2,50
6	1,73	1,77	1,82	1,89	15	2,25	2,32	2,41	2,55
7	1,83	1,88	1,94	2,02	16	2,28	2,35	2,44	2,58
8	1,91	1,96	2,03	2,13	17	2,31	2,38	2,48	2,62
9	1,98	2,04	2,11	2,21	18	2,34	2,41	2,50	2,66
10	2,03	2,10	2,18	2,29	19	2,36	2,44	2,53	2,68
11	2,09	2,14	2,23	2,36	20	2,38	2,46	2,56	2,71

Если $U_n \geq h$ ($U_1 \geq h$), то подозреваемый в анормальности результат наблюдения может быть исключен, в противном случае его не исключают.

Пример 4.1

При гидроударно-эжекторном бурении коронками СА5 диаметром 76 мм в определенных геолого-технических условиях были получены следующие значения углубки за рейс, м: 0,7; 1,1; 1,2; 1,2; 1,2; 1,8.

Требуется оценить результат 1,8 м при заданном α = = 0,050. Для критерия $U_n = \dfrac{x_n - \bar{x}}{S}$ вычисляем:

$$\bar{x} = \frac{0{,}7 + 1{,}1 + 1{,}2 + 1{,}2 + 1{,}2 + 1{,}8}{6} = 1{,}2 \text{ м};$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{6-1}[(0{,}7-1{,}2)^2 + (1{,}1-1{,}2)^2 + (1{,}2-1{,}2)^2 + (1{,}2-1{,}2)^2 + (1{,}2-1{,}2)^2 + (1{,}8-1{,}2)^2] = 0{,}35} \quad \text{м},$$

откуда $U_n = \dfrac{1{,}8 - 1{,}2}{0{,}35} = 1{,}71$.

В табл. 4.1 для $n = 6$ и α = 0,050 находим $h = 1{,}82$.

В этом случае U_n (1,71) < h (1,82), и, следовательно, для исключения результата 1,8 м нет оснований.

4.2. Результат измерения и оценка его среднего квадратического отклонения

За результат измерения принимают среднее арифметическое результатов наблюдений, в которые предварительно введены поправки для исключения систематических погрешностей. Стандарт допускает исключение систематической погрешности после вычисления среднего арифметического неисправленных результатов наблюдений, если в них содержится постоянная систематическая погрешность.

Среднее арифметическое результатов наблюдений

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \ , \qquad (4.4)$$

где x_1, x_2,... x_n – случайная выборка объема n.

Когда значения x_i (i = 1, 2, . .., n) большие, целесообразно избрать «круглое» число α (начало отсчета), близкое к x, и вместо формулы (4.4) пользоваться формулой

$$\bar{x} = a + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - a). \qquad (4.5)$$

Оценкой для генерального среднего квадратического отклонения σ нормального распределения является выборочное среднее квадратическое отклонение S результата наблюдения, определяемое по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \ . \qquad (4.6)$$

Для большинства практических случаев целесообразно привести формулу (4.6) к следующему виду:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]} . \qquad (4.7)$$

Если определяют несмещенную оценку $\hat{S}$ для генерального среднего квадратического отклонения σ нормального распределения, применяют формулу

$$\hat{S} = M(v)S \ , \qquad (4.8)$$

где S — выборочное среднее квадратическое отклонение результата наблюдения.

Значение коэффициента M (υ) дано в табл. 4.2 в зависимости от υ = n - 1 при неизвестной генеральной средней.

Таблица 4.2

Значения коэффициентов M (υ)

υ	M (υ)	υ	M (υ)	υ	M (υ)
1	1,253	8	1,032	15	1,017
2	1,128	9	1,028	16	1,016
3	1,085	10	1,025	17	1,015
4	1,064	11	1,023	18	1,014
5	1,051	12	1,021	19	1,013
6	1,042	13	1,019	20	1,013
7	1,036	14	1,018	25	1,010

Среднее квадратическое отклонение $\sigma(\tilde{A})$ результата измерения оценивают по формуле

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \tilde{A})^2}{n(n-1)}} \quad , \qquad (4.9)$$

где x_i — *i-й* результат наблюдений; $\tilde{A}$ — результат измерения (среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений); n – число результатов наблюдений; $S(\tilde{A})$ –оценка среднего квадратического отклонения результата измерения.

Пример 4.2

При твердосплавном бурении с обратной призабойной циркуляцией промывочной жидкости в определенном интервале скважины в процессе наблюдений по девяти рейсам был получен ряд значений механической скорости, м/ч: 4,30; 5,37; 6,76; 8,23; 4,03; 5,35; 4,97; 5,60; 6,21.

Требуется вычислить значения выборочных среднего x, среднего квадратического отклонения S результата наблюдений, определить несмещенную оценку $\hat{S}$ и оценку среднего

квадратического отклонения результата измерения S ($\tilde{A}$). По формуле (4.4) находим выборочное среднее значение механической скорости бурения:

$$\bar{x} = \frac{1}{9}(4{,}30 + 5{,}37 + 6{,}76 + 8{,}23 + 4{,}03 +$$
$$+ 5{,}35 + 4{,}97 + 5{,}60 + 6{,}21) = 5{,}65 \text{м/ч}.$$

Среднее квадратическое отклонение результата наблюдения определяется согласно формуле (4.6), а вспомогательные расчеты рекомендуется оформить, как показано в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Расчет оценки среднего квадратического отклонения

№ п. п.	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	- 1,35	1,8225
2	-0,28	0,0784
3	1,11	1,2321
4	2,58	6,6564
5	-1,62	2,6244
6	0,30	0,0900
7	-0,68	0,4624
8	-0,05	0,0025
9	0,56	0,3136
		Σ = 13,2823

$$S = \sqrt{\frac{1}{9-1}\sum_{1}^{9}(x_i - 5{,}65)^2} = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot 13{,}2823} = 1{,}29 \text{ м/ч}.$$

Для определения несмещенной оценки воспользуемся формулой (4.8) и табл. 4.2, в которой для $\upsilon = 9 - 1 = 8$ значение коэффициента $M(\upsilon)$ принимаем равным 1,032:

$$\hat{S} = 1{,}032 \cdot 1{,}29 = 1{,}33 \text{ м/ч.}$$

Среднее квадратическое отклонение результата измерения вычисляется по формуле (4.9), где в числителе подкоренного выражения поставим уже вычисленное значение суммы и приведенное в табл. 4.3.

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{9}(x_i - 5{,}65)^2}{9(9-1)}} = \sqrt{\frac{13{,}2823}{72}} = 0{,}43 \text{ м/ч.}$$

Таблица 4.4

К выбору класса точности

Класс точности	I	II	III	IV	V
Коэффициент вариации, %	<8	8-15	15-25	25-33	>33

4.3. Коэффициент вариации и точность измерений

Дисперсия и среднее квадратическое отклонение - величины абсолютные, именованные и выражаются в тех же единицах, что и характеризуемый ими признак. Поэтому, когда возникает необходимость сравнивать изменчивость признаков, выраженных разными единицами, приходится пользоваться относительными показателями вариации. Одним из таких показателей является коэффициент вариации, который представляет процентное отношение среднего квадратического отклонения к средней арифметической, т. е.

$$V = \frac{S}{\bar{x}} 100 \ \% \qquad (4.10)$$

При небольшом количестве наблюдений в формуле (4.10) используется несмещенная оценка $\hat{S}$ для генерального

среднего квадратического отклонения σ, определяемая по формуле (4.8).

В зависимости от величины коэффициента вариации можно принять к руководству следующие пять классов точности технологических показателей и расчетов в бурении (табл. 4.4).

Измерения по первому классу точности могут быть получены только при работе с точными измерительными приборами в лабораторных условиях. Ко второму классу относится большинство величин, получаемых при измерениях приборами в стволе скважины, а также при расчетах по формулам, которые принято считать точными. Точность этих расчетов всегда соответствует той, с которой были получены параметры, входящие в расчетные формулы. Третьему классу соответствуют данные, получаемые при расчете по большинству формул технологических процессов в стволе скважины. Четвертый класс точности соответствует грубым ориентировочным расчетам. Производственные данные, относящиеся к пятому классу точности, пригодны лишь для подтверждения той или иной качественной зависимости.

Пример 4.3

По данным примера 4.2 вычислить коэффициент вариации и определить класс точности.

В формулу (4.10) подставим вычисленные в примере 4.2 значения несмещенной оценки среднего квадратического отклонения S = 1,33 м/ч и среднего арифметического $\bar{x}$ = 5,65 м/ч.

Тогда

$$V = \frac{1{,}33}{5{,}65} \cdot 100\ \% = 23{,}5\ \%.$$

По табл. 4.4 определяем класс точности - третий.

4.4. Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению

1. Наиболее простым, но весьма приближенным методом оценки согласия результатов наблюдений с тем или иным законом распределения является графический метод. Опытные данные наносят на вероятностную бумагу и сравнивают с графиком принятой функции распределения, которая на вероятностной сетке изображается прямой линией. Если экспериментальные точки ложатся вблизи прямой со случайными отклонениями влево и вправо, то опытные данные соответствуют рассматриваемому закону распределения. Систематическое и значительное отклонение экспериментальных точек от аппроксимирующей прямой свидетельствует об ошибочности принятой модели для обоснования закона распределения исследуемой случайной величины.

2. Для приближенной проверки гипотезы о нормальности распределения могут быть использованы выборочные показатели асимметрии и эксцесса, которые определяются по формулам:

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{nS^3}; \qquad (4.11)$$

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4}{nS^4} - 3\ , \qquad (4.12)$$

где n — количество наблюдений; S – среднее квадратическое отклонение результата наблюдения.

При небольшом числе наблюдений n несмещенные оценки для показателей асимметрии A_S и эксцесса E_x определяют по формулам

$$\tilde{A}_s = \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} A_s; \qquad (4.13)$$

$$\hat{E}_x = \frac{n-1}{(n-2)(n-3)}\left[(n+1)E_x + 6\right]. \qquad (4.14)$$

При нормальном распределении обе эти вычисленные по формулам (4.13) и (4.14) оценки показателей асимметрии и эксцесса должны быть малы и, кроме того, сравнимы с их средними квадратическими отклонениями:

$$S_{\hat{A}_S} = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}}\ ; \qquad (4.15)$$

$$S_{\hat{E}_x} = \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}}\ . \qquad (4.16)$$

Если выполняются условия

$$\left|\hat{A}_s\right| \le 3S_{\hat{A}_s} \text{ и } \left|\hat{E}_x\right| \le 5S_{\hat{E}_x}, \qquad (4.17)$$

то гипотеза нормальности исследуемого распределения может быть принята.

Пример 4.4

Проверить гипотезу о нормальности распределения механической скорости бурения с помощью показателей асимметрии и эксцесса на основании данных, приведенных в примере 4.2.

По формулам (4.11) и (4.12) определяем выборочные показатели асимметрии и эксцесса:

$$A_s = \frac{\sum_1^9 (x_i - 5{,}65)^3}{9 \cdot 1{,}29^3} = \frac{11{,}695}{9 \cdot 2{,}147} = 0{,}61;$$

$$E_x = \frac{\sum_{1}^{9}(x_i - 5{,}65)^4}{9 \cdot 1{,}29^4} - 3 = \frac{55{,}361}{9 \cdot 2{,}769} - 3 = -0{,}78.$$

Вычисляем несмещенные оценки для показателей асимметрии и эксцесса по формулам (4.13) и (4.14):

$$\hat{A}_s = \frac{\sqrt{9(9-1)}}{9-2} 0{,}61 = \frac{\sqrt{9 \cdot 8}}{7} 0{,}61 = 0{,}74;$$

$$\hat{E}_x = \frac{9-1}{(9-2)(9-3)}\left[(9+1)0{,}78 + 6\right] = \frac{8}{7 \cdot 6}[10 \cdot 0{,}78 + 6] = 2{,}63.$$

По формулам (4.15) и (4.16) вычисляем средние квадратические отклонения показателей асимметрии и эксцесса:

$$S_{\hat{A}_S} = \sqrt{\frac{6 \cdot 9(9-1)}{(9-2)(9+1)(9+3)}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 9 \cdot 8}{7 \cdot 10 \cdot 12}} = 0{,}72;$$

$$S_{\hat{E}_x} = \sqrt{\frac{24 \cdot 9(9-1)^2}{(9-3)(9-2)(9+3)(9+5)}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 9 \cdot 8^2}{6 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 14}} = 1{,}4.$$

Проверяем условия (4.17). В данном примере 0,74<2,16 и | - 2,63| < 7,0, что свидетельствует о выполнении указанных условий, и гипотеза нормальности распределения может быть принята.

3. Рассмотрим методику проверки согласия опытного распределения с нормальным или логарифмически нормальным распределением по критерию W для числа наблюдений $3 \le n \le$ ≤ 50.

Результаты наблюдений случайной величины располагают в порядке их возрастания, т. е. получают упорядоченную выборку $x_1 \le x_2 \le ... \le x_n$.

Для вычисления статистики критерия

$$W = \frac{b^2}{\varphi^2} \tag{4.18}$$

определяют величины

$$b^2 = \left[\sum_{j=1}^{l} a_{n-j+1} (x_{n-j+1} - x_j) \right]^2 \tag{4.19}$$

и

$$\varphi^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2}{n}, \tag{4.20}$$

для чего дополнительно составляется таблица по следующей форме (табл. 4.5). В графу 1 записывают значения порядкового индекса i для i= 1, 2. ..., n. В графу 2 табл. 4.5 заносят соответствующие значения упорядоченной выборки x_i, i = 1, 2, ..., n, а в графу 3 – значения их квадратов x_i^2. В графу 4 записывают значение порядкового индекса j для j = 1, 2, ..., e в обратном порядке, чем индекс i. При этом $e = n / 2$, если n четное и $e = (n - 1)/2$, если n нечетное. Далее, в графу 5 записывают к индексу j соответствующие величины коэффициентов a_{n-j+1}. Эти коэффициенты для данного n и e находят по табл. 4.6. В графу 6 табл. 4.5 записывают вычисленные разности чисел $x_{n-j+1} - x_j$ для j = 1, 2, …, e, а в графу 7 – значения произведений $a_{n-j+1}(x_{n-j+1} - x_j)$ для j = 1, 2, ..., e.

Гипотезу проверяют на основании неравенства

$$W \geq W^*, \tag{4.21}$$

где W^* — критическое значение критерия для данного уровня значимости α и числа наблюдений n (табл. 4.7).

Если выполняется неравенство (4.21), то гипотеза принимается.

Таблица 4.5

Данные для построения проверки согласия распределения с теоретическим по критерию W

i	x_i	x^2_i	j	a_{n-j+1}	$x_{n-j+1}-x_j$	(5)·(6)
1	2	3	4	5	6	7
1	x_1	x_1^2	-	-	-	-
2	x_2	x_2^2	-	-	-	-
…	…	…	…	…	…	…
$n-e+1$	x_{n-e+1}	x^2_{n-e+1}	e	a_{n-e+1}	$x_{n-e+1}-x_e$	$a_{n-e+1}(x_{n-e+1}-x_e)$
…	…	…	…	…	…	…
$n-1$	x_{n-1}	x^2_{n-1}	2	a_{n-1}	$x_{n-1}-x_2$	$a_{n-1}(x_{n-1}-x_2)$
n	x_n	x_n^1	1	a_n	x_n-x_1	$a_n(x_n-x_1)$
-	$\sum_{i=1}^{n} x_i$	$\sum_{i=1}^{n} x^2_{ii}$	-	-	-	$\sum_{j=1}^{l} a_{n-j+1}(x_{n-j+1}-x_j)$

Пример 4.5

По результатам наблюдений, приведенных в примере 4.2, проверить с помощью критерия W гипотезу о нормальном распределении значений механической скорости бурения. Принять $\alpha = 0{,}05$.

Результаты наблюдений за механической скоростью бурения приводим в форме упорядоченной выборки в графе 2 табл. 4.8, а в третьей графе — их вторые степени. Так как $n = 9$, то $e = 4$, и, следовательно, в графу 4 запишем индекс j, который находится между 1 и 4. В табл. 4.6 находим коэффициенты a_{n-j+1} для $n = 9$ и четырех значений j (1, 2, 3, 4) и записываем их в графу 5. Далее вычисляем разности x_{n-j+1}-x_j для j=1, 2, 3, 4 (графа 6) и значения a_{n-j+1} (x_{n-j+1}-x_j), которые записываем в графу 7.

Определяем величины

$$b^2=3{,}54^2= 12{,}53;$$

и

$$\varphi^2 = 50{,}82 - \frac{300{,}24}{9} = 17{,}46\,.$$

Таблица 4.6

Значения коэффициентов a_{n-j+1}

	Коэффициент a_{n-j+1} для вычисления критерия W при n									
i	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,7071	0,6872	0,6646	0,6431	0,6233	0,6052	0,5888	0,5739	0,5601	0,5475
2	—	0,1677	0,2413	0,2806	0,3031	0,3164	0,3244	0,3291	0,3315	0,3325
3	—	—	—	0,0875	0,1401	0,1743	0,1976	0,2141	0,2260	0,2347
4	—	—	—	—	—	0,0561	0,0947	0,1 224	0,1429	0,1586
5	—	—	—	—	—	—	—	0,0399	0,0695	0,0922
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0303
	Коэффициент a_{n-j+1} для вычисления критерия W при n									
i	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0,5359	0,5251	0,5150	0,5056	0,4968	0,4886	0,4808	0,4734	0,4643	0,4590
2	0,3325	0,3318	0,3306	0,3290	0,3273	0,3253	0,3232	0,3211	0,3185	0,3156
3	0,2412	0,2460	0,2495	0,2521	0,2540	0,2553	0,2661	0,2565	0,2578	0,2571
4	0,1707	0,1802	0,1878	0,1939	0,1988	0,2027	0,2059	0,2085	0,2119	0,2131
5	0,1099	0,1240	0,1353	0,1447	0,1524	0,1587	0,1641	0,1686	0,1736	0,1764
6	0,0539	0,0727	0,0880	0,1005	0,1109	0,1197	0,1271	0,1334	0,1399	0,1443
7	—	0,0240	0,0433	0,0593	0,0725	0,0837	0,0932	0,1013	0,1092	0,1150
8	—	—	—	0,0196	0,0359	0,0496	0,0612	0,0711	0,0804	0,0878
9	—	—	—	—	—	0,0163	0,0303	0,0422	0,0530	0,0618
10	—	—	—	—	—	—	—	0,0140	0,0263	0,0368
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0122

На основании (4.18) вычисляем статистику критерия:

$$W = \frac{12{,}53}{17{,}46} = 0{,}718$$

и сопоставляем с критическим значением, взятым из табл. 4.7 для $n = 9$ и $\alpha=0,05$, $W^* = 0,829$. Условие (4,21) не выполняется, т. е. эмпирическое распределение не соответствует нормальному распределению.

4.5. Вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерения

Получив оценку результата измерения и проверив рассмотренными критериями гипотезу о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению, необходимо выяснить, насколько эта оценка может изменяться при повторных измерениях, выполняемых в тех же условиях.

Таблица 4.7

Значение критерия W^*

n	Квантиль распределения критерия W при α			n	Квантиль распределения критерия W при α		
	0,01	0,05	0,10		0,01	0,05	0,10
3	0,753	0,767	0,789	17	0,851	0,892	0,910
4	0,687	0,748	0,792	18	0,858	0,897	0,914
5	0,686	0,762	0,806	19	0,863	0,901	0,917
6	0,713	0,788	0,826	20	0,868	0,905	0,920
7	0,730	0,803	0,838	21	0,873	0,908	0,923
8	0,749	0,818	0,851	22	0,878	0,911	0,926
9	0,764	0,829	0,859	23	0,881	0,914	0,928
10	0,781	0,842	0,869	24	0,884	0,916	0,930
11	0,792	0,850	0,876	25	0,888	0,918	0,931
12	0,805	0,859	0,883	26	0,891	0,920	0,933
13	0,814	0,866	0,889	27	0,894	0,923	0,935
14	0,825	0,874	0,895	28	0,896	0,924	0,936
15	0,835	0,881	0,901	29	0,898	0,926	0,937
16	0,844	0,887	0,906	30	0,900	0,927	0,939

Этот вопрос выясняется с помощью построения доверительного интервала. Так называется вычисленный по выборочным значениям интервал, который с заданной вероятностью, называемой доверительной, накрывает истинное, но не известное нам значение измеряемой величины.

Построение доверительного интервала основано на *t*-распределении Стьюдента с числом степеней свободы $\upsilon = n-1$, при этом доверительная вероятность принимается равной 0,95 или 0,99 и лишь иногда 0,90.

При большом числе степеней свободы ($\upsilon>30$) *t* – распределение сходится к нормальному. Чем меньше число степеней свободы, тем сильнее расхождение между *t* – распределением и нормальным.

Таблица 4.8

Данные для вычисления критерия

i	x_i	x_i^2	*j*	a_{9-j+1}	x_{9-j+1}-x_j	(5)·(6)
1	2	3	4	5	6	7
1	4,03	16,24	—	—	—	—
2	4,30	18,49	—	—	—	—
3	4,97	24,70	—	—	—	—
4	5,35	28,62	—	—	—	—
5	5 37	28,84	—	—	—	—
6	5 60	31,36	4	0,0947	5,60-5,35=0,25	0,023675
7	6 21	38,56	3	0,1976	6,21-4,97=1,24	0,245024
8	6 76	45,70	2	0,3244	6,76-4,30=2,46	0,798024
9	8,23	67,73	1	0,5888	8,23-4,03=4,20	2,472960
Σ	50,82	300,24				3,539683≈3,54

Доверительные интервалы для генерального среднего m_x при неизвестном значении σ^2 находят из выражения

$$\bar{x} - \frac{S}{\sqrt{n}}t \le m_x \le \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{n}}t, \qquad (4.22)$$

где $\bar{x}$ и *S* – выборочные характеристики; *t* – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности *P* и числа результатов наблюдений *n* находят по табл. 4.9.

Таблица 4.9

Значение коэффициента *t* для случайной величины, имеющей распределение Стьюдента с $\upsilon = n$-1 степенями свободы

n- 1	P=0,95	P=0,99	*n*- 1	P=0,95	P=0,99	*n*- 1	P=0,95	P=0,99
3	3,182	5,841	13	2,160	3,012	23	2,069	2,807
4	2,776	4,604	14	2,145	2,977	24	2,064	2,797
5	2,571	4,032	15	2,131	2,947	25	2,060	2,787
6	2,447	3,707	16	2,120	2,921	26	2,056	2,779
7	2,365	3,499	17	2,110	2,898	27	2,052	2,771
8	2,306	3,355	18	2,101	2,878	28	2,048	2,763
9	2,262	3,250	19	2,093	2,861	29	2,045	2,756
10	2,228	3,169	20	2,086	2,845	30	2,043	2,750
11	2,201	3,106	21	2,080	2,831	40	2,021	2,704
12	2,179	3,055	22	2,074	2,819	60	2,000	2,660

Имея в виду, что $\frac{S}{\sqrt{n}} = S(\tilde{A})$, доверительный интервал для генерального среднего m_x можно выразить так:

$$\bar{x} - tS(\tilde{A}) \le m_x \le \bar{x} + tS(\tilde{A}), \qquad (4.23)$$

где S (Ã) – оценка среднего квадратического отклонения результата измерения, полученная по формуле (4.9). В компактной форме границы доверительного интервала можно записать следующим образом:

$$\bar{x} \pm tS(\tilde{A}). \qquad (4.24)$$

Величина $e = tS(\tilde{A})$ выражения (4.24) определяет доверительные границы случайной погрешности результата измерения.

Пример 4.6

По данным из примера 4.2 ($\bar{x}$ = 5,65 м/ч и S(Ã) = = 0,43 м/ч) вычислить доверительные границы случайной погрешности результата измерения механической скорости бурения при доверительной вероятности P = 0,95.

По табл. 4.9 для υ = 9 - 1 = 8 и P = 0,95 находим t = 2,306.

На основании формулы (4.23) имеем:

$$5,65 - 2,306 \cdot 0,43 \le m_x \le 5,65 + 2,306 \cdot 0,43;$$

$$4,66 \text{ м/ч} \le m_x \le 6,64 \text{ м/ч}$$

или в компактной форме (4.24): 5,65 м/ч±0,99 м/ч.

4.6. Определение необходимого количества наблюдений

Со значительными затратами времени и средств связано получение большого количества экспериментальных данных в бурении. Поэтому важно уметь определять необходимое количество наблюдений с целью получения среднего значения интересующего нас признака с требуемой точностью при заданной надежности (доверительной вероятности).

Минимально необходимое число наблюдений рассчитывается из выражения (4.22), в котором

$$e = \frac{S}{\sqrt{n}} t \text{, и тогда } n = \frac{S^2 t^2}{e^2} \text{ .} \qquad (4.25)$$

Если представить величину доверительного интервала ε в долях от среднего квадратического отклонения S, т. е. q = ε/S, то формула (4.25) по определению необходимого числа наблюдений будет иметь вид

$$n = \frac{t^2}{q^2} \text{ .} \qquad (4.26)$$

Для удобства решения этой задачи можно воспользоваться, например, табл. 4.10. В ней приведены величины количества наблюдений, которое необходимо иметь, чтобы при заданных значениях вероятности P доверительный интервал ε исследуемого признака был не более доли q среднего квадратического отклонения S.

Таблица 4.10

Минимальное необходимое количество наблюдений

q	Доверительная вероятность P							
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99	0,999
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	74
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,2	13	19	29	43	70	99	171	277
0,1	47	72	109	166	273	387	668	1089

Из табл. 4.10 видно, как быстро растет количество наблюдений с уменьшением q и с увеличением P. Поэтому для достижения требуемой точности значений исследуемого признака необходимо больше уделять внимания точности отдельных наблюдений, отражающихся на величине среднего квадратического отклонения S, а не их числу; задаваться чрезмерным значением P нецелесообразно. Величина надежности (доверительной вероятности) в зависимости от характера поставленной задачи может быть принята равной 0,99; 0,95; 0,90 и т. д. При технологических исследованиях в бурении обычно принимают P = 0,95; при испытаниях бурового оборудования и инструмента – 0,95 - 0,8.

Так как при $q > 1$ величины $\bar{x}$ и S не могут устойчиво характеризовать генеральную совокупность, то при решении рассматриваемой задачи не следует брать q больше 1. При q=1 минимальное необходимое количество наблюдений должно быть: а) для ориентировочных расчетов (P = 0,90) не менее 5; б) для инженерно-технических расчетов (P = 0,95) не менее 7; в) для научно-экспериментальных расчетов (P = 0,99) не менее 11. Из табл. 4.10 видно, что чем сильнее рассеивание (колебание) значений исследуемого признака и чем большая требуется точность, тем больше необходимо иметь наблюдений.

4.7. Проверка однородности наблюдений

Измерения с большими случайными погрешностями требуют настороженного внимания. Необходимо удостовериться в том, что получаемые результаты статистически подконтрольны, устойчивы, т. е. что результаты наблюдений группируются вокруг одного и того же центра и имеют одну и ту же дисперсию. Если метод измерения и объект исследования изучены мало, то наблюдения при таком измерении нужно повторять до тех пор, пока не появится уверенность в устойчивом характере этих результатов. Тем самым определяются продолжительность исследования и необходимое число наблюдений.

Устойчивость измерений часто оценивается интуитивно на основе длительных наблюдений. Однако известны математические методы, полезные для решения рассматриваемой задачи, так называемые методы проверки, однородности. Применительно к измерениям рассматривается однородность групп наблюдений. Необходимые признаки однородности групп наблюдений состоят в том, что оценки средних арифметических и дисперсий не должны иметь значимых смещений относительно друг друга.

Выбор групп для контроля однородности остается задачей специалиста-экспериментатора, так же как и ограничение одной группы от другой. Обычно наблюдения, выполненные через интервалы времени, большие, чем время для получения какой-то совокупности результатов наблюдений, относят к разным группам. Целесообразно иметь в группе порядка 5-10 наблюдений и лучше — несколько таких групп, чем одну группу с большим числом наблюдений.

Приведем некоторые из числа наиболее часто применяемых методов проверки допустимости различия между оценками дисперсий и различия между средними арифметическими групп наблюдений. Предполагается при этом,

что распределения наблюдений предварительно проверены на нормальность.

1. Проверка допустимости различия между оценками дисперсий выполняется с помощью критерия Фишера в случае двух групп наблюдений и критерия Бартлетта, если групп больше. Приведем критерий Фишера.

Пусть несмещенные оценки дисперсий этих групп S_1^2 и S_2^2, причем $S_1^2 > S_2^2$. Число наблюдений в группах n_1 и n_2, так что степени свободы равны соответственно $\upsilon_1=n_1-1$ и $\upsilon_2=n_2-1$.

Составляем отношение двух дисперсий S_1^2 и S_2^2 и получаем статистику:

$$F_{\text{р}} = \frac{S_1^2}{S_2^2}. \qquad (4.27)$$

Затем из табл. 4.11 при заданном уровне значимости и для степеней свободы υ_1 и υ_2 выбираем значение $F_{\text{т}}$.

Гипотеза принимается, т. е. оценки дисперсий можно считать отвечающими одной и той же дисперсии, если выполняется неравенство $F_{\text{р}}<F_{\text{т}}$. Уровень значимости при этом удваивается.

Табл. 4.11 содержит верхние границы значимости F-распределения для дисперсионного анализа при одностороннем критерии. Как правило, нас интересуют отклонения в обе стороны, и мы применяем двусторонний критерий. Если, например, мы проверяем гипотезу при уровне значимости 0,1 (10 %-ные границы), то необходимо использовать таблицу при уровне значимости 0,05 (5 %-ные границы).

Пример 4.7

В процессе наблюдений были получены два ряда значений средней механической скорости бурения в двух соседних интервалах скважины (по девяти и десяти рейсам соответственно):

1. 6,90; 8,96; 6,80; 5,20; 3,80; 4,20; 8,00; 6,80; 9,80 м/ч.
2. 8,57; 9,42; 8,96; 7,17; 9,09; 8,78; 4,44; 5,00; 9,57; 7,44 м/ч.

Проверить гипотезу об однородности (равенстве) дисперсий при уровне значимости 0,1.

Определяем статистические характеристики:

$n_1 = 9$; $\bar{x}_1 = 6{,}72$ м/ч; $S_1^2 = 4{,}17$ м/ч.

$n_2 = 10$; $\bar{x}_2 = 7{,}84$ м/ч; $S_2^2 = 3{,}33$ м/ч.

Составляем отношение $F_р = 4{,}17/3{,}33 = 1{,}25$.

По табл. 4.11 для уровня значимости 0,05 при $\upsilon = 9 - 1$ и $\upsilon_2 = 10 - 1 = 9$ степеней свободы находим $F_т = 3{,}23$.

Так как $F_р = 1{,}25 < F_т = 3{,}23$, то гипотеза об однородности дисперсий принимается.

2. Проверка допустимости различий между средними арифметическими для двух групп наблюдений производится с помощью критерия Стьюдента. При большом числе групп допустимость различия между средними арифметическими проверяется с помощью критериев Фишера и Аббе.

Рассмотрим сравнение средних арифметических для двух групп наблюдений (табл. 4.12).

Таблица 4.11

Верхние доверительные границы *F*-распределения при уровнях значимости 0,05 (верхняя строка) и 0,01 (нижняя строка)

$\upsilon_2=n_2-1$	$\upsilon_1=n_1-1$ (для большей дисперсии)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,9	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0
	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209
2	18,51	19,00	9,16	9,25	9,30	19,33	9,35	9,37	9,38	9,40	9,41	9,43	9,45
	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39	99,40	99,42	99,43	99,45
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66
	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35	27,23	27,05	26,87	26,69
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80
	21,20	18,00	16,69	15,98	5,52	15,21	4,98	4,80	14,66	4,55	4,37	4,20	14,02
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56
	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	0,16	10,05	9,89	9,72	9,55
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87
	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,56	7,40
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44
	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,47	6,31	6,16
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15
	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,67	5,52	5,36
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94
	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,11	4,96	4,81
10	4,96	4,10	3,71	3 48	3,33	3,22	3,14	3 07	3,02	2,98	2,91	2,84	2,77
	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,71	4,56	4,41

Продолжение таблицы 4.11

$\upsilon_2=n_2$-1	$\upsilon_1=n_1$- 1 (для большей дисперсии)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65
	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,40	4,25	4,10
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54
	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,16	4,01	3,86
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,64
	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,82	3,66
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39
	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,66	3,51
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33
	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,52	3,37
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28
	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,55	3,41	3,26
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23
	8,40	6,11	5,18	4.67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,46	3,31	3,16
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19
	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	13,60	3,51	3,37	3,23	3,08
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16
	8,18	5,93	5,01	4,50	4, 17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,42	3,30	3,1E	3,00
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,7	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12
	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,23	3,09	2,94

Таблица 4.12

Сравнение двух средних значений из приближенно нормально распределенных генеральных совокупностей

Объемы выборок	Дисперсии	
	равны: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	неравны: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Равны $n_1 = n_2 = n$	$t_p = \dfrac{\lvert\bar{x}_1 - \bar{x}_2\rvert}{\sqrt{\dfrac{S_1^2 + S_2^2}{n}}}$ $\nu = 2n - 2$ (1)	$t_{\text{р}} = \dfrac{\lvert\bar{x}_1 - \bar{x}_2\rvert}{\sqrt{\dfrac{S_1^2 + S_2^2}{n}}}$ $\nu = n - 1 + \dfrac{2n-2}{\dfrac{S_1^2}{S_2^2} + \dfrac{S_2^2}{S_1^2}}$ (2)
Неравны $n_1 \neq n_2$	$t_p = \dfrac{\lvert\bar{x}_1 - \bar{x}_2\rvert}{\sqrt{\left[\dfrac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}\right]\left[\dfrac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}\right]}}$ $\nu = n_1 + n_2 - 2$ (3)	$t_{\text{р}} = \dfrac{\lvert\bar{x}_1 - \bar{x}_2\rvert}{\sqrt{\dfrac{S_1^2}{n_1} + \dfrac{S_2^2}{n_2}}}$ $\nu = \dfrac{\left(\dfrac{S_1^2}{n_1} + \dfrac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\dfrac{\left(\dfrac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 + 1} + \dfrac{\left(\dfrac{S_2^2}{n_1}\right)^2}{n_2 + 1}} - 2$ (4)

Если вычисленное по приведенным формулам в табл. 4.12 значение *t*-критерия окажется меньше табличного ($t_{\text{р}} < t_{\text{т}}$) при выбранной доверительной вероятности и числе степеней свободы υ (определяется по формулам в табл. 4.12), то различие между средними арифметическими считается допустимым.

Значения *t*-критерия при различных доверительных вероятностях для двустороннего критерия приведены в табл. 4.13.

Пример 4.8

По данным, приведенным в примере 4.7, сравните два средних значения при доверительной вероятности 0,95.

Таблица 4.13

Распределение Стьюдента

Число степеней свободы υ	Доверительная вероятность			Число степеней свободы υ	Доверительная вероятность		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
1	6,314	12,706	63,657	16	1,746	2,120	2,921
2	2,920	4,303	9,925	17	1,740	2,110	2,898
3	2,353	3,182	5,841	18	1,734	2,101	2,878
4	2,132	2,776	4,604	19	1,729	2,093	2,861
5	2,015	2,571	4,032	20	1,725	2,086	2,845
6	1,943	2,447	3,707	21	1,721	2,080	2,831
7	1,895	2,365	3,499	22	1,717	2,074	2,819
8	1,860	2,306	3,355	23	1,714	2,069	2,807
9	1,833	2,262	3,250	24	1,711	2,064	2,797
10	1,812	2,228	3,169	25	1,708	2,060	2,787
11	1,796	2,201	3,106	26	1,706	2,056	2,779
12	1,782	2,179	3,055	27	1,703	2,052	2,771
13	1,771	2,160	3,012	28	1,701	2,048	2,763
14	1,761	2,145	2,977	29	1,699	2,045	2,756
15	1,753	2,131	2,947	30	3,697	2,042	2,750

Так как гипотеза об однородности дисперсий принята (дисперсии равны), объемы выборок неравны, то вычисление *t*-критерия и v проводятся по формулам (3) табл. 4.12.

$$t_{\text{р}} = \frac{|6{,}72 - 7{,}84|}{\sqrt{\left[\frac{9+10}{9\cdot 10}\right]\left[\frac{(9-1)\cdot 4{,}17 + (10-1)\cdot 3{,}33}{9+10-2}\right]}} = 1{,}263;$$

$$v = 9 + 10 - 2 = 17.$$

По табл. 4.13 находим значение $t_{\text{т}}$ при заданной доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы

υ=17, $t_т$=2,110 и сравниваем с $t_р$= 1,263.

Поскольку $t_р < t_т$ (1,263<2,110), то различие между средними значениями механической скорости бурения в двух интервалах скважины считается допустимым (незначимым).

Контрольные вопросы

1. Какие операции необходимо выполнить при статистической обработке группы результатов наблюдений?
2. Как можно исключить грубую погрешность?
3. Что принимается за результат измерения и как оценивается его среднее квадратическое отклонение?
4. Дайте характеристику классов точности в зависимости от величины коэффициента вариации.
5. Какие методы используются для проверки гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению?
6. Как вычисляются доверительные границы случайной погрешности результата измерения?

5. ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Одной из основных задач эксперимента является задача идентификации, т. е. построение с помощью полученных экспериментальных данных математической модели.

Эта задача играет большую роль при автоматизации технологических процессов (объектов), так как отсутствие работоспособной математической модели не позволяет осуществлять их оптимальное управление и оптимизацию.

Построение математического описания (идентификация) сложного объекта предполагает, с одной стороны, глубокое теоретическое изучение механизма протекающих в нем явлений, с другой — четко спланированный эксперимент для проверки гипотез относительно структуры модели и оценки ее коэффициентов.

При проведении экстремальных экспериментов необходимо найти область оптимума и описать ее математической моделью при наименьшем количестве опытов. Чтобы избежать полиномов высокого порядка, используется шаговый метод изучения поверхности отклика. При этом методе исследователь вначале ставит небольшую серию опытов для локального описания малого участка поверхности отклика полиномом первой степени. На этом этапе используется полный факторный эксперимент (ПФЭ) или планы дробных реплик.

Под полным факторным экспериментом понимается такой эксперимент, в котором реализуются все возможные, неповторяющиеся комбинации уровней факторов.

Если число факторов равно k, а число уровней каждого из них равно p, то число комбинаций N при полном факторном эксперименте соответствует количеству независимых опытов и равно p^k, т. е. $N= p^k$. Чаще встречаются планы эксперимента типа 2^k, реже 3^k и очень редко при $p>3$, в связи с резким увеличением числа опытов N.

Сущность полного факторного эксперимента первого порядка состоит в одновременном варьировании всех факторов при его проведении по определенному плану, представлении математической модели (функции отклика) в виде линейного полинома и его исследовании методами математической статистики.

Полный факторный эксперимент типа 2^k позволяет описать исследуемый процесс (объект) математической моделью вида

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i \neq j}^{k} b_{ij} x_i x_j \quad . \tag{5.1}$$

Планирование и реализация полного факторного эксперимента состоит из следующих основных этапов: выбора параметра оптимизации, факторов и уровней их варьирования; кодирования факторов; составления матрицы эксперимента; рандомизации опытов; реализации плана эксперимента и

статистической проверки результатов эксперимента. Рассмотрим эти этапы подробнее.

5.1. Выбор области определения, основного уровня и интервалов варьирования факторов

С учетом требований, предъявляемых к параметру оптимизации и факторам (см. 1.4 и 1.5), производят их выбор, после чего приступают к определению локальной области факторного пространства.

Вначале оцениваются границы областей определения факторов, задаваемые либо принципиальными ограничениями, которые не могут быть нарушены ни при каких обстоятельствах, либо технико-экономическими соображениями (стоимость, время ведения процесса и др.), либо конкретными условиями проведения процесса (существующая аппаратура, технология и др.). Установление области определения факторов связано с тщательным анализом априорной информации, т. е. информации, полученной до начала эксперимента.

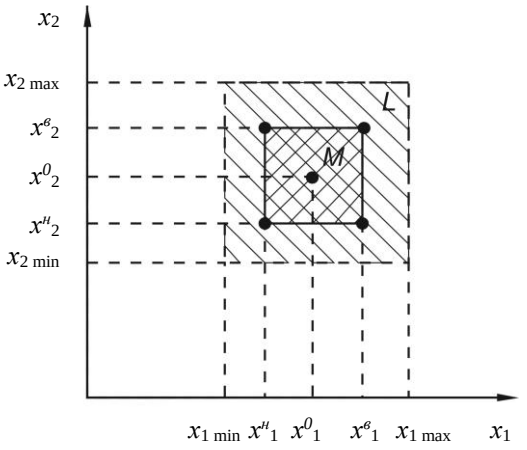


Рис. 5.1. Геометрическая интерпретация области определения факторов и подобласти для планирования эксперимента

Априорную информацию получают из литературных источников, с оценкой результатов исследования аналогичных объектов, на основании опроса специалистов, работающих в области исследуемых процессов. Каких-либо специальных требований к сбору априорной информации не существует, хотя у каждого экспериментатора есть своя система и методика. Основную часть информации об объекте исследования получают из опытов, которые проводятся при наладке лабораторной установки (стенда) и при постановке в последующем небольшого числа опытов по определенным планам с применением отсеивающих экспериментов.

После выбора области определения факторов необходимо найти локальную подобласть, в которой будет проведена первая серия опытов. На рис. 5.1 представлена геометрическая интерпретация области определения факторов L и подобласти M для случая планирования эксперимента с двумя факторами – x_1 и x_2. Процедура выбора этой подобласти M включает выбор основных (нулевых) уровней x_i^0 и интервалов варьирования факторов. Заметим при этом, что правильный выбор основных (нулевых) уровней (центра эксперимента) и интервалов варьирования факторов имеет решающее значение для действенности математической модели.

Основным, или нулевым уровнем фактора, называют его значение, принятое за исходное в плане эксперимента. В качестве исходной точки обычно выбирают точку, соответствующую наилучшим значениям параметра оптимизации, определенным из анализа априорной информации. Если эта точка лежит на границе (или близко к границе) области определения факторов, то приходится выбирать основной уровень с определенным сдвигом от наилучших условий.

Дальнейшее построение плана эксперимента состоит в выборе экспериментальных точек, симметричных относительно исходной точки, или, что одно и то же, центра плана. Это достигается с помощью интервалов варьирования факторов.

Интервалом варьирования фактора называют число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному (нулевому) уровню дает верхний уровень фактора, а вычитание – нижний. Обозначим его $\Delta \tilde{x}_i$. При решении задач оптимизации интервал варьирования факторов должен составлять часть области определения факторов, чтобы была возможность осуществить движение к оптимуму в пределах этой области. В задачах же аппроксимации (или интерполяции) интервал варьирования охватывает всю описываемую область, т. е. для двухфакторной задачи верхними уровнями факторов x_1 и x_2 являются $\tilde{x}_{1max}$ и $\tilde{x}_{2max}$, а нижними уровнями – $\tilde{x}_{1min}$ и $\tilde{x}_{2min}$.

Тогда область L можно назвать интерполяционной, а область M — областью постановки экстремального эксперимента.

На выбор интервалов варьирования факторов накладываются естественные ограничения сверху и снизу. Например, интервал варьирования не может быть меньше погрешности фиксирования фактора, иначе верхний и нижний уровни окажутся неразличимыми. С другой стороны, интервал варьирования не может быть настолько большим, чтобы верхний или нижний уровни оказались за пределами области определения факторов.

Выбор интервалов варьирования отдельных факторов при решении оптимизационной задачи в большей степени субъективен, но в то же время это очень важный и ответственный момент в планировании эксперимента. Здесь нужно использовать априорную информацию о точности фиксирования факторов (определяется точностью приборов и стабильностью уровня в ходе опыта), о кривизне поверхности отклика (определяется по графикам однофакторных зависимостей, табличным данным, а также исходя из теоретических предположений) и диапазоне изменения параметра оптимизации, который считается узким, если незначительно превышает интервал рассеивания значений параметра в повторных (параллельных) опытах. В зависимости

от этой информации интервалы варьирования факторов бывают узкими, средними и широкими. Например, при высокой точности фиксирования уровней факторов и сильно выраженной кривизне поверхности отклика нужно выбрать узкий интервал варьирования. При высокой точности фиксирования уровней, нелинейной поверхности отклика и широком диапазоне изменения параметра оптимизации требуются узкие интервалы варьирования факторов и, наоборот, при низкой точности фиксирования уровней, поверхности с малой кривизной и узким диапазоном изменения параметра интервал варьирования факторов выбирается широким.

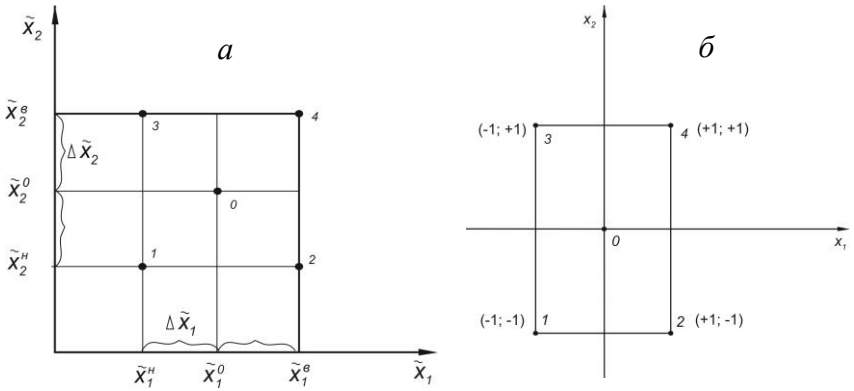


Рис. 5.2. Геометрическая интерпретация полного факторного эксперимента для двух факторов:
а – в натуральных единицах; *б* – в кодированной форме

Размер интервала варьирования составляет некоторую долю от области определения фактора. Ориентировочно можно считать, что узкие интервалы варьирования факторов должны составлять не более 10 % от области определения соответствующих факторов, средние интервалы варьирования – не более 30 %, широкие интервалы — в остальных случаях.

Выбрав основной уровень и интервалы варьирования факторов, приступают к построению плана проведения эксперимента.

Первый этап планирования эксперимента для получения линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях – $\tilde{x}_i^{\text{в}}$ и $\tilde{x}_i^{\text{н}}$, симметрично расположенных относительно основного (нулевого) уровня $\tilde{x}_i^{0}$ (рис. 5.2, *а*). Так как каждый фактор принимает лишь два значения: $\tilde{x}_i^{\text{в}} = \tilde{x}_i^{0} + \Delta\tilde{x}_i$ и $\tilde{x}_i^{\text{н}} = \tilde{x}_i^{0} - \Delta\tilde{x}_i$, для стандартизации, упрощения записи условий эксперимента удобно закодировать их символами «+1» и «–1». С этой целью масштабы по осям выбираются так, чтобы верхний уровень соответствовал «+1», нижний — «–1», а основной (нулевой) — «0» (рис. 5.2, *б*).

Кодирование — это перевод натуральных значений уровней факторов в кодированные безразмерные величины с целью построения стандартной матрицы эксперимента. Для факторов с непрерывной областью определения это всегда можно сделать с помощью преобразования:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_i^{0}}{\Delta\tilde{x}_i}, \qquad (5.2)$$

где x_i — кодированное значение i-го фактора; $\tilde{x}_i$ — натуральное текущее значение i-го фактора; $\tilde{x}_i^{0}$ — натуральное значение основного (нулевого) уровня i-го фактора;

$\Delta\tilde{x}_i = \dfrac{\tilde{x}^{\text{в}}{}_i - \tilde{x}_i^{\text{н}}}{2}$ — интервал (шаг) варьирования i-го фактора.

Кодирование факторов означает переход от системы координат в натуральных единицах (см. рис. 5.2, *а*) к системе координат в кодированной форме (см. рис. 5,2, *б*).

Расположение точек для двух исследуемых факторов в кодированной форме приведено на рис. 5.2, *б*. Здесь каждая точка факторного пространства (– 1, – 1), (+ 1, – 1), (– 1, +1), (+ 1, + 1) — это опыт в эксперименте.

По аналогии можно дать геометрическую интерпретацию и для трех факторов. Геометрической интерпретацией полного факторного эксперимента 2^3 служит куб, координаты вершин которого задают условия опытов.

В общем случае план эксперимента типа 2^k (при k>3) геометрически представляет собой совокупность точек, расположенных в вершинах гиперкуба, размещенного в многомерном пространстве. Пространство, заключенное внутри гиперкуба, или гиперсферы, описывающей гиперкуб, и является областью планирования.

Пример 5.1

При оптимизации процесса алмазного бурения в качестве управляемых факторов выбрали осевую нагрузку x_1 и частоту вращения x_2.

На основе априорной информации принята следующая область определения факторов: $\tilde{x}_1$=10÷30 кН и $\tilde{x}_2$ = 500÷1000 об/мин. Априорно считается, что наилучшим сочетанием уровней факторов будет $\tilde{x}_1$ = 15 кН и $\tilde{x}_2$ = 700 об/мин. Также априорно известно, что поверхность отклика нелинейная, а диапазон изменения параметра оптимизации широкий. Точность фиксирования уровней факторов высокая.

Определить интервалы варьирования уровней каждого фактора, вычислить значение их уровней и закодировать.

Исходя из данной априорной информации, следует принять узкий интервал варьирования факторов, поэтому принимаем его шириной, равной 10 % от интервала изменения соответствующих факторов. По условию границы интервалов изменения факторов в натуральных единицах будут $\tilde{x}_{1\min}$=10 кН, $\tilde{x}_{2\min}$=500 об/мин, $\tilde{x}_{1\max}$=30 кН, $\tilde{x}_{2\max}$=1000 об/мин, а их основные (нулевые) уровни $\tilde{x}_1^0$=15 кН и $\tilde{x}_2^0$=700 об/мин.

Тогда интервалы варьирования уровней факторов будут следующие:

$$\Delta\tilde{x}_1 = \frac{\tilde{x}_{1\max} - \tilde{x}_{1\min}}{100} \cdot 10 = \frac{30-10}{10} = 2 \text{ кН};$$

$$\Delta\tilde{x}_2 = \frac{\tilde{x}_{2\max} - \tilde{x}_{2\min}}{100} \cdot 10 = \frac{1000-500}{10} = 50 \text{ об/мин},$$

а нижние и верхние уровни факторов будут соответственно:

$$\tilde{x}_1^{\text{н}} = \tilde{x}_1^0 - \Delta\tilde{x}_1 = 15 - 2 = 13 \text{ кН}; \quad \tilde{x}_1^{\text{в}} = \tilde{x}_1^0 + \Delta\tilde{x}_1 = 15 + 2 = 17 \text{ кН};$$

$$\tilde{x}_2^{\text{н}} = \tilde{x}_2^0 - \Delta\tilde{x}_2 = 700 - 50 = 650 \text{ об/мин};$$

$$\tilde{x}_2^{\text{в}} = \tilde{x}_2^0 + \Delta\tilde{x}_2 = 700 + 50 = 750 \text{ об/мин}.$$

Кодированные значения факторов для рассмотренного примера (верхние и нижние уровни) согласно выражению (5.2):

$$x_1^{\text{в}} = \frac{17-15}{2} = +1; \; x_1^{\text{н}} = \frac{13-15}{2} = -1;$$

$$x_2^{\text{в}} = \frac{750-700}{50} = +1; \; x_2^{\text{н}} = \frac{650-700}{50} = -1.$$

5.2. Матрица планирования и ее свойства

Факторный эксперимент осуществляется с помощью матрицы планирования, в которой используют кодированные значения факторов.

Матрицей планирования называется план, содержащий запись всех комбинаций факторов или их части в кодированной форме. Этот план представляется в виде таблицы, в которой строки соответствуют различным независимым опытам, а столбцы — значениям (уровням) факторов.

Каждый столбец матрицы планирования называется вектор-столбцом, а строка — вектор-строкой. Каждому фактору соответствует только один вектор-столбец.

Рассмотрим прежде всего простейший случай, когда варьируются только два фактора – x_1 и x_2, причем каждый на двух уровнях +1 и – 1. Все возможные комбинации уровней факторов будут исчерпаны в следующих четырех опытах, указанных в табл. 5.1. Такая таблица будет матрицей планирования эксперимента.

В матрице планирования указываются все возможные сочетания нижних и верхних уровней по каждому из факторов модели, в последнем столбце записываются значения параметра оптимизации, соответствующие определенным сочетаниям факторов.

Для удобства при расчетах коэффициентов математической модели в матрицу планирования вводится так называемая фиктивная независимая переменная x_0, которая во всех опытах принимает только одно значение +1. В этом случае матрица планирования принимает вид (табл. 5.2) и называется расширенной информационной матрицей.

Таблица 5.1

Матрица планирования

Номер опыта	x_1	x_2	y
1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	y_2
3	-1	+1	y_3
4	+1	+1	y_4

Таблица 5.2

Расширенная информационная матрица

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	y
1	+1	-1	-1	y_1
2	+1	+1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	y_4

Таблица 5.3

Матрица ПФЭ типа 2^2 с эффектом взаимодействия

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	y
1	+1	-1	-1	+1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	+1	y_4

Из полного факторного эксперимента для двухуровневых факторов можно оценить все линейные эффекты и эффекты взаимодействия факторов (двойные, тройные, четверные и т. д.) независимо друг от друга. Общее число всех эффектов, включая b_0, равно числу опытов полного факторного эксперимента, т. е. 2^k.

Линейным называется эффект, характеризующий линейную зависимость параметра оптимизации от соответствующего фактора. Эффект взаимодействия характеризует совместное влияние нескольких факторов на параметр оптимизации.

С учетом эффекта взаимодействия двух факторов или, как говорят, эффекта парного взаимодействия приведем матрицу планирования эксперимента (табл. 5.3).

Здесь элементы столбца x_1 x_2 получают путем построчного перемножения соответствующих элементов столбцов x_1 и x_2. Эффект взаимодействия в данном случае показывает силу влияния одного из факторов на параметр оптимизации в зависимости от уровня, на котором находится другой.

Мы рассмотрели самый простой случай, когда построение матриц полного факторного эксперимента для двух факторов на двух уровнях не вызывает затруднений, так как все возможные комбинации уровней факторов легко найти простым перебором.

Обратимся теперь к полному факторному эксперименту типа 2^3. Матрица планирования для трех факторов с учетом всех возможных взаимодействий приведена в табл. 5.4.

В табл. 5.4 столбец эффекта взаимодействия $x_1 x_2 x_3$ получается перемножением всех трех столбцов x_1, x_2 и x_3 и называется эффектом взаимодействия второго порядка, в то время как эффекты взаимодействия двух факторов x_1x_2, x_1x_3, и x_2x_3 называются эффектом взаимодействия первого порядка. Довольно часто для них применяют синонимы: парные эффекты взаимодействия (x_1, x_2, …), тройные ($x_1 x_2 x_3$, …) и т. д.

Таблица 5.4

Матрица ПФЭ типа 2^3 с эффектами взаимодействия

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1x_2x_3$	y
1	+ 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	y_1
2	+ 1	+ 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	y_2
3	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	y_3
4	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	- 1	y_4
5	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	y_5
6	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	y_6
7	+ 1	- 1	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	y_7
8	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_8

Из табл. 5.4 видно, что с увеличением числа факторов число возможных взаимодействий быстро растет и матрица планирования усложняется. Поэтому возникает необходимость в некоторых приемах построения матриц.

Существует несколько приемов построения матриц полного факторного эксперимента. Среди них рассмотрим два наиболее простых приема.

Первый прием основан на правиле чередования знаков, согласно которому в первом столбце x_1 знаки меняются через один, во втором – x_2 – они чередуются через два, в третьем – x_3 – через четыре, а в четвертом – x_4 – через восемь и т. д.

Второй прием основан на последовательном достраивании матрицы (табл. 5.5). Для этого при добавлении нового фактора необходимо повторить комбинации уровней исходного плана сначала при значении нового фактора на верхнем уровне, а затем на нижнем. Для простоты записи в табл. 5.5 единицы опущены, оставлены только знаки. Первые отчеркнутые четыре опыта представляют собой матрицу 2^2. Далее они еще раз повторены, и в столбце x_3 для первой матрицы 2^2 проставлены четыре знака «+», для второй — четыре знака «–». Таким образом, отчеркнутые восемь опытов представляют собой уже матрицу планирования 2^3. Затем эта процедура повторяется до построения матрицы типа 2^5.

Одним из преимуществ полного факторного эксперимента является то, что по построенной матрице можно найти свойства, определяющие качество математической модели. Эксперимент и планируется для того, чтобы получить модель с некоторыми оптимальными свойствами. Это значит, что оценки коэффициентов модели должны быть наилучшими и что точность предсказания параметра оптимизации не должна зависеть от направления в факторном пространстве, ибо заранее неизвестно, в каком направлении предстоит двигаться в поисках оптимума.

Два свойства следуют непосредственно из построения матрицы: симметричность и условие нормировки.

Симметричность относительно центра экспериментального плана – алгебраическая сумма элементов вектор – столбца каждого фактора, кроме x_0, равна нулю, т. е.

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu} = 0, \qquad (5.3)$$

где x_{iu} – и – e кодированное значение i-го фактора; N — число опытов; i=1, 2, ..., k.

Условие нормировки — сумма квадратов элементов каждого столбца матрицы равна числу опытов или

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 = N . \qquad (5.4)$$

Это следствие того, что значения факторов в матрице задаются + 1 и – 1. Следующие два свойства относятся к совокупности вектор-столбцов матрицы планирования.

Таблица 5.5

Построение матриц планирования ПФЭ при увеличении числа факторов от 2 до 5

План эксперимента	Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
2^2	1	+	+	+	+	+	+
	2	+	-	+	+	+	+
	3	+	+	-	+	+	+
	4	+	-	-	+	+	+
2^3	5	+	+	+	-	+	+
	6	+	-	+	-	+	+
	7	+	+	-	-	+	+
	8	+	-	-	-	+	+
2^4	9	+	+	+	+	-	+
	10	+	-	+	+	-	+
	11	+	+	-	+	-	+
	12	+	-	-	+	-	+
	13	+	+	+	-	-	+
	14	+	-	+	-	-	+
	15	+	+	-	-	-	+
	16	+	-	-	-	-	+
2^5	17	+	+	+	+	+	-
	18	+	-	+	+	+	-
	19	+	+	-	+	+	-
	20	+	-	-	+	+	-
	21	+	+	+	-	+	-
	22	+	-	+	-	+	-
	23	+	+	-	-	+	-
	24	+	-	-	-	+	-
	25	+	+	+	+	-	-
	26	+	-	+	+	-	-
	27	+	+	-	+	-	-
	28	+	-	-	+	-	-
	29	+	+	+	-	-	-
	30	+	-	+	-	-	-
	31	+	+	-	-	-	-
	32	+	-	-	-	-	-

Ортогональность — сумма почленных произведений любых вектор-столбцов матрицы равна нулю:

$$\sum_{u=1}^{N} x_{iu} x_{ju} = 0 \qquad (j \neq i). \tag{5.5}$$

Ротатабельность — точки в матрице планирования подбираются так, что точность предсказания значений параметра оптимизации одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависит от направления.

5.3. Дробные реплики от полного факторного эксперимента

Полный факторный эксперимент позволяет получить весьма обширную информацию, однако при большом числе факторов (k>3) число опытов в нем резко возрастает. Так, при четырех факторах требуется поставить 2^4=16 опытов, при шести факторах — 2^6 =64, а уже при восьми факторах- — 2^8=256 опытов. Конечно, увеличение числа опытов повышает точность математической модели, однако при этом значительно возрастают затраты времени и средств.

В то же время на первых этапах планирования, когда используется линейная модель в виде полинома $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + ... + b_k x_k$ применение полного факторного эксперимента становится нецелесообразным вследствие избыточности опытов, т. е. разности между числом всех опытов и числом оцениваемых коэффициентов модели. В этом случае есть смысл сократить число опытов за счет той информации, которую несут эффекты взаимодействия факторов и которая для построения линейной модели не существенна. Сделать это можно с помощью плана, представляющего собой некоторую часть (1/2, 1/4, 1/8 и т. д.) от полного факторного эксперимента и называемого дробным факторным экспериментом или дробной репликой.

Рассмотрим принцип построения такого плана. Для этого обратимся к полному факторному эксперименту 2^2 и составим уже известную нам матрицу (табл. 5.6)

Пользуясь таким планированием, можно построить модель

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 .$$

Таблица 5.6

Полуреплика 2^{3-1}

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1x_2 \equiv x_3$	y
1	+	+	+	+	y_1
2	+	-	+	-	y_2
3	+	+	-	-	y_3
4	+	-	-	+	y_4

Однако, если есть основания считать, что в выбранных интервалах варьирования процесс может быть описан линейной моделью, то достаточно определить коэффициенты b_0, b_1, b_2, а коэффициент b_{12} можно принять равным нулю, т. е. взаимодействие факторов x_1x_2 отсутствует. Это позволяет включить в схему эксперимента еще один новый фактор x_3 и приписать ему знаки столбца x_1x_2 (см. табл. 5.6). Эта процедура записывается так: $x_3 \equiv x_1x_2$. Теперь получилась матрица планирования уже для трех факторов, и линейная модель будет выражаться уравнением $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$. Для определения коэффициентов этого уравнения (см. табл. 5.6) достаточно провести четыре опыта вместо восьми в полном факторном эксперименте типа 2^3. Итак, поставив четыре опыта для оценки влияния трех факторов, мы воспользовались половиной полного факторного эксперимента 2^3 или дробной репликой.

Аналогично можно построить дробную реплику с четырьмя факторами, используя план типа 2^3 (см. табл. 5.4). В этом случае целесообразно произвести замену столбца $x_1x_2x_3$ четвертым фактором x_4. Тогда получим план эксперимента с 8

опытами для четырех факторов. Такой план также содержит половину опытов полного факторного эксперимента.

План эксперимента, предусматривающий реализацию половины опытов полного факторного эксперимента, называется полурепликой. При увеличении числа факторов (k>3) возможно применение реплик большей дробности. Составляют дробные реплики заменой некоторых эффектов взаимодействия, которыми можно пренебречь, новыми факторами. Эти реплики условно обозначают 2^{k-p}, где p — число линейных эффектов, приравненных к эффектам взаимодействия. При p=1 получают полуреплику, при p=2 получают 1/4 реплики, при p=3 получают 1/8 реплики и т. д. Дробный факторный эксперимент, указанный в табл. 5.6, представляет полуреплику 2^{3-1}.

Наиболее распространены так называемые регулярные реплики, в которых число опытов получается делением числа опытов полного факторного эксперимента на число, кратное двум.

В табл. 5.7 приведены основные показатели дробных реплик.

Для сравнения в последнем столбце приведено число опытов для полного факторного эксперимента. Преимущество дробных реплик по числу опытов очевидно, и эффект от их использования становится тем больше, чем больше число факторов.

Отметим наиболее важное отличие дробных реплик от полного факторного эксперимента. В связи с тем, что в дробных репликах часть взаимодействий заменена новыми факторами, найденные коэффициенты уравнения регрессии будут являться совместными оценками линейных эффектов и эффектов взаимодействия. Величина коэффициента b_3 в точности совпадает с величиной коэффициента b_{12} (знаки столбцов x_3 и x_1x_2 одинаковы) (см. табл. 5.6) Если в дополнение к указанным столбцам (см. табл. 5.6) построить столбцы x_1x_3 и x_2x_3, они в точности совпадут соответственно со столбцами x_2 и x_1, и, следовательно, коэффициенты b_{13} и b_{23} совпадут соответственно с коэффициентами b_2 и b_1. Таким

образом, здесь уже нельзя получить раздельных, независимых оценок коэффициентов, как это делало при полном факторном эксперименте. В данном случае говорят, что линейные эффекты смешаны с эффектами парных взаимодействий.

Таблица 5.7

Основные показатели дробных реплик

Число факторов k	Дробные реплики	Условное обозначение 2^{k-p}	Число опытов	
			дробной реплики	полного факторного эксперимента
3	1/2 реплики от 2^3	2^{3-1}	4	8
4	1/2 реплики от 2^4	2^{4-1}	8	16
5	1/2 реплики от 2^5	2^{5-1}	16	32
5	1/4 реплики от 2^5	2^{5-2}	8	32
6	1/2 реплики от 2^6	2^{6-1}	32	64
6	1/4 реплики от 2^6	2^{6-2}	16	64
6	1/8 в реплики от 2^6	2^{6-3}	8	64
7	1/4 реплики от 2^7	2^{7-2}	32	128
7	1/8 реплики от 2^7	2^{7-3}	16	128
7	1/16 реплики от 2^7	2^{7-4}	8	128
8	1/8 реплики от 2^8	2^{8-3}	32	256
8	1/16 реплики от 2^8	2^{8-4}	16	256
9	1/32 реплики от 2^9	2^{9-5}	16	512
10	1/64 реплики от 2^{10}	2^{10-6}	16	1024

Следовательно, коэффициенты b_1, b_2, b_3 будут оценками совместных эффектов, а именно:

$$b_1 \to \beta_1 + \beta_{23};\ b_2 \to \beta_2 + \beta_{13};\ b_3 \to \beta_3 + \beta_{12},$$

где b_i – вычисленные выборные оценки коэффициентов; β_i – неизвестные истинные значения коэффициентов.

Приведенную запись можно прочесть так: коэффициент b_1, например, является совместной оценкой влияния фактора x_1 и парного взаимодействия x_2x_3 на функцию отклика (параметр

оптимизации). Влияние фактора x_1 в этом случае характеризуется величиной β_1 а влияние взаимодействия x_2x_3 – величиной β_{23}. Итак, в рассматриваемой дробной реплике нельзя отделить линейное влияние факторов от их парных взаимодействий, что свидетельствует о значительной потере информации по сравнению с полным факторным экспериментом.

Таблица 5.8

Две полуреплики 2^{3-1}

Номер опыта	$x_3 \equiv x_1x_2$			Номер опыта	$x_3 \equiv -x_1x_2$		
	x_1	x_2	x_3		x_1	x_2	x_3
1	-	+	-	1	-	+	+
2	+	+	+	2	+	+	-
3	-	-	+	3	-	-	-
4	+	-	-	4	+	-	+

Оценки, в которых невозможно разделить линейный эффект и эффект взаимодействия, называются смешанными. Линейные эффекты рекомендуется смешивать прежде всего с теми взаимодействиями, которые, согласно априорной информации, незначимы.

В реальных условиях часто приходится решать задачи, в которых заранее можно полагать, что эффекты взаимодействия, хотя и малы по сравнению с линейными эффектами, все же не равны нулю. В таких случаях необходимо заранее определить, когда и какие эффекты определяются совместно, т. е. рассмотреть вопрос о разрешающей способности дробных реплик.

Прямая оценка разрешающей способности дробной реплики затруднена. Поэтому дробные реплики обычно задают с помощью генерирующих соотношений. Генерирующим называется такое соотношение, которое показывает, какое из взаимодействий принято незначимым и заменено новым фактором.

План типа 2^{3-1} может быть представлен двумя полурепликами (см. табл. 5.8), которые задаются одним из следующих генерирующих соотношений:

$$x_3 \equiv x_1 x_2 \; ; \; x_3 \equiv -x_1 x_2 \; . \qquad (5.6)$$

Генерирующие соотношения умножим на новый фактор:

$$x_3^2 \equiv x_1 x_2 x_3 ; \; x_3^2 \equiv -x_1 x_2 x_3 . \qquad (5.7)$$

Поскольку всегда $x_i^2 = 1$, получим следующие выражения:

$$1 \equiv x_1 x_2 x_3 ; \; 1 \equiv -x_1 x_2 x_3 . \qquad (5.8)$$

В результате умножения генерирующего соотношения на новый фактор получают, так называемый, определяющий контраст.

Для указанных полуреплик (см. табл. 5.8) определяющими контрастами будут выражения (5.8). Зная определяющий контраст, можно найти соотношения, задающие совместные оценки. Для этого необходимо перемножить факторы x_1, x_2 и x_3 на определяющий контраст. Умножая по очереди определяющие контрасты (5.8) на x_1, x_2 и x_3, получим соотношения:

$$x_1 \cdot 1 \equiv x_1^2 x_2 x_3 ; \; x_1 \cdot 1 \equiv -x_1^2 x_2 x_3 ;$$
$$x_2 \cdot 1 \equiv x_1 x_2^2 x_3 ; \; x_2 \cdot 1 \equiv -x_1 x_2^2 x_3 ;$$
$$x_3 \cdot 1 \equiv x_1 x_2 x_3^2 ; \; x_3 \cdot 1 \equiv -x_1 x_2 x_3^2 ,$$

но так как $x_i^2 = 1$, то

$$x_1 \equiv x_2 x_3 ; \; x_1 \equiv -x_2 x_3 ;$$
$$x_2 \equiv x_1 x_3 ; \; x_2 \equiv -x_1 x_3 ;$$
$$x_3 \equiv x_1 x_2 ; \; x_3 \equiv -x_1 x_2 .$$

Это значит, что коэффициенты линейного уровня регрессии будут оценками

$$b_1 \to \beta_1 + \beta_{23} ; \; b_1 \to \beta_1 - \beta_{23} ;$$
$$b_2 \to \beta_2 + \beta_{13} ; \; b_2 \to \beta_2 - \beta_{13} ;$$
$$b_3 \to \beta_3 + \beta_{12} ; \; b_3 \to \beta_3 - \beta_{12} ,$$

т. е. получено то же, что и ранее.

Рассмотрим различия в оценках влияния эффектов факторов, даваемых дробными репликами с разными определяющими контрастами. Предположим, в задаче четыре фактора. Решено поставить дробный факторный эксперимент типа 2^{4-1}, включающий 8 опытов. В этом случае можно составить несколько матриц планирования, т. е. несколько полуреплик. Две из них приведены в табл. 5.9 и 5.10. Восемь опытов представляют собой полный факторный эксперимент 2^3. Поэтому для первых трех факторов x_1, x_2 и x_3 (см. табл. 5.9 и 5.10) записана матрица 2^3. Фактор x_4 в одном случае (см. табл. 5.9) приравнен тройному взаимодействию x_1, x_2 и x_3, в другом (см. табл. 5.10) - двойному x_1, x_2.

Полуреплика 2^{4-1} в табл. 5.9 задана генерирующим соотношением $x_4 \equiv x_1x_2x_3$, а в табл. 5.10 – $x_4 \equiv x_1x_2$. Соответственно, определяющие контрасты будут выражены соотношениями $1 \equiv x_1x_2\,x_3\,x_4$ и $1 \equiv x_1x_2x_4$.

Совместные оценки будут определяться следующим образом: 1) для первой полуреплики (см. табл. 5.9); 2) для второй полуреплики (см. табл. 5.10):

$x_1 \equiv x_2\,x_3\,x_4$	$b_1 \to \beta_1 + \beta_{234}$	$x_1 \equiv x_2\,x_4$	$b_1 \to \beta_1 + \beta_{24}$
$x_2 \equiv x_1\,x_3\,x_4$	$b_2 \to \beta_2 + \beta_{134}$	$x_2 \equiv x_1\,x_4$	$b_2 \to \beta_2 + \beta_{14}$
$x_3 \equiv x_1\,x_2\,x_4$	$b_3 \to \beta_3 + \beta_{124}$	$x_3 \equiv x_1\,x_2\,x_3x_4$	$b_3 \to \beta_3 + \beta_{1234}$
$x_4 \equiv x_1\,x_2\,x_3$	$b_4 \to \beta_4 + \beta_{123}$	$x_4 \equiv x_1\,x_2$	$b_4 \to \beta_4 + \beta_{12}$
$x_1x_2 \equiv x_3\,x_4$	$b_{12} \to \beta_{12} + \beta_{34}$	$x_1x_3 \equiv x_2x_3\,x_4$	$b_{13} \to \beta_{13} + \beta_{234}$
$x_1x_3 \equiv x_2\,x_4$	$b_{13} \to \beta_{13} + \beta_{24}$	$x_2\,x_3 \equiv x_1x_3x_4$	$b_{23} \to \beta_{23} + \beta_{134}$
$x_1x_4 \equiv x_2\,x_3$	$b_{14} \to \beta_{14} + \beta_{23}$	$x_3\,x_4 \equiv x_1\,x_2\,x_3$	$b_{34} \to \beta_{34} + \beta_{123}$

В практических задачах тройные и более высокого порядка взаимодействия значительно чаще, чем двойные, бывают равны нулю, и ими можно пренебречь. Полуреплика 2^{4-1}, заданная генерирующим соотношением $x_4 \equiv x_1x_2x_3$, позволяет получить раздельные оценки четырех линейных эффектов и три совместные оценки парных взаимодействий. В этом случае раздельными оценками будут b_1, b_2, b_3 и b_4, так как тройными

взаимодействиями $ß_{234}$, $ß_{134}$, $ß_{124}$, $ß_{123}$ вследствие их незначимости можно пренебречь. В другой полуреплике, заданной генерирующим соотношением $x_4 \equiv x_1 x_2$, три линейных эффекта, а именно b_1, b_2, b_4, оказались смешанными с парными взаимодействиями. Разрешающая способность полуреплики, заданной генерирующим соотношением $x_4 \equiv x_1 x_2 x_3$ (см. табл. 5.9), получилась значительно выше, чем у полуреплики, заданной генерирующим соотношением $x_4 \equiv x_1 x_2$ (см. табл. 5.10). Следовательно, разрешающая способность полуреплики зависит от генерирующего соотношения, которым она задана.

Таблица 5.9

Полуреплика 2^{4-1} с определяющим контрастом $1 \equiv x_1 x_2 x_3 x_4$

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_4 \equiv x_1 x_2 x_3$
1	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	-
3	+	+	-	+	-
4	+	-	-	+	+
5	+	+	+	-	+
6	+	-	+	-	-
7	+	+	-	-	-
8	+	-	-	-	+

Таблица 5.10

Полуреплика 2^{4-1} с определяющим контрастом $1 \equiv x_1 x_2 x_4$

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_4 \equiv x_1 x_2$
1	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	-
3	+	+	-	+	-
4	+	-	-	+	+
5	+	+	+	-	+
6	+	-	+	-	-
7	+	+	-	-	-
8	+	-	-	-	+

Используя аналогичные способы замены эффектов взаимодействия факторов на эффекты других факторов, можно построить планы эксперимента большей дробности и оценить разрешающую способность дробной реплики.

Выбор степени дробности плана эксперимента должен осуществляться всякий раз в зависимости от поставленной задачи и имеющихся сведений о процессе. Целесообразность практического применения дробных реплик возрастает с увеличением числа факторов, а эффективность зависит от удачного выбора системы смешивания линейных эффектов с эффектами взаимодействия, а также от интуиции исследователя в случае значимости некоторых взаимодействий. Независимость оценок нелинейных взаимодействий можно достигнуть, создавая план дробной реплики на основе специально подобранного генерирующего соотношения.

При использовании регулярных дробных реплик необходимо учитывать их свойства: симметричность, условие нормировки, ортогональность и ротатабельность, аналогичные свойствам полного факторного эксперимента.

5.4. Реализация плана эксперимента

После выбора основных (нулевых) уровней и интервалов варьирования факторов их натуральные значения заносятся в таблицу (табл. 5.11). Это делается для того, чтобы облегчить работу экспериментатора и исключить ошибки при выборе условий опыта.

Проведение любого эксперимента связано с погрешностями, знание которых необходимо для оценки его результатов. В связи с этим план эксперимента должен быть выбран таким, чтобы имелась возможность исключить влияние возможных систематических погрешностей и оценить случайную погрешность эксперимента.

Таблица 5.11

Уровни факторов и интервалы варьирования

Факторы	$\tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	…	$\tilde{x}_k$	Размер-ность
Основной уровень $\tilde{x}_i^0$	$\tilde{x}_1^0$	$\tilde{x}_2^0$	…	$\tilde{x}^0{}_k$	
Интервал варьирования $\Delta\tilde{x}_i$	$\Delta\tilde{x}_1$	$\Delta\tilde{x}_2$	…	$\Delta\tilde{x}_k$	
Верхний уровень (+1)	$\tilde{x}_1^{\text{в}}$	$\tilde{x}_2^{\text{в}}$	…	$\tilde{x}_k^{\text{в}}$	
Нижний уровень (-1)	$\tilde{x}_1^{\text{н}}$	$\tilde{x}_1^{\text{н}}$	…	$\tilde{x}_k^{\text{н}}$	

Чтобы исключить влияние систематических погрешностей, вызванных различными внешними условиями (мешающими факторами), необходимо опыты, заданные планом эксперимента, проводить рандомизированно во времени, т. е. в случайной последовательности. Порядок проведения опытов следует выбирать по таблице равномерно распределенных случайных чисел (см. табл. 5.12).

Если, например, необходимо провести восемь опытов (эксперимент типа 2^3), то в случайном месте таблицы последовательно выписывают числа от 1 до 8, отбрасывая числа больше 8 и уже выписанные. Эти числа, взятые из табл. 5.12, будут, например, 5, 4, 8, 2, 7, 6, 1, 3. Это значит, что первым следует провести опыт № 5, вторым – № 4, третьим – № 8 и т. д.

Другой подход состоит в разбивке матрицы на блоки. Если экспериментатор знает заранее об изменении каких-то внешних условий, он может составить план эксперимента так, чтобы эффект влияния этих условий был связан с определенным взаимодействием факторов, которым можно пренебречь. Например, матрицу 2^3 можно разбить на два блока таким образом, чтобы эффект влияния условий сказался на величине тройного эффекта взаимодействия. В первый блок следует сгруппировать все опыты, в которых это взаимодействие $x_1x_2\ x_3$ равно +1, а во второй – где оно равно – 1 (табл. 5.13).

Таблица 5.12

Фрагмент из таблицы равномерно распределенных случайных чисел

10 09 73 25 33	76 52 01 35 86	34 67 35 48 76	80 95 90 91 17	39 29 27 49 45
37 54 20 48 05	64 89 47 42 96	24 80 52 40 37	20 63 61 04 02	00 82 29 16 65
08 42 26 89 53	19 64 50 93 03	23 20 90 25 60	15 95 33 47 64	35 08 03 36 06
99 01 90 25 29	09 37 67 07 15	38 31 13 11 65	88 67 67 43 97	04 43 62 76 59
12 80 79 99 70	80 15 73 61 47	64 03 23 66 53	98 95 11 68 77	12 17 17 68 33
66 06 57 47 17	34 07 27 68 50	36 69 73 61 70	65 81 33 98 85	11 19 92 91 70
31 06 01 08 05	45 57 18 24 06	35 30 34 26 14	86 79 90 74 39	23 40 30 97 32
85 26 97 76 02	02 05 16 56 92	68 66 57 48 18	73 05 38 52 47	18 62 38 85 79
63 57 33 21 35	05 32 54 70 48	90 55 35 75 48	28 46 82 87 09	83 49 12 56 24
73 79 64 57 53	03 52 96 47 78	35 80 83 42 82	60 93 52 03 44	35 27 38 84 35
98 52 01 77 67	14 90 56 86 07	22 10 94 05 58	60 97 09 34 33	50 50 07 39 98
11 80 50 54 31	39 80 82 77 32	50 72 56 82 48	29 40 52 42 01	52 77 56 78 51
83 45 29 96 34	06 28 89 80 83	13 74 67 00 78	18 47 54 06 10	68 71 17 78 17
88 68 54 02 00	86 50 75 84 01	36 76 66 79 51	90 36 47 64 93	29 60 91 10 62
99 59 46 73 48	87 51 76 49 69	91 82 60 89 28	93 78 56 13 68	23 47 83 41 13
65 48 11 76 74	17 46 85 09 50	58 04 77 69 74	73 03 95 71 86	40 21 81 65 44
80 12 43 56 35	17 72 70 80 15	45 31 82 23 74	21 11 57 82 53	14 38 55 37 63
74 35 09 98 17	77 40 27 72 14	43 23 60 02 10	45 52 16 42 37	96 28 60 26 55
69 91 62 68 03	66 25 22 91 48	36 93 68 72 03	76 62 11 39 90	94 40 05 64 18
09 89 32 05 05	14 22 56 85 14	46 42 75 67 88	96 29 77 88 22	54 38 21 45 98
91 49 91 45 23	68 47 92 76 86	46 16 28 35 54	94 75 08 99 23	37 08 92 00 48
80 33 69 45 98	26 94 03 68 58	70 29 73 41 35	53 14 03 33 40	42 05 08 23 41
44 10 48 19 49	85 15 74 79 54	32 97 92 65 75	57 60 04 08 81	22 22 20 64 13
12 55 07 37 42	11 10 00 20 40	12 86 07 46 97	96 64 48 94 39	28 70 72 58 15
63 60 64 93 29	16 50 53 44 84	40 21 95 25 63	43 65 17 70 82	07 20 73 17 90

Таблица 5.13

Разбивка матрицы 2^3 на два блока

Блок	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	y_1
	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_2
	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_3
	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_4
2	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	y_5
	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	y_6
	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_7
	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_8

Для разбивки любого эксперимента типа 2^k на два блока следует выбирать взаимодействие, которым можно пожертвовать (обычно это взаимодействие самого высокого порядка).

Дать оценку случайной погрешности эксперимента можно только при повторении (дублирования) каждого опыта строки матрицы m раз. Такие опыты называются параллельными. Обычно число m параллельных опытов принимается равным 2 – 3, иногда – 4 – 5. Первоначальное число m выбирается по результатам специально поставленных опытов, оценивающих их воспроизводимость. План эксперимента, в который вносятся результаты параллельных опытов, записывается в виде табл. 5.14.

Постановка параллельных опытов не дает полностью совпадающих результатов, хотя и опыты воспроизводятся по возможности в одинаковых условиях. Это происходит за счет погрешности измерения значений факторов и самого параметра оптимизации, влияния неучтенных факторов и т. п. Получение среднего арифметического значения параметра оптимизации $\bar{y}_u$ по каждой строке матрицы планирования связано с применением методов статистической обработки результатов наблюдений (гл. 4).

При проведении исследований экспериментатор может иметь дело с тремя вариантами дублирования опытов в каждой

точке факторного пространства: 1) эксперимент проведен при равномерном дублировании опытов; 2) эксперимент выполнен при неравномерном дублировании опытов; 3) эксперимент поставлен с дублированием опытов в центре плана.

При равномерном дублировании все строки матрицы планирования имеют одинаковое число параллельных опытов (см. табл. 5.14).

Таблица 5.14

План эксперимента типа 2^k с параллельными опытами

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	…	x_k	Параллельные опыты				$\bar{y}_u$
						y_{u1}	y_{u2}	…	y_{um}	
1	+1	+1	+1	…	+1	$\bar{y}_{11}$	$\bar{y}_{12}$	…	$\bar{y}_{1m}$	$\bar{y}_1$
2	+1	-1	+1	…	+1	y_{21}	y_{22}	…	y_{2m}	$\bar{y}_2$
3	+1	+1	-1	…	+1	y_{31}	y_{32}	…	y_{3m}	$\bar{y}_3$
…	…	…	…	…	…			…	…	…
N	+1	-1	-1	…	-1	y_{N1}	y_{N2}	…	y_{Nm}	$\bar{y}_N$

В случае неравномерного дублирования число параллельных опытов по строкам матрицы неодинаково. Это происходит на практике из-за случайных грубых нарушений условий эксперимента, когда опыт признается неудачным, а повторить его по каким-либо причинам нельзя. Пример такого плана приведен в табл. 5.15.

Таблица 5.15

План эксперимента типа 2^2 с неравномерным дублированием параллельных опытов

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	Параллельные опыты			$\bar{y}_u$
					y_{u1}		y_{u3}	
1	+1	+1	+1	+1	$\bar{y}_{11}$	$\bar{y}_1$	y_{13}	$\bar{y}_1$
2	+1	-1	+1	-1	y_{21}	$\bar{y}_2$	-	$\bar{y}_2$
3	+1	+1	-1	-1	y_{31}	$\bar{y}_3$	y_{32}	$\bar{y}_3$
4	+1	-1	-1	+1	-	y_{42}	y_{43}	$\bar{y}_4$

В третьем варианте все опыты, заданные планом, выполняются по одному разу, и лишь один из них, находящийся в центре плана, дублируется 3 – 4 раза. Это становится возможным, если экспериментатору известна заранее хорошая воспроизводимость опытов на объекте исследования. В этом случае резко сокращается число опытов и план эксперимента принимает следующий вид (см. табл. 5.16).

Из рассмотренных вариантов дублирования наиболее предпочтителен вариант с равномерным дублированием опытов.

Таблица 5.16

Матрица планирования эксперимента типа 2^2 с дублированием опытов в центре плана

Номер опыта	x_1	x_2	Параметр оптимизации y_u	
1	+ 1	+ 1	y_1	
2	- 1	+1	y_2	
3	+ 1	- 1	y_3	
4	- 1	- 1	y_4	
Опыты в центре плана				
1	0	0	y_{1o}	$\bar{y}_0 = \frac{1}{4}\sum_1^4 y_{u_0}$
2	0	0	y_{2o}	
3	0	0	y_{3o}	
4	0	0	y_{4o}	

При этом варианте эксперимент отличается повышенной точностью, а математическая обработка экспериментальных данных — простотой. Характер дублирования опытов влияет на содержание математической обработки результатов наблюдений. Исходя из этого, рассмотрим алгоритм расчета полного факторного эксперимента при равномерном дублировании опытов.

5.5. Алгоритм расчета полного факторного эксперимента типа 2^k при равномерном дублировании опытов

Выбор модели и построение матрицы планирования

Выбор модели состоит в выборе вида функции

$$y = f(x, x_2, ..., x_k), \tag{5.9}$$

где y — параметр оптимизации; x_1, x_2, ..., x_k — факторы, влияющие на параметр оптимизации. Обычно функцию (5.9) выбирают в виде линейного алгебраического полинома вида

$$\hat{y} = b_0 x_0 + b_1 x_1 + ... + b_k x_k \ . \tag{5.10}$$

Планируя эксперимент на первом этапе, всегда стремятся получить линейную модель. Однако нет никакой гарантии, что в выбранных интервалах варьирования факторов процесс описывается линейной моделью типа (5.10). На практике приходится прибегать к более сложным зависимостям, т. е. когда модель нелинейна (5.1). Это связано с тем, что эффект одного фактора зависит от уровней, на которых находятся другие факторы. В этом случае имеют место эффекты взаимодействия, количественную оценку которых позволяет получить полный факторный эксперимент. Для этого надо, пользуясь правилом перемножения столбцов, получить столбцы произведений всех факторов. При добавлении столбцов эффектов взаимодействий все рассмотренные свойства матрицы планирования сохраняются.

Теперь модель, например, для двух факторов будет иметь вид

$$\hat{y} = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \ , \tag{5.11}$$

а для эксперимента типа 2^3 выглядит следующим образом:

$$\hat{y} = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \ . \tag{5.12}$$

В столбцах x_1, x_2, x_3 (см. табл. 5.4) задают планирование, по ним непосредственно определяются условия опытов, а остальные столбцы x_0, x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3 и $x_1x_2x_3$ служат только для расчета.

Для полного факторного эксперимента типа 2^2 матрица планирования для модели вида (5.11) представлена в табл. 5.17.

При решении задач оптимизации всегда рассчитываются коэффициенты b_{ij} уравнения (5.1), которые в дальнейшем используются для проверки адекватности полученной по результатам эксперимента модели.

Таблица 5.17

Матрица планирования эксперимента типа 2^2

Номер опыта	x_0	План		x_1x_2	Параметр оптимизации						Дисперсия $(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$
		x_1	x_2		y_{u1}	y_{u2}	…	y_{um}	$\bar{y}_u$	$\hat{y}_u$	
1	+1	-1	-1	+1	y_{11}	y_{12}	…	y_{1m}	$\bar{y}_1$	$\hat{y}_1$	$(\bar{y}_1 - \hat{y}_1)^2$
2	+1	+1	-1	-1	y_{21}	y_{22}	…	y_{2m}	$\bar{y}_2$	$\hat{y}_2$	$(\bar{y}_2 - \hat{y}_2)^2$
3	+1	-1	+1	-1	y_{31}	y_{32}	…	y_{3m}	$\bar{y}_3$	$\hat{y}_3$	$(\bar{y}_3 - \hat{y}_3)^2$
4	+1	+1	+1	+1	y_{41}	y_{42}	…	y_{4m}	$\bar{y}_4$	$\hat{y}_4$	$(\bar{y}_4 - \hat{y}_4)^2$

Расчет построчных дисперсий и дисперсии воспроизводимости

Для каждой строки матрицы планирования по результатам m параллельных опытов находится среднее арифметическое значение параметра оптимизации:

$$\bar{y}_u = \frac{1}{m}\sum_{r=1}^{m} y_{ur}, \qquad (5.13)$$

где r=1, 2, ..., m – число параллельных опытов, одинаковое по всей матрице; u=1, 2, ..., N – число строк матрицы планирования; y_{ur} – значение параметра оптимизации по параллельным опытам u-й строки матрицы планирования.

С целью оценки отклонений параметра оптимизации от его среднего значения для каждой строки матрицы планирования вычисляется дисперсия опыта по данным m параллельных опытов:

$$S_u^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{r=1}^{m}(y_{ur} - \bar{y}_u)^2 \qquad (5.14)$$

и проверяется с помощью G-критерия Кохрена их однородность:

$$G_p = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^{N} S_u^2}\ , \qquad (5.15)$$

где $S_{u\max}^2$ – максимальная из рассчитанных построчных дисперсий; $\sum_{u=1}^{N} S_u^2$ – сумма всех дисперсий по N строкам матрицы планирования. Если выполняется условие

$$G_р < G_т, \qquad (5.16)$$

то гипотеза об однородности дисперсий принимается.

Табличное значение G-критерия находят по табл. 5.18 для чисел степеней свободы $\nu_1 = m-1$ и $\nu_2 = N$ и выбранного уровня значимости.

Если $G_р > G_т$, то дисперсии неоднородны, и одним из решений является увеличение числа параллельных опытов, т. е. еще раз или несколько раз необходимо реализовать план эксперимента. Если это не дает результата, то необходимо изменить метод контроля параметра оптимизации, увеличив его точность. В то же время неоднородность дисперсий требует провести более тщательную проверку гипотезы о нормальности распределения исследуемой величины и сделать соответствующие выводы.

Таблица 5.18

Значения *G*-критерия при уровнях значимости 0,05 (верхняя строка) и 0,01 (нижняя строка)

$v_2=N$	$v_1=m-1$						
	1	2	3	4	5	6	7
4	0,9065 0,9676	0,7679 0,8643	0,6841 0,7814	0,6287 0,7212	0,5895 0,6761	0,5598 0,6410	0,5365 0,6129
6	0,7808 0,8828	0,6161 0,7218	0,5321 0,6258	0,4803 0,5635	0,4447 0,5195	0,4184 0,4866	0,3980 0,4608
8	0,6798 0,7945	0,5157 0,6152	0,4377 0,5209	0,3910 0,4627	0,3595 0,4226	0.3362 0,3932	0,3185 0,3704
10	0,6020 0,7175	0,4450 0,5358	0,3733 0,4469	0,3311 0,3934	0,3029 0,3572	0,2823 0,3308	0,2666 0,3106
12	0,5410 0,6528	0,3924 0,4751	0,3264 0,3919	0,2880 0,3428	0,2624 0,3099	0,2439 0,2861	0,2299 0,2680
15	0,4709 0,5747	0,3346 0,4069	0,2758 0,3337	0,2419 0,2882	0,2195 0,2593	0,2034 0,2386	0,1911 0,2228
20	0,3894 0,4799	0,2705 0,3297	0,2205 0,2654	0,1921 0,2288	0,1735 0,2048	0,1602 0,1877	0,1501 0,1748
24	0,3434 0,4247	0,2354 0,2871	0,1907 0,2295	0,1656 0,1970	0,1493 0,1759	0,1374 0,1608	0,1286 0,1495
30	0,2929 0,3632	0,1980 0,2412	0,1593 0,1913	0,1377 0,1635	0,1237 0,1454	0,1137 0,1327	0,1061 0,1232
40	0,2370 0,2940	0,1576 0,1915	0,1259 0,1508	0,1082 0,1281	0,0968 0,1135	0,0887 0,1033	0,0827 0,0957

При выполнении условия (5.16) построчные дисперсии усредняют по формуле

$$S_y^2 = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} S_u^2 \ , \qquad (5.17)$$

получая, таким образом, дисперсию воспроизводимости S^2_y. Отсюда, случайная погрешность эксперимента может быть определена как корень квадратный из дисперсии воспроизводимости:

$$S_y = +\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} S_u^2}\ . \qquad (5.18)$$

Расчет коэффициентов уравнения регрессии

По результатам проведенного эксперимента в выбранной области факторного пространства производится оценка численных коэффициентов уравнения регрессии.

Для расчета оценок коэффициентов математической модели вида (5.1) применяется метод наименьших квадратов. При этом ортогональность матрицы планирования позволяет получить независимые друг от друга оценки коэффициентов. Это означает, что величина любого коэффициента не зависит от того, какие величины имеют другие коэффициенты,

В общем случае для ортогональных планов коэффициенты рассчитываются по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_0 \bar{y}_u \ ; \qquad (5.19)$$

$$b_i = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_i \bar{y}_u \ ; \qquad (5.20)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_i x_j \bar{y}_u \ , \qquad (5.21)$$

где $\bar{y}_u$ - среднее значение параметра оптимизации, определяемое по формуле (5.13); x_0, x_i, $x_i x_j$ - кодированное значение факторов и их взаимодействий.

Воспользуемся формулами (5.19), (5.20) и (5.21) и матрицей планирования (см. табл. 5.15) для оценки коэффициентов b_0, b_1, b_2 и b_{12} модели (5.11):

$$b_0 = \frac{(+1)\bar{y}_1 + (+1)\bar{y}_2 + (+1)\bar{y}_3 + (+1)\bar{y}_4}{4} = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4};$$

$$b_1 = \frac{(-1)\bar{y}_1 + (+1)\bar{y}_2 + (-1)\bar{y}_3 + (+1)\bar{y}_4}{4} = \frac{-\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4};$$

$$b_2 = \frac{(-1)\bar{y}_1 + (-1)\bar{y}_2 + (+1)\bar{y}_3 + (+1)\bar{y}_4}{4} = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4};$$

$$b_{12} = \frac{(+1)\bar{y}_1 + (-1)\bar{y}_2 + (-1)\bar{y}_3 + (+1)\bar{y}_4}{4} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4}$$

Из изложенного видно, что, благодаря кодированию факторов, расчет коэффициентов уравнения регрессии превратился в простую арифметическую процедуру. Для подсчета коэффициентов b_0, b_1, b_2 и b_{12} используются соответственно вектор-столбцы: x_0, x_1, x_2 и x_1x_2 и средние значения параметра оптимизации $\bar{y}_u$ каждой вектор-строки матрицы планирования.

Для оценки влияния факторов на параметр оптимизации производится проверка значимости каждого коэффициента двумя равноценными способами: 1) с помощью *t*-критерия Стьюдента; 2) сравнением абсолютной величины коэффициента с доверительным интервалом. В обоих случаях вначале находится дисперсия коэффициентов регрессии, которая при m параллельных опытов рассчитывается по формуле

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{m\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2}, \qquad (5.22)$$

а при выполнении условия нормировки (5.4)

$$S_{b_i}^2 = \frac{1}{mN} S_y^2 . \qquad (5.23)$$

Из формул (5.22) и (5.23) видно, что дисперсии коэффициентов равны друг другу, а поэтому их среднеквадратические отклонения могут быть определены как

$$S_{b_0} = S_{b_i} = S_{b_{ij}} = \frac{1}{\sqrt{mN}} S_y . \qquad (5.24)$$

По первому способу оценка значимости коэффициентов осуществляется по формуле

$$t_{i_р} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}} \ . \qquad (5.25)$$

Коэффициент считается статистически значимым, если $t_{i_р}$ больше или равен $t_т$, т. е.

$$t_{i_р} \geq t_т \ , \qquad (5.26)$$

где $| b_i |$ — абсолютное значение i-го коэффициента уравнения регрессии; $t_т$ — табличное значение критерия Стьюдента, которое находится из таблицы (табл. 4.13) по числу степеней свободы $v = N(m - 1)$ и заданном уровне значимости (доверительной вероятности); S_{b_i} – среднеквадратическое отклонение в определении коэффициента регрессии, вычисляемое по формуле (5.24).

По второму способу для проверки значимости коэффициентов используется доверительный интервал Δb_i, который является одинаковым для всех коэффициентов регрессии и находится по формуле

$$\Delta b_i = \pm t_т S_{b_i} . \qquad (5.27)$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала или равна ему, т. е.

$$|b_i| \geq \Delta b_i . \qquad (5.28)$$

Статистическая незначимость коэффициента интерпретируется как отсутствие влияния соответствующего эффекта.

Если какой-то из коэффициентов окажется статистически незначимым, то он может быть исключен из уравнения регрессии без пересчета остальных. После этого математическая модель исследуемого процесса вида (5.1) может быть

представлена уравнением регрессии с факторами и их взаимодействиями, имеющими только значимые коэффициенты. Здесь же необходимо заметить, что статистическая незначимость одного или нескольких коэффициентов могла быть вызвана следующими причинами: неудачно выбранным интервалом варьирования, неправильным выбором уровней факторов в экспериментальной области факторного пространства, значительными погрешностями эксперимента, Отсюда ясно, что более правильным является решение повторить эксперимент, например, при расширенном интервале варьирования для исследуемого фактора. Конечно, при этом число опытов, а значит, и время эксперимента возрастают. В этом случае половину опытов можно сохранить тем, что расширение интервала варьирования проводится только в одну сторону – один (верхний или нижний) уровень оставить. Если фактор все же остается незначимым после повторения эксперимента и всех необходимых расчетов, то его отбрасывают и переходят к следующему этапу обработки экспериментальных данных – проверке адекватности модели, т. е. выяснению пригодности уравнения регрессии для поиска области оптимума.

Проверка адекватности модели

Адекватность модели проверяют с помощью *F*-критерия Фишера. Для этого сравниваются две дисперсии – дисперсия адекватности $S^2_{\text{ад}}$ и дисперсия воспроизводимости S^2_y. Первая показывает рассеяние средних опытных данных параметра оптимизации $\bar{y}_u$ относительно тех значений параметра оптимизации $\hat{y}_u$, которые предсказаны полученным линейным уравнением регрессии. Эта дисперсия рассчитывается по формуле

$$S^2_{\text{ад}} = \frac{m}{N-l}\sum_{u=1}^{N}(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2 , \qquad (5.29)$$

где m — число параллельных опытов; N — число строк матрицы планирования; l — число значимых коэффициентов в уравнении регрессии (включая свободный член).

Вторая дисперсия — это дисперсия воспроизводимости S^2_y — определяется из выражения (5.17).

Расчетное значение критерия Фишера вычисляется по формуле

$$F_{\text{р}} = \frac{S^2_{\text{ад}}}{S^2_y}\ , \qquad (5.30)$$

при этом предполагается, что $S^2_{\text{ад}} > S^2_y$.

Гипотеза адекватности уравнения регрессии принимается в том случае, если расчетное значение *F*-критерия не превышает табличного для соответствующих степеней свободы $\nu_1 = N - l$, $\nu_2 = N$ (m—1) и принятого уровня значимости (см. табл. 4.11), т. е, когда

$$F_{\text{р}} \leq F_{\text{т}}\ . \qquad (5.31)$$

На практике бывает, что $S^2_{\text{ад}} \leq S^2_y$, и тогда вывод об адекватности модели может быть сделан без проверки условия (5.31).

При невыполнении условия (5.31), т. е. при неадекватной линейной модели, наиболее часто принимается решение об уменьшении интервалов варьирования факторов и повторении эксперимента. Такое решение хотя и уменьшает кривизну поверхности отклика параметра оптимизации, может привести к появлению незначимых коэффициентов. Эффективным в этом случае считается включение в план эксперимента нового фактора из числа тех, которые были близки но своему эффекту к другим факторам, но были предварительно отсеяны.

Если условие (5.31) выполняется, то адекватный линейный полином используется для поиска области оптимума объекта (процесса) исследования.

При проверке адекватности необходимо, чтобы соблюдалось неравенство $\nu_1 > 0$, т. е. число опытов N должно превышать число членов l уравнения регрессии.

Однако в практике проведения технологических исследований возможны различные ситуации при статистической оценке полученного уравнения регрессии. Например, возможна ситуация, когда в полученном уравнении регрессии все коэффициенты значимы. Тогда для проверки адекватности уравнения не остается степеней свободы ($N=l$ и $\nu_1 = 0$). В этом случае адекватность уравнения регрессии можно проверить способом, основанным на оценке разности значений коэффициента b_0 и параметра оптимизации $\bar{y}_0$, полученного в опыте на нулевых уровнях факторов. Полученная разность $|b_0 — \bar{y}_0|$ является оценкой суммы эффектов взаимодействия факторов. Если разность велика, уравнением регрессии пользоваться нельзя, а если эта разность мала, т. е. соизмерима с погрешностью эксперимента, то использование данного уравнения возможно. Здесь следует иметь в виду, что коэффициенты при эффектах взаимодействий могут быть с разными знаками, а потому их сумма — небольшой величиной.

Значимость различия между b_0 и $\bar{y}_0$ оценивается по t^* - критерию

$$t_{\text{р}}^{*} = \frac{|b_0 - \bar{y}_0|\sqrt{N}}{S_y} \quad , \tag{5.32}$$

где S_y — погрешность эксперимента, вычисленная по формуле (5.18).

Гипотеза адекватности уравнения регрессии принимается, если

$$t_{\text{р}}^{*} \le t_{\text{т}} \ . \tag{5.33}$$

Табличное значение критерия Стьюдента при заданном уровне значимости и числе степеней свободы $\nu = N$ (m—1) берется из таблицы (табл. 4.13).

Если условие (5.33) не соблюдается, т. е. $t_{\text{р}}^{*} > t_{\text{т}}$, то это свидетельствует о значимости коэффициентов при эффектах взаимодействия факторов и позволяет сделать вывод о неадекватности полученной модели.

Таким образом, изложенная последовательность обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов может быть представлена следующей схемой:

1) для каждой строки матрицы планирования по формуле (5.13) вычисляется среднее арифметическое значение $\bar{y}_u$ параметра оптимизации;

2) по формуле (5.14) определяются построчные дисперсии S^2_u для каждого опыта матрицы планирования;

3) проверяется гипотеза однородности дисперсий S^2_u всех опытов по *G*-критерию Кохрена (5.15), (5.16);

4) по формуле (5.17) вычисляется дисперсия воспроизводимости S_y^2 (при условии однородности дисперсий S^2_u);

5) вычисляется погрешность эксперимента S_y из выражения (5.18);

6) по формулам (5.19), (5.20), (5.21) определяются коэффициенты уравнения регрессии;

7) по выражению (5.23) находятся дисперсии $S^2_{b_i}$ коэффициентов регрессии;

8) определяются среднеквадратические отклонения S_{b_i} коэффициентов уравнения регрессии по формуле (5.24);

9) по формуле (5.27) устанавливается величина доверительного интервала Δb_i;

10) проверяется статистическая значимость коэффициентов уравнения регрессии (5.28);

11) по выражению (5.29) определяется дисперсия адекватности $S^2_{ад}$;

12) проверяется гипотеза адекватности модели с помощью *F*-критерия Фишера (5.30), (5.31).

В заключение необходимо отметить, что использование критериев Кохрена, Стьюдента и Фишера предполагает нормальное распределение полученных результатов эксперимента.

5.6. Интерпретация результатов

В качестве адекватной модели принимается полином, коэффициенты которого являются частными производными функции отклика по соответствующим переменным. Их геометрический смысл — тангенсы углов наклона гиперплоскости к соответствующим осям. Больший по абсолютной величине коэффициент соответствует большему углу наклона и, следовательно, более существенному изменению параметра оптимизации при изменении данного фактора.

Полученную математическую модель для предварительного анализа переводят на язык экспериментатора. Это называется интерпретацией модели.

Задача интерпретации является весьма сложной и решается в несколько этапов. На первом этапе устанавливается, в какой мере каждый из факторов влияет на параметр оптимизации. Величина коэффициента уравнения регрессии — количественная мера этого влияния. Чем больше численная величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор. О характере влияния факторов говорят знаки коэффициентов. Здесь необходимо запомнить следующее правило: если коэффициент регрессии отрицателен, то для увеличения параметра оптимизации необходимо уменьшать значения фактора, а если коэффициент регрессии положителен, — увеличивать. Это, в конечном итоге, зависит от того, ищем ли мы максимум или минимум функции отклика. Если ищем максимум функции, то увеличение положительных коэффициентов благоприятно, если необходимо найти минимум функции, то благоприятно уже увеличение отрицательных коэффициентов. Далее факторы располагаются в ряд по силе их влияния на параметр оптимизации. Факторы, коэффициенты которых незначимы, конечно, не интерпретируются. Про эти факторы можно сказать только то, что при данных интервалах варьирования и погрешности эксперимента они не оказывают существенного влияния на параметр оптимизации.

Изменение интервалов варьирования факторов приводит к изменению коэффициентов уравнения регрессии. Абсолютные значения коэффициентов возрастают с увеличения интервалов варьирования. Инвариантными к изменению интервалов варьирования факторов остаются знаки линейных коэффициентов уравнения регрессии. Однако и они изменяются на обратные, если «проскочили» экстремум функции.

На следующем этапе проверяется правильность априорных сведений, которые дают перед экспериментом некоторые представления о характере действия факторов на параметр оптимизации. Источниками таких сведений могут служить теория изучаемого процесса, опыт работы с аналогичными процессами, предварительные опыты и т. д.

Если, например, ожидается, что с ростом одного из факторов должно происходить увеличение параметра оптимизации, а его коэффициент регрессии имеет знак «минус», то возникает противоречие. В этом случае возможны следующие две причины возникновения такой ситуации: либо в эксперименте допущена ошибка, и он должен быть подвергнут ревизии, либо неверны априорные представления о механизме процесса. Здесь нужно иметь в виду, что эксперимент проводится в локальной области факторного пространства и коэффициент отражает влияние фактора только в этой области. Заранее не известно, в какой мере можно распространить результат эксперимента на другие области. Теоретические же представления имеют обычно более общий характер. Кроме того, априорная информация часто основывается на однофакторных зависимостях. При переходе к многофакторному пространству ситуация может измениться. Поэтому мы должны быть уверены, что эксперимент проведен корректно. Тогда для преодоления противоречия можно выдвигать различные гипотезы и проверять их экспериментально.

Далее анализируются эффекты взаимодействия факторов.

Пусть, например, взаимодействие двух факторов значимо и имеет положительный знак. Это свидетельствует о том, что для увеличения параметра оптимизации требуется одновременное увеличение или уменьшение значений факторов, а для уменьшения параметра оптимизации значения факторов должны одновременно изменяться в разных направлениях. Если же эффект взаимодействия имеет отрицательный знак, то для увеличения параметра оптимизации значения факторов должны одновременно изменяться в разных направлениях, а для уменьшения параметра оптимизации требуется одновременное увеличение или уменьшение значений факторов.

Отсюда видно, что интерпретация эффектов взаимодействия факторов не так однозначна, как линейных эффектов. В каждом случае имеется два варианта. Какому из вариантов отдать предпочтение? Прежде всего необходимо учесть знаки линейных эффектов соответствующих факторов. Если эффект взаимодействия имеет знак «плюс» и соответствующие линейные эффекты отрицательны, то выбор однозначен; требуется одновременное уменьшение факторов, т. е. сочетание x_1 = -1 и x_2= - 1. Однако возможен такой случай, когда знаки линейных эффектов различны, тогда приходится учитывать численные значения коэффициентов и жертвовать самым малым эффектом.

Интерпретация уравнения регрессии является важной не только для понимания процесса, но также и для принятия решений при оптимизации.

5.7. Принятие решений после построения модели

После интерпретации полученных результатов переходят к принятию решений о дальнейших действиях: исправлять эксперимент или переходить к следующему этапу — поиску области оптимума. Этап принятия решений включает в себя эвристические моменты, зависящие от опыта и интуиции экспериментатора. При этом количество возможных ситуаций даже невозможно перечислить. Поэтому рассмотрим только наиболее часто встречающиеся случаи и выделим так

называемые типичные решения, в основу которых положена многоаспектная классификация ситуаций: по адекватности и неадекватности модели, значимости и незначимости коэффициентов уравнения регрессии, информация о положении оптимума.

Линейная модель адекватна. Здесь возможны три варианта ситуации: 1) все коэффициенты регрессии значимы; 2) часть коэффициентов регрессии значима, часть — незначима; 3) все коэффициенты регрессии незначимы.

В каждом варианте оптимум может быть близко, далеко или в неопределенной ситуации, т. е. о его положении нет информации.

Рассмотрим первый вариант, когда все коэффициенты регрессии значимы. Если область оптимума близка, то возможны три решения: окончание исследования, движение по градиенту и переход к планам второго порядка. Движение по градиенту используется при малой погрешности опыта и дает возможность найти оптимальную область. Переход к планированию второго порядка позволяет получить математическое описание области оптимума и найти экстремум. При удаленной области оптимума или когда неопределенная ситуация, принимается одно и то же решение – движение по градиенту.

Второй вариант – часть коэффициентов регрессии значима, часть незначима. Если часть коэффициентов линейной модели незначима и оптимум не близок или информация о нем отсутствует, необходимо выявить причины незначимости. Ими могут быть неправильный выбор интервалов варьирования, слабое влияние соответствующих факторов на параметр оптимизации, большая погрешность опыта. По устранению выявленной причины незначимости принимается решение: расширить интервалы варьирования незначимых факторов при проведении опытов; исключить факторы, не оказывающие влияние; увеличить число параллельных опытов для уменьшения погрешности. Изменение интервалов варьирования факторов иногда сочетают с переносом центра плана в точку, соответствующую условиям наилучшего опыта. Целью каждого

из этих решений является получение значимых коэффициентов. Это необходимо делать, так как движение по градиенту наиболее эффективно при значимых коэффициентах. Если область оптимума близка, то можно принимать такие же решения, как и при значимости всех коэффициентов, т. е. по первому варианту.

По третьему варианту – все коэффициенты регрессии незначимы (кроме b_0). Чаще всего это происходит вследствие большой погрешности эксперимента или узких интервалов варьирования факторов. Поэтому возможные решения направлены прежде всего на увеличение точности эксперимента и расширение интервалов варьирования. Увеличение точности может 'достигаться двумя путями: улучшением методики проведения опытов или постановкой дополнительных параллельных опытов.

Линейная модель неадекватна. Для неадекватной модели не делается различия между случаями значимых и незначимых линейных коэффициентов уравнения регрессии, потому что решения для них обычно совпадают. При неадекватной линейной модели центр плана (нулевая точка) переносится в экспериментальную точку с наилучшим значением параметра оптимизации, а интервал варьирования уменьшается пропорционально абсолютной величине коэффициента регрессии. Этим самым уменьшается кривизна поверхности отклика в точке эксперимента, что должно привести к адекватной линейной модели.

Если и при этом модель неадекватна, то очевидно, что нулевая точка эксперимента попала в область оптимума, которая описывается полиномом второго порядка. Однако такая ситуация встречается редко, поэтому в этом случае необходимо оценить вклад эффектов взаимодействия и квадратичных членов в суммарную дисперсию и, если в статистическом смысле он невелик, двигаться в область оптимума и при неадекватной модели.

Движение в область оптимума осуществляется с помощью методов оптимизации, среди которых в планировании

эксперимента широко используется метод крутого восхождения.

Рассмотрение данного метода для поиска области оптимума, как и применение планов второго порядка для ее исследования, выходят за рамки настоящего пособия.

5.8. Пример применения полного факторного эксперимента с равномерным дублированием опытов

Применение полного факторного эксперимента типа 2^k проиллюстрируем следующим примером.

В определенных геолого-технических условиях изучали зависимость механической скорости от технологических параметров режима бурения: осевой нагрузки P, расхода промывочной жидкости Q и частоты вращения n.

Локальную область определения факторов установили на основе априорных сведений. Основной (нулевой) уровень и интервал варьирования для каждого фактора были выбраны произвольно. Интервалы варьирования факторов и их натуральные значения на основном, верхнем и нижнем уровнях указаны в табл. 5.19.

Выбор модели и построение матрицы планирования. На первом этапе исследования для оценки влияния указанных факторов на параметр оптимизации (механическую скорость) и математического описания процесса бурения была использована модель вида

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (5.34)$$

Матрица планирования эксперимента с расчетными столбцами взаимодействия факторов и результатами бурения представлена в табл. 5.20. В соответствии с выбранным планом было выполнено рандомизированно во времени 8 опытов. Порядок реализации указан в табл. 5.20. Каждый опыт был повторен три раза.

Таблица 5.19

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Интервалы варьирования $\Delta\tilde{x}_i$	Уровни факторов		
		основной 0	верхний +1	нижний –1
Осевая нагрузка x_1, кН	4	12	16	8
Расход промывочной жидкости x_2, л/мин	35	55	70	40
Частота вращения x_3, об/мин	120	460	576	340

Таблица 5.20

Матрица планирования эксперимента типа 2^3

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,80	0,78	0,69
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	2,00	1,80	2,48
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	1,28	1,20	1,34
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	2,00	2,06	2,18
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	4,00	3,60	3,12
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	5,54	4,80	4,50
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	4,24	5,54	3,80
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	5,54	5,14	6,00

Расчет дисперсии воспроизводимости

По формуле (5.13) определяем средние значения параметра оптимизации (механической скорости бурения) $\bar{y}_u$ для каждой строки матрицы планирования по параллельным опытам:

$$\bar{y}_1 = \frac{0{,}80 + 0{,}78 + 0{,}69}{3} = 0{,}76;\ \bar{y}_5 = \frac{4{,}00 + 3{,}60 + 3{,}12}{3} = 3{,}57;$$

$$\bar{y}_2 = \frac{2{,}00 + 1{,}80 + 2{,}48}{3} = 2{,}09;\ \bar{y}_6 = \frac{5{,}54 + 4{,}80 + 4{,}50}{3} = 4{,}95;$$

$$\bar{y}_3 = \frac{1{,}28 + 1{,}20 + 1{,}24}{3} = 1{,}27;\ \bar{y}_7 = \frac{4{,}24 + 5{,}54 + 3{,}80}{3} = 4{,}53;$$

$$\bar{y}_4 = \frac{2{,}00 + 2{,}06 + 2{,}18}{3} = 2{,}08;\ \bar{y}_8 = \frac{5{,}54 + 5{,}14 + 6{,}00}{3} = 5{,}56.$$

Для удобства вычислений составим таблицу (табл. 5.21) и для каждого опыта по формуле (5.14) рассчитаем построчные дисперсии S^2_u:

$$S_1^2 = \frac{0{,}0016 + 0{,}0004 + 0{,}0049}{3-1} = 0{,}0035;$$

$$S_2^2 = \frac{0{,}0081 + 0{,}0841 + 0{,}1521}{3-1} = 0{,}1222;$$

$$S_3^2 = \frac{0{,}0001 + 0{,}0049 + 0{,}0049}{3-1} = 0{,}0050;$$

$$S_4^2 = \frac{0{,}0064 + 0{,}0004 + 0{,}0100}{3-1} = 0{,}0084;$$

$$S_5^2 = \frac{0{,}1949 + 0{,}0009 + 0{,}2025}{3-1} = 0{,}1942;$$

$$S_6^2 = \frac{0{,}3481 + 0{,}0225 + 0{,}2025}{3-1} = 0{,}2866;$$

$$S_7^2 = \frac{0{,}0841 + 1{,}0201 + 0{,}5329}{3-1} = 0{,}8186;$$

$$S_8^2 = \frac{0{,}0004 + 0{,}1764 + 0{,}1936}{3-1} = 0{,}1852.$$

Таблица 5.21

Расчет дисперсии опыта

Номер опыта	Механическая скорость бурения, м/ч				$y_{u1}-\bar{y}_u$	$y_{u2}-\bar{y}_u$	$y_{u3}-\bar{y}_u$	$(y_{u1}-\bar{y}_u)^2$	$(y_{u2}-\bar{y}_u)^2$	$(y_{u3}-\bar{y}_u)^2$	S_u^2
	y_{u1}	y_{u1}	y_{u2}	$\bar{y}_u$							
1	0,80	0,78	0,69	0,76	+0,04	+0,02	-0,07	0,0016	0,0004	0,0049	0,0035
2	2,00	1,80	2,48	2,09	-0,09	-0,29	+0,39	0,0081	0,0841	0,1521	0,1222
3	1,28	1,20	1,34	1,27	+ 0,01	-0,07	+0,07	0,0001	0,0049	0,0049	0,0050
4	2,00	2,06	2,18	2,08	-0,08	-0,02	+0,10	0,0064	0,0004	0,0100	0,0084
5	4,00	3,60	3,12	3,57	+0,43	+0,03	-0,45	0,1849	0,0009	0,2025	0,1942
6	5,54	4,80	4,50	4,95	+0,59	-0,15	-0,45	0,3481	0,0225	0,2025	0,2866
7	4,24	5,54	3,80	4,53	-0,29	+ 1,01	-0,73	0,0841	1,0201	0,5329	0,8186
8	5,54	5,14	6,00	5,56	-0,02	-0,42	+0,44	0,0004	0,1764	0,1936	0,1852
Σ				24,81							1,6237

Проверяем однородность ряда построчных дисперсий S_u^2, для чего по формуле (5.15) рассчитаем величину критерия Кохрена. В данном случае

$$\sum_{u=1}^{N} S_u^2 = 1{,}6237 \text{ и } S_{u\max}^2 = 0{,}8186$$

(см. табл.5.21), поэтому

$$G_{\text{р}} = \frac{0{,}8186}{1{,}6237} = 0{,}5042 \ .$$

Расчетное значение критерия сравниваем с табличным (см. табл. 5.18) для степеней свободы $\nu_1 = 3 — 1=2$, $\nu_2 = 8$ и при заданном уровне значимости 0,05

$$G_{\text{т}} = 0{,}5157 > G_{\text{р}} = 0{,}5042.$$

Поскольку выполняется условие (5.16), ряд дисперсий S_u^2 можно считать однородным, и поэтому по формуле (5.17) рассчитываем дисперсию воспроизводимости:

$$S_y^2 = \frac{1{,}6237}{8} = 0{,}2030.$$

Погрешность эксперимента, согласно (5.18):

.

$$S_y = \sqrt{0{,}2030} \approx 0{,}45 .$$

Расчет коэффициентов регрессии

Для расчета коэффициентов воспользуемся расширенной матрицей планирования (см. табл. 5.20) и полученным средним значением параметра оптимизации y_u по каждой строке (см. табл. 5.21). Коэффициенты подсчитываем по формулам (5.19), (5.20) и (5.21). Их значения оказались следующими:

$$b_0 = \frac{0,76+2,09+1,27+2,08+3,57+4,95+4,53+5,56}{8} = 3,10;$$

$$b_1 = \frac{-0,76+2,09-1,27+2,08-3,57+4,95-4,53+5,56}{8} = 0,57;$$

$$b_2 = \frac{-0,76-2,09+1,27+2,08-3,57-4,95+4,53+5,56}{8} = 0,26;$$

$$b_3 = \frac{-0,76-2,09-1,27-2,08+3,57+4,95+4,53+5,56}{8} = 1,55;$$

$$b_{12} = \frac{0,76-2,09-1,27+2,08+3,57-4,95-4,53+5,56}{8} = -0,11;$$

$$b_{13} = \frac{0,76-2,09+1,27-2,08-3,57+4,95-4,53+5,56}{8} = 0,03;$$

$$b_{23} = \frac{0,76+2,09-1,27-2,08-3,57-4,95+4,53+5,56}{8} = 0,13;$$

$$b_{123} = \frac{-0,76+2,09+1,27-2,08+3,57-4,95-4,53+5,56}{8} = 0,02$$

После расчета всех коэффициентов уравнение (5.34) принимает вид

$$\hat{y} = 3,10 + 0,57x_1 + 0,26x_2 + 1,55x_3 - 0,11x_1x_2 + \\ + 0,03x_1x_3 + 0,13x_2x_3 + 0,02x_1x_2x_3. \qquad (5.35)$$

Поверка статистической значимости коэффициентов

Проверку статистической значимости коэффициентов проводим двумя равноценными способами. Для этого вначале по формуле (5.24) вычисляем среднеквадратическое отклонение S_{bi}, которое для всех коэффициентов одинаковое и численно равно

$$S_{b_i} = \frac{0,45}{\sqrt{3 \cdot 8}} = 0,09 .$$

По первому способу, согласно формуле (5.25), получаем следующие расчетные значения критерия Стьюдента:

$$t_0 = \frac{3,10}{0,09} = 34,44\ ;\ t_1 = \frac{0,57}{0,09} = 6,33\ ;\ t_2 = \frac{0,26}{0,09} = 2,89\ ;\ t_3 = \frac{1,55}{0,09} = 17,22\ ;$$

$$t_{12} = \frac{0,11}{0,09} = 1,22\ ;\ t_{13} = \frac{0,03}{0,09} = 0,33\ ;\ t_{23} = \frac{0,13}{0,09} = 1,44\ ;\ t_{123} = \frac{0,02}{0,09} = 0,22$$

и сравниваем их с табличным (см. табл. 4.13) для степеней свободы $\nu = 8(3 - 1)= 16$ и заданной доверительной вероятности 0,95 ($t_т$ = 2,12). Коэффициенты b_{12}, b_{13}, b_{23} *и* b_{123} оказались статистически незначимыми, так как условие (5.26) не выполняется, а именно t_{12}= 1,22 < $t_т$ = 2,12; t_{13} = 0,33 < $t_г$ = 2,12 и т. д.

По второму способу определяем величину доверительного интервала Δb_i по формуле (5.27) и получаем для всех коэффициентов его численное значение

$$\Delta b_i = 2,12 \cdot 0,09 = 0,19.$$

Согласно условию (5.28), статистически значимыми признаются коэффициенты, величина которых равна доверительному интервалу или больше его. В данном случае это коэффициенты b_0, b_1, b_2, b_3. Статистически незначимые коэффициенты b_{12}, b_{13}, b_{23} *и* b_{123} из модели (5.35) исключаются, так как b_{12} = | 0,11 | < Δb_i = 0,19; b_{23} = 0,03 < Δb_i = 0,19 и т. д.

После исключения статистически незначимых коэффициентов b_{12}, b_{13}, b_{23} *и* b_{123} получено следующее уравнение регрессии:

$$\hat{y} = 3,10 + 0,57 x_1 + 0,26 x_2 + 1,55 x_{33}. \qquad (5.36)$$

Проверка адекватности модели

Прежде всего определимое помощью уравнения (5.36) расчетные значения механической скорости бурения. Напомним, что все x_i в данное уравнение входят в кодированной форме, а поэтому расчетное значение механической скорости получаем с учетом условий опытов, приведенных в табл. 5.20:

$$\hat{y}_1 = 3,10 - 0,57 - (\ \ 110\ \ ,55 = 0,72;$$

$$\hat{y}_2 = 3{,}10 + 0{,}57 - 0{,}26 - 1{,}55 = 1{,}86;$$

$$\hat{y}_3 = 3{,}10 - 0{,}57 + 0{,}26 - 1{,}55 = 1{,}24;$$

$$\hat{y}_4 = 3{,}10 + 0{,}57 + 0{,}26 - 1{,}55 = 2{,}38;$$

$$\hat{y}_5 = 3{,}10 - 0{,}57 - 0{,}26 + 1{,}55 = 3{,}82;$$

$$\hat{y}_6 = 3{,}10 + 0{,}57 - 0{,}26 + 1{,}55 = 4{,}96;$$

$$\hat{y}_7 = 3{,}10 - 0{,}57 + 0{,}26 - 1{,}55 = 4{,}34;$$

$$\hat{y}_8 = 3{,}10 + 0{,}57 + 0{,}26 + 1{,}55 = 5{,}48.$$

Далее составляем таблицу, в которую заносим все полученные экспериментальные $\bar{y}_u$ и расчетные $\hat{y}_u$ значения механической скорости, а также все исходные данные, необходимые для расчета дисперсии адекватности $S^2_{ад}$ (табл. 5.22).

Таблица 5.22

Сопоставление экспериментальных и расчетных данных

Номер опыта	$\bar{y}_u$	$\hat{y}_u$	$\bar{y}_u - \hat{y}_u$	$(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$
1	0,76	0,72	0,04	0,0016
2	2,09	1,86	0,23	0,0529
3	1,27	1,24	0,03	0,0009
4	2,08	2,38	-0,30	0,0900
5	3,57	3,82	-0,25	0,0625
6	4,95	4,96	-0,01	0,0001
7	4,53	4,34	0,19	0,0361
8	5,56	5,48	0,08	0,0064

Из табл. 5.22 подсчитываем сумму квадратов отклонений:

$(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$ 0,0016 + 0,0529 09 + 0,0900 +

$$+ 0{,}0625 + 0{,}0001 + 0{,}0361 + 0{,}0064 = 0{,}2505.$$

Дисперсию адекватности $S^2_{ад}$ рассчитываем по формуле (5.29):

$$S^2_{ад} = \frac{3}{8-4} \cdot 0{,}2505 = 0{,}1879.$$

Так как в данном случае $S^2_{ад} < S^2_y$ (0,1879 < 0,2030), то гипотезу об адекватности модели (5.36) принимаем, не выполняя при этом расчета (5.36) и не проверяя условия (5.31).

Анализ модели

Полный факторный эксперимент типа 2^3 был использован для нахождения уравнения (5.36), описывающего связь между механической скоростью бурения и основными технологическими параметрами— осевой нагрузкой, количеством промывочной жидкости и частотой вращения.

Из анализа уравнения регрессии можно заключить, что все три параметра режима бурения оказывают положительное влияние на механическую скорость. Об этом свидетельствуют знаки при коэффициентах. Что касается численной величины коэффициентов, то они показывают силу влияния соответствующего фактора на параметр оптимизации. Так, в нашем примере при выбранных интервалах варьирования наибольшее влияние на механическую скорость бурения оказывает частота вращения (b_3=1,55), наименьшее – расход промывочной жидкости (b_2=0,26).

Наибольшее значение механической скорости бурения было получено, когда все факторы были на верхнем уровне (+1). Эти уровни факторов (p=16 кН, Q = 70 л/мин, n = 576 об/мин) могут быть приняты за основные при планировании следующего этапа эксперимента.

Анализ квадратов отклонений $(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$ по строкам (см. табл. 5.22) показывает, что наибольший вклад в дисперсию адекватности вносят опыты 2, 4, 5 и 7. Отсюда рекомендация: повторить эти опыты и после уточнения их значений можно переходить к крутому восхождению.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность полного факторного эксперимента?
2. Как производится выбор области проведения эксперимента, основного уровня и интервалов варьирования факторов?
3. Что такое кодирование факторов?
4. Опишите матрицу планирования и ее свойства.
5. Каков принцип построения дробной реплики от полного факторного эксперимента?
6. Как реализуется план эксперимента при равномерном дублировании опытов?
7. Объясните алгоритм расчета полного факторного эксперимента при равномерном дублировании опытов.
8. Опишите интерпретацию результатов эксперимента и принятие решений после построения модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного пособия сделана попытка в максимально доступной и понятной форме изложить планирование многофакторного эксперимента для поиска оптимальных условии процесса бурения на этапе получения математической модели в виде полинома первой степени.

Для этого объект исследования рассматривается как кибернетическая система, характеризующаяся совокупностью входных переменных (факторов) и выходной величины (параметров оптимизации), связанных между собой определенным соотношением, представленным после реализации эксперимента в виде уравнения регрессии.

Изменение стратегии исследования технологических объектов связано с применением ряда методологических концепций, внесенных в теорию и практику эксперимента математической статистикой и кибернетикой.

На предварительном этапе исследования производится постановка небольшого числа опытов и обработка результатов наблюдений с помощью методов математической статистики. Это дает некоторое представление о свойствах и поведении изучаемого объекта и способствует повышению эффективности его исследования на последующих этапах.

Так, по данным предварительного исследования, становится возможным определить: 1) области существования факторов; 2) основные (нулевые) уровни и интервалы варьирования факторов; 3) предварительное число параллельных опытов; 4) число факторов и их взаимодействий, включаемых в план полного факторного эксперимента или дробной реплики.

В соответствии с выбранной моделью и задачами исследования намечается план эксперимента, реализация которого является наиболее ответственной частью работы. Здесь требуется высокая культура эксперимента, тщательное соблюдение условий рандомизации опытов.

Обработка результатов с помощью методов наименьших квадратов приводит к получению математической модели объекта в области проведения эксперимента. После получения полинома проводится проверка статистической значимости коэффициентов и его адекватности.

Анализ полученной математической модели позволяет наметить направление движения из исходной точки, наиболее быстро приводящее к оптимизации выбранного параметра. Дальнейшие исследования связаны с применением метода крутого восхождения и планов второго порядка.

Библиографический список

Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976.

Башкатов, Д. Н. Оптимизация процесса бурения / Д. Н. Башкатов. – Нижний Новгород, 2007.

Бражников, В. А. Информационные устройства для определения эффективности процесса бурения / В. А. Бражников, В. А. Кузнецов. – М.: Недра, 1988.

Ганджумян, Р. А. Математическая статистика в разведочном бурении / Р. А. Ганджумян. – М.: Недра, 1990.

Ермаков, С. М. Статистическое моделирование / С. М. Ермаков, Г. А. Михайлов. – М.: Недра, 1978.

Игнатов, В. И. Организация и проведение эксперимента в бурении / В. И. Игнатов. – М.: Недра, 1978.

Козловский, Е. А. Оптимизация процесса бурение (структура и элементы управления). – М.: МГГА, 2000.

Крутов, В. Н. Основы научных исследований / В. Н. Крутов, Н. М. Глушко, В. В. Попов [и др.] – М.: Высшая школа, 1989.

Налимов, В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. –М.: Наука, 1981.

Ошкордин, О. В. Качество разведочного бурения / О. В. Ошкордин, А. А. Мецгер, С. Г. Фролов; СГИ. – Свердловск, 1990.

Ошкордин, О. В. Технологический опыт как ресурс бурового производства: науч. изд. – Екатеринбург: Изд-во УГГГУ, 2003. – 156 с.

ФГБОУ ВО
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра технологии и техники разведки МПИ

Ф.П. Сердюков

ОПТИМИЗАЦИЯ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания для практических занятий студентов по дисциплине
«Оптимизация в геологоразведочном производстве»

Для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки

Очное, заочное

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение задания по курсу «Оптимизация в геологоразведочном производстве» имеет целью закрепить и углубить знания по исследованию объекта и его научном анализе, функционирование которого желательно в оптимальном режиме, где центральное место занимает эксперимент. Для повышения эффективности экспериментальных исследований применяют математические методы, теорию планирования эксперимента и методы обработки результатов исследований.

Задание выполняются на персональных компьютерах, и отчет о выполнении должен быть составлен согласно общим правилам оформления аттестационных и квалификационных работ. Для выполнения заданий необходимы базовые навыки работы в текстовом редакторе *Word* и электронных таблицах *MS Excel*.

Расчетно-графическое задание «Полный факторный эксперимент 2^3»

Цель и условие задания

Цель задания: освоить методы планирования и обработки полного факторного эксперимента.

Условие задания: Объектом экспериментальных исследований является новая конструкция коронки. Параметром исследований выбрана механическая скорость бурения. В качестве факторов приняты осевая нагрузка, частота вращения и расход промывочной жидкости, которыми варьируют в следующих пределах:

- $8 \le x_1 \le 16$ кН;
- $70 \le x_2 \le 40$ л/мин;
- $340 \le x_3 \le 580$ об/мин

Верхние и нижние границы интервалов варьирования выбраны за соответствующие уровни факторов. Вероятность взаимодействия факторов не исключается. Число параллельных опытов во всех точках плана равно трем. План полного факторного эксперимента 2^3 и результаты определения параметра исследований приведены приложении 1 в таблицах соответствующих вариантов.

Требуется: Построить математическую модель с учетом взаимодействия факторов. При выполнении статистических процедур уровень значимости табличных критериев следует принять равным 0,05.

Содержание отчета:

- условие задания;
- вариант рабочей матрицы экспериментов с использованием рандомизации опытов (включая параллельные опыты);
- расчет коэффициентов уравнения с учетом взаимодействия факторов и целевую функцию в виде неполного квадратичного полинома;
- расчет относительной погрешности вычисленных по этому уравнению значений параметра для всех строк плана;
- оценка воспроизводимости результатов экспериментов при помощи *G*-критерия Кохрена;
- проверка значимости отдельных коэффициентов построенного уравнения с помощью *t*-критерия Стьюдента и определение целевой функции, состоящей только из значимых эффектов;
- проверку адекватности модели с помощью *F*-критерия Фишера;
- анализ полученных результатов.

1. Пример применения полного факторного эксперимента с равномерным дублированием опытов

Применение полного факторного эксперимента типа 2^k проиллюстрируем следующим примером.

В определенных геолого-технических условиях изучали зависимость механической скорости от технологических параметров режима бурения: осевой нагрузки *P,* расхода промывочной жидкости *Q* и частоты вращения *n.*

Локальную область определения факторов установили на основе априорных сведений. Основной (нулевой) уровень и интервал варьирования для каждого фактора были выбраны произвольно. Интервалы варьирования факторов и их натуральные значения на основном, верхнем и нижнем уровнях указаны в табл. 1.

Выбор модели и построение матрицы планирования. На первом этапе исследования для оценки влияния указанных факторов на параметр оптимизации (механическую скорость) и математического описания процесса бурения была использована модель вида

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Матрица планирования эксперимента с расчетными столбцами взаимодействия факторов и результатами бурения представлена в табл. 2. В соответствии с выбранным планом было выполнено рандомизированно во времени 8 опытов. Порядок реализации указан в табл. 2. Каждый опыт был повторен три раза.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Интервалы варьирования $\Delta\tilde{x}_i$	Уровни факторов		
		основной 0	верхний +1	нижний –1
Осевая нагрузка x_1, кН	4	12	16	8
Расход промывочной жидкости x_2, л/мин	35	55	70	40
Частота вращения x_3, об/мин	120	460	576	340

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента типа 2^3

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,80	0,78	0,69
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	2,00	1,80	2,48
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	1,28	1,20	1,34
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	2,00	2,06	2,18
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	4,00	3,60	3,12
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	5,54	4,80	4,50
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	4,24	5,54	3,80
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	5,54	5,14	6,00

Расчет дисперсии воспроизводимости

По формуле определяем средние значения параметра оптимизации (механической скорости бурения) $\bar{y}_u$ для каждой строки матрицы планирования по параллельным опытам:

$$\bar{y}_1 = \frac{0{,}80 + 0{,}78 + 0{,}69}{3} = 0{,}76;\ \bar{y}_5 = \frac{4{,}00 + 3{,}60 + 3{,}12}{3} = 3{,}57;$$

$$\bar{y}_2 = \frac{2{,}00 + 1{,}80 + }{3}\ ^{105}\ 2{,}09;\ \bar{y}_6 = \frac{5{,}54 + 4{,}80 + 4{,}50}{3} = 4{,}95;$$

$$\bar{y}_3 = \frac{1{,}28 + 1{,}20 + 1{,}24}{3} = 1{,}27;\ \bar{y}_7 = \frac{4{,}24 + 5{,}54 + 3{,}80}{3} = 4{,}53;$$

$$\bar{y}_4 = \frac{2{,}00 + 2{,}06 + 2{,}18}{3} = 2{,}08;\ \bar{y}_8 = \frac{5{,}54 + 5{,}14 + 6{,}00}{3} = 5{,}56.$$

Для удобства вычислений составим таблицу (табл. 3) и для каждого опыта по формуле рассчитаем построчные дисперсии S^2_u:

$$S_1^2 = \frac{0{,}0016 + 0{,}0004 + 0{,}0049}{3-1} = 0{,}0035;$$

$$S_2^2 = \frac{0{,}0081 + 0{,}0841 + 0{,}1521}{3-1} = 0{,}1222;$$

$$S_3^2 = \frac{0{,}0001 + 0{,}0049 + 0{,}0049}{3-1} = 0{,}0050;$$

$$S_4^2 = \frac{0{,}0064 + 0{,}0004 + 0{,}0100}{3-1} = 0{,}0084;$$

$$S_5^2 = \frac{0{,}1949 + 0{,}0009 + 0{,}2025}{3-1} = 0{,}1942;$$

$$S_6^2 = \frac{0{,}3481 + 0{,}0225 + 0{,}2025}{3-1} = 0{,}2866;$$

$$S_7^2 = \frac{0{,}0841 + 1{,}0201 + 0{,}5329}{3-1} = 0{,}8186;$$

$$S_8^2 = \frac{0{,}0004 + 0{,}1764 + 0{,}1936}{3-1} = 0{,}1852.$$

Таблица 3

Расчет дисперсии опыта

Номер опыта	Механическая скорость бурения, м/ч				$y_{u1} - \bar{y}_u$	$y_{u2} - \bar{y}_u$	$y_{u3} - \bar{y}_u$	$(y_{u1} - \bar{y}_u)^2$	$(y_{u2} - \bar{y}_u)^2$	$(y_{u3} - \bar{y}_u)_2$	S_u^2
	y_{u1}	y_{u1}	y_{u2}	$\bar{y}_u$							
1	0,80	0,78	0,69	0,76	+0,04	+0,02	-0,07	0,0016	0,0004	0,0049	0,0035
2	2,00	1,80	2,48	2,09	-0,09	-0,29	+0,39	0,0081	0,0841	0,1521	0,1222
3	1,28	1,20	1,34	1,27	+ 0,01	-0,07	+0,07	0,0001	0,0049	0,0049	0,0050
4	2,00	2,06	2,18	2,08	-0,08	-0,02	+0,10	0,0064	0,0004	0,0100	0,0084
5	4,00	3,60	3,12	3,57	+0,43	+0,03	-0,45	0,1849	0,0009	0,2025	0,1942
6	5,54	4,80	4,50	4,95	+0,59	-0,15	-0,45	0,3481	0,0225	0,2025	0,2866
7	4,24	5,54	3,80	4,53	-0,29	+ 1,01	-0,73	0,0841	1,0201	0,5329	0,8186
8	5,54	5,14	6,00	5,56	-0,02	-0,42	+0,44	0,0004	0,1764	0,1936	0,1852
Σ				24,81							1,6237

Проверяем однородность ряда построчных дисперсий S_u^2, для чего по формуле рассчитаем величину критерия Кохрена. В данном случае

$$\sum_{u=1}^{N} S_u^2 = 1{,}6237 \text{ и } S_{u\max}^2 = 0{,}8186$$

(см. табл.3), поэтому

$$G_{\text{р}} = \frac{0{,}8186}{1{,}6237} = 0{,}5042 \ .$$

Расчетное значение критерия сравниваем с табличным для степеней свободы $\nu_1 = 3 — 1=2$, $\nu_2 = 8$ и при заданном уровне значимости 0,05

$$G_{\text{т}} = 0{,}5157 > G_{\text{р}} = 0{,}5042.$$

Поскольку выполняется условие, ряд дисперсий S_u^2 можно считать однородным, и поэтому по формуле рассчитываем дисперсию воспроизводимости:

$$S_y^2 = \frac{1{,}6237}{8} = 0{,}2030.$$

Погрешность эксперимента, согласно формулы:

$$S_y = \sqrt{0{,}2030} \approx 0{,}45 .$$

Расчет коэффициентов регрессии

Для расчета коэффициентов воспользуемся расширенной матрицей планирования (см. табл. 2) и полученным средним значением параметра оптимизации y_u по каждой строке (см. табл. 3). Коэффициенты подсчитываем по формулам. Их значения оказались следующими:

$$b_0 = \frac{0{,}76+2{,}09+1{,}27+2{,}08+3{,}57+4{,}95+4{,}53+5{,}56}{8} = 3{,}10 ;$$

$$b_1 = \frac{-0{,}76+2{,}09-1{,}27+2{,}08-3{,}57+4{,}95-4{,}53+5{,}56}{8} = 0{,}57 ;$$

$$b_2 = \frac{-0{,}76-2{,}09+1{,}27+2{,}08-3{,}57-4{,}95+4{,}53+5{,}56}{8} = 0{,}26 ;$$

$$b_3 = \frac{-0{,}76-2{,}09-1{,}27-2{,}08+3{,}57+4{,}95+4{,}53+5{,}56}{8} = 1{,}55 ;$$

$$b_{12} = \frac{0{,}76-2{,}09-1{,}27+2{,}08+3{,}57-4{,}95-4{,}53+5{,}56}{8} = -0{,}11 ;$$

$$b_{13} = \frac{0{,}76-2{,}09+1{,}27-2{,}08-3{,}57+4{,}95-4{,}53+5{,}56}{8} = 0{,}03 ;$$

$$b_{23} = \frac{0{,}76+2{,}09-1{,}27-2{,}08-3{,}57-4{,}95+4{,}53+5{,}56}{8} = 0{,}13 ;$$

$$b_{123} = \frac{-0{,}76+2{,}09+1{,}27-2{,}08+3{,}57-4{,}95-4{,}53+5{,}56}{8} = 0{,}02$$

После расчета всех коэффициентов уравнение (1) принимает вид

$$\hat{y} = 3{,}10 + 0{,}57 x_1 + 0{,}26 x_2 + 1{,}55 x_3 - 0{,}11 x_1 x_2 + 0{,}03 x_1 x_3 + 0{,}13 x_2 x_3 + 0{,}02 x_1 x_2 x_3 . \quad (2)$$

Поверка статистической значимости коэффициентов

Проверку статистической значимости коэффициентов проводим двумя равноценными способами. Для этого вначале по формуле вычисляем среднеквадратическое отклонение S_{bi}, которое для всех коэффициентов одинаковое и численно равно

$$S_{b_i} = \frac{0,45}{\sqrt{3 \cdot 8}} = 0,09 .$$

По первому способу, согласно формуле, получаем следующие расчетные значения критерия Стьюдента:

$$t_0 = \frac{3,10}{0,09} = 34,44 ;\ t_1 = \ 109 \quad 6,33 ;\ t_2 = \frac{0,26}{0,09} = 2,89 ;\ t_3 = \frac{1,55}{0,09} = 17,22 ;$$

$$t_{12} = \frac{0,11}{0,09} = 1,22 ;\ t_{13} = \frac{0,03}{0,09} = 0,33 ;\ t_{23} = \frac{0,13}{0,09} = 1,44 ;\ t_{123} = \frac{0,02}{0,09} = 0,22$$

и сравниваем их с табличным для степеней свободы ν = 8(3 - 1)= 16 и заданной доверительной вероятности 0,95 ($t_т$ = 2,12). Коэффициенты b_{12}, b_{13}, b_{23} *и* b_{123} оказались статистически незначимыми, так как условие не выполняется, а именно t_{12}= 1,22 < $t_т$ = 2,12; t_{13} = 0,33 < $t_г$ = 2,12 и т. д.

По второму способу определяем величину доверительного интервала Δb_i по формуле и получаем для всех коэффициентов его численное значение

$$\Delta b_i = 2,12 \cdot 0,09 = 0,19.$$

Согласно условию, статистически значимыми признаются коэффициенты, величина которых равна доверительному интервалу или больше его. В данном случае это коэффициенты b_0, b_1, b_2, b_3. Статистически незначимые коэффициенты b_{12}, b_{13}, b_{23} *и* b_{123} из модели (2) исключаются, так как b_{12} = | 0,11 | < Δb_i = 0,19; b_{23} = 0,03 < Δb_i = 0,19 и т. д.

После исключения статистически незначимых коэффициентов b_{12}, b_{13}, b_{23} *и* b_{123} получено следующее уравнение регрессии:

$$\hat{y} = 3,10 + 0,57 x_1 + 0,26 x_2 + 1,55 x_{33} . \qquad (3)$$

Проверка адекватности модели

Прежде всего определимое помощью уравнения (3) расчетные значения механической скорости бурения. Напомним, что все x_i в данное уравнение входят в кодированной форме, а поэтому расчетное значение механической скорости получаем с учетом условий опытов, приведенных в таблице 2:

$$\hat{y}_1 = 3,10 – 0,57 – 0,26 – 1,55 = 0,72;$$

$$\hat{y}_2 = 3,10 + 0,57 – 0,26 – 1,55 = 1,86;$$

$$\hat{y}_3 = 3,10 – 0,57 + 0,26 – 1,55 = 1,24;$$

$$\hat{y}_4 = 3,10 + 0,57 + 0,26 – 1,55 = 2,38;$$

$$\hat{y}_5 = 3,10 – 0,57 – 0,26 + 1,55 = 3,82;$$

$$\hat{y}_6 = 3,10 + 0,57 – 0,26 + 1,55 = 4,96;$$

$$\hat{y}_7 = 3,10 – 0,57 + 0,26 – 1,55 = 4,34;$$

$$\hat{y}_8 = 3,10 + 0,57 + 0,26 + 1,55 = 5,48.$$

Далее составляем таблицу, в которую заносим все полученные экспериментальные $\bar{y}_u$ и расчетные $\hat{y}_u$ значения механической скорости, а также все исходные данные, необходимые для расчета дисперсии адекватности $S^2_{ад}$ (табл. 4).

Таблица 4

Сопоставление экспериментальных и расчетных данных

Номер опыта	$\bar{y}_u$	$\hat{y}_u$	$\bar{y}_u - \hat{y}_u$	$(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$
1	0,76	0,72	0,04	0,0016
2	2,09	1,86	0,23	0,0529
3	1,27	1,24	0,03	0,0009
4	2,08	2,38	-0,30	0,0900
5	3,57	3,82	-0,25	0,0625
6	4,95	4,96	-0,01	0,0001
7	4,53	4,34	0,19	0,0361
8	5,56	5,48	0,08	0,0064

Из таблицы 4 подсчитываем сумму квадратов отклонений:

$$(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2\ 0{,}0016 + 0{,}0529 + 0{,}0009 + 0{,}0900 +$$
$$+ 0{,}0625 + 0{,}0001 + 0{,}0361 + 0{,}0064 = 0{,}2505.$$

Дисперсию адекватности $S^2_{ад}$ рассчитываем по формуле:

$$S^2_{ад} = \frac{3}{8-4} \cdot 0{,}2505 = 0{,}1879.$$

Так как в данном случае $S^2_{ад} < S^2_y$ (0,1879 < 0,2030), то гипотезу об адекватности модели (3) принимаем, не выполняя при этом расчета (3) и не проверяя условия.

Анализ модели

Полный факторный эксперимент типа 2^3 был использован для нахождения уравнения (3), описывающего связь между механической скоростью бурения и основными технологическими параметрами — осевой нагрузкой, количеством промывочной жидкости и частотой вращения.

Из анализа уравнения регрессии можно заключить, что все три параметра режима бурения оказывают положительное влияние на механическую скорость. Об этом свидетельствуют знаки при коэффициентах. Что касается численной величины коэффициентов, то они показывают силу влияния соответствующего фактора на параметр оптимизации. Так, в нашем примере при выбранных интервалах варьирования наибольшее влияние на механическую скорость бурения оказывает частота вращения (b_3=1,55), наименьшее – расход промывочной жидкости (b_2=0,26).

Наибольшее значение механической скорости бурения было получено, когда все факторы были на верхнем уровне (+1). Эти уровни факторов (p=16 кН, Q = 70 л/мин, n = 576 об/мин) могут быть приняты за основные при планировании следующего этапа эксперимента.

Анализ квадратов отклонений $(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$ по строкам (см. табл. 4) показывает, что наибольший вклад в дисперсию адекватности вносят опыты 2, 4, 5 и 7. Отсюда рекомендация: повторить эти опыты и после уточнения их значений можно переходить к крутому восхождению.

Приложение 1

Варианты задания

Вариант 1

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,35	0,43	0,41
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,72	0,75	0,73
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,53	0,58	0,55
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,84	0,86	0,85
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,41	0,48	0,44
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,86	0,87	0,86
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,62	0,65	0,64
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	0,97	0,98	0,96

Вариант 2

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,33	0,4	0,36
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,65	0,77	0,68
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,48	0,58	0,5
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,76	0,89	0,8
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,38	0,46	0,39
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,77	0,91	0,81
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,55	0,67	0,59
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	0,88	1,02	0,91

Вариант 3

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,39	0,47	0,45
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,79	0,83	0,80
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,58	0,64	0,61
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,92	0,95	0,94
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,45	0,53	0,48
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,95	0,96	0,95
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,68	0,72	0,70
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,07	1,08	1,06

Вариант 4

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,33	0,41	0,39
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,69	0,71	0,70
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,50	0,55	0,52
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,80	0,82	0,81
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,39	0,46	0,42
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,82	0,83	0,82
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,59	0,62	0,61
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	0,92	0,93	0,91

Вариант 5

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,52	0,50	0,44
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,88	0,85	0,84
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,69	0,66	0,63
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,00	0,99	0,97
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,58	0,53	0,50
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,01	1,00	1,00
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,77	0,75	0,73
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,13	1,11	1,12

Вариант 6

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,48	0,40	0,46
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,80	0,77	0,78
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,63	0,58	0,60
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,91	0,89	0,90
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,53	0,46	0,49
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,92	0,91	0,91
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,70	0,67	0,69
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,03	1,02	1,01

Вариант 7

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,36	0,44	0,42
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,73	0,76	0,74
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,54	0,59	0,56
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,86	0,88	0,87
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,42	0,49	0,45
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,88	0,89	0,88
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,63	0,66	0,65
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	0,99	1,00	0,98

Вариант 8

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,50	0,42	0,52
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,88	0,87	0,91
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,67	0,64	0,70
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,03	1,02	1,04
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,53	0,50	0,58
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,04	1,04	1,05
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,77	0,75	0,79
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,16	1,17	1,19

Вариант 9

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,38	0,47	0,45
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,79	0,82	0,80
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,58	0,64	0,60
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,92	0,94	0,93
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,45	0,53	0,48
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,94	0,95	0,94
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,68	0,71	0,70
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,06	1,07	1,05

Вариант 10

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,45	0,37	0,47
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,83	0,82	0,86
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,62	0,59	0,65
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,98	0,97	0,99
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,48	0,45	0,53
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,99	0,99	1,00
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,72	0,70	0,74
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,11	1,12	1,14

Вариант 11

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,42	0,49	0,51
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,86	0,87	0,89
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,63	0,66	0,69
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,00	1,01	1,03
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,49	0,52	0,57
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,03	1,03	1,04
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,74	0,76	0,77
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,16	1,14	1,17

Вариант 12

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,68	0,60	0,66
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	1,00	0,97	0,98
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,83	0,78	0,80
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,11	1,09	1,10
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,73	0,66	0,69
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,12	1,11	1,11
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,90	0,87	0,89
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,23	1,22	1,21

Вариант 13

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,47	0,58	0,55
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,97	1,01	0,98
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,71	0,78	0,74
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,13	1,15	1,14
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,55	0,64	0,59
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,15	1,17	1,15
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,83	0,87	0,86
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,30	1,32	1,29

Вариант 14

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,56	0,47	0,54
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,91	0,88	0,89
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,73	0,67	0,69
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,03	1,01	1,02
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,62	0,54	0,57
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,04	1,03	1,03
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,80	0,77	0,79
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,16	1,15	1,14

Вариант 15

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,43	0,51	0,54
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,93	0,94	0,97
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,67	0,70	0,74
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,09	1,10	1,11
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,51	0,55	0,60
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,11	1,11	1,13
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,79	0,82	0,83
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,26	1,25	1,28

Вариант 16

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,71	0,63	0,69
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	1,03	1,00	1,01
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,86	0,81	0,83
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,14	1,12	1,13
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,76	0,69	0,72
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,15	1,14	1,14
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,93	0,90	0,92
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,26	1,25	1,24

Вариант 17

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,67	0,56	0,64
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	1,10	1,06	1,07
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,87	0,80	0,83
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,24	1,22	1,23
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,73	0,64	0,68
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,26	1,24	1,24
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,96	0,92	0,95
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,41	1,39	1,38

Вариант 18

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,70	0,59	0,67
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	1,13	1,09	1,10
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,90	0,83	0,86
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,27	1,25	1,26
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,76	0,67	0,71
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,29	1,27	1,27
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,99	0,95	0,98
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,44	1,42	1,41

Вариант 19

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,57	0,69	0,66
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	1,12	1,16	1,13
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,84	0,91	0,87
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	1,30	1,32	1,31
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,66	0,76	0,70
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	1,32	1,34	1,32
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,97	1,01	1,00
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,49	1,50	1,47

Вариант 20

Номер опыта	Порядок реализации	Планирование				Расчет				Параметр оптимизации		
		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}
1	6	+	-	-	-	+	+	+	-	0,38	0,46	0,48
2	2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,83	0,84	0,86
3	5	+	-	+	-	-	+	-	+	0,60	0,62	0,66
4	1	+	+	+	-	+	-	-	-	0,97	0,98	0,99
5	7	+	-	-	+	+	-	-	+	0,46	0,49	0,54
6	8	+	+	-	+	-	+	-	-	0,99	0,99	1,01
7	3	+	-	+	+	-	-	+	-	0,71	0,73	0,74
8	4	+	+	+	+	+	+	+	+	1,13	1,11	1,14

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башкатов Д.Н. Планирование эксперимента в разведочном бурении. М.: Недра, 1985, – 181 с.

2. Башкатов Д.Н. Оптимизация процесса бурения. – Н. Новгород: Красная книга, 2006, 331 с.

3. Ганджумян Р.А. Математическая статистика в разведочном бурении: Справочное пособие. М.: Недра, 1990, 218 с.

4. Нескоромных В.В. Оптимизация в геологоразведочном производстве: учебник / В.В. Нескоромных, В.Г. Храменков // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013, 256 с.

5. Еркалов В.И., Усов Г.А., Сердюков Ф.П. Планирование эксперимента в бурении. – Екатеринбург, 2017, 116 с.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
горный университет»

Н. Н. Дерябин, С. Г. Эйнгорн

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА

для специальности 21.05.03

Технология геологической разведки

специализация № 3

Технология и техника разведки МПИ»

Екатеринбург
2018

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ

Основная цель **Производственно-технологической практики** - реализация на производстве и закрепление теоретических знаний, полученных студентами в процессе обучения; - практическая работа по специальности и овладение профессиями квалификационных и рабочих; - изучение и приобретение опыта инженерного руководства структурным подразделением предприятия, на котором непосредственно проходит практика, - проверка деловых качеств студентов в производственных условиях.

Задачами **Производственно-технологической практики** являются:

- приобретение практических навыков самостоятельной работы в должности рабочего;
- приобретение опыта бурения, эксплуатации и ремонта оборудования, используемого в геологоразведочных организациях (предприятиях);
- изучение и освоение технологии, применяемой на предприятии;
- изучение конкретных производственных заданий предприятий и технико-экономических показателей их выполнения;
- изучение организации труда.

2 МЕСТО ПРАКТИКИ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Производственно-технологическая практика студентов УГГУ является составной частью основной профессиональной образовательной программы высшего образования, входит в Блок 2 «Практики», и представляет собой одну из форм организации учебного процесса, заключающуюся в профессионально-практической подготовке обучающихся в университете и на базах практики.

3 ОБЪЕМ ПРАКТИКИ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ И ЕЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ В НЕДЕЛЯХ ЛИБО В АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСАХ

Общая трудоемкость производственной практики составляет 24 зачетные единицы, 864 часа.

Общее время прохождения производственной практики студентов 16 недель 112 календарных дней.

4 СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКИ

№ п/п	№ недели	Разделы (этапы) практики и содержание, место прохождения практики	Трудоемкость (в часах) -учебная работа/ самостоятельная работа		Формы контроля
			учебная	СР	
		Подготовительный (организационный) этап			
1		Организационное собрание, сбор и изучение рекомендуемой литературы, получение необходимых консультаций по организации и методике проведения работ со стороны руководителя практики от кафедры	2		собеседование
	1-12	**Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности на …….**			
2		Инструктаж по технике безопасности, охране труда, пожарной безопасности, сдача		20	заполнение соответствующего

		техминимума			раздела плана-графика практики, заполнение журнала по ТБ
		Основной этап			
3		Современное состояние и перспективы развития предприятия (лекции и беседы инженерно-технических работников)		6	собеседование, отчет по практике
3.1		Краткая геологическая характеристика района работ. Дается оценка значимости месторождения, на котором проводятся работы. Приводятся общие сведения о районе работ (географическое положение, наличие путей сообщения, дорог, источников энергии, топлива, стройматериалов, рабочей силы, технической и питьевой воды).		20	
3.2		Производственно-технический: приводится характеристика условий бурения и прочностных свойств пород, слагающих геологический разрез; описание технологии бурения скважин и расчетные технологические параметры; комплектация бурового и энергетического оборудования, технологического инструмента и контрольно-измерительной аппаратуры; описание специальных работ, проводимых в скважинах (тампонаж, цементация, бурение дополнительных стволов, гидродинамические исследования, геофизические, откачки и т.п.); особенности износа породоразрушающего инструмента, бурильных труб и оборудования; описание развития геолого-технических осложнений, аварий и различного рода отклонений в технологическом процессе бурения; энерго-водо-материалоснабжения, связь, транспорт и оборудование. В этом же разделе необходимо приложить геолого-технический наряд на бурение скважины, а также чертежи специальных снарядов или их схемы.		776	
3.3		Охрана окружающей среды и безопасности: приводятся характеристики вредных и опасных воздействий на природную среду, средства и способы их нейтрализации; характеристика факторов, опасных для персонала и лиц, взаимодействующих с производством, средства защиты.		30	
3.4		В заключении приводятся итоги прошедшей практики, где студент пытается дать оценку их результатам. Так, например, какие он приобрел практические навыки самостоятельной работы на буровых станках и установках различных типов в зависимости от геолого-технических условий бурения скважин в должности машиниста буровой установки, а также какой он приобрел опыт в освоении технологии бурения скважин с применением современных технических средств.		5	
		Итоговый (заключительный) этап			
		Подготовка отчета о практике, защита отчета		5	Защита отчета по итогам прохождения практики
		Итого		864	Зачет

Примерный план прохождения практики:

Задание	Отчетность
Знакомство с основами будущей профессии	
Организационное собрание, сбор и изучение рекомендуемой литературы, получение необходимых консультаций по организации и методике проведения работ со стороны руководителя практики от кафедры	
1. Ознакомиться с базой практик, пройти инструктаж по технике безопасности	Раздел отчета: Безопасность жизнедеятельности
2. Ознакомиться с подразделением, в котором студент проходит практику, организацией деятельности буровика, должностными инструкциями рабочих мест и инженерно-технического персонала…	Первый раздел отчета - Описание подразделения – название, функции, задачи подразделения, должностные обязанности работников (кратко).
3. Ознакомиться с геологическим строением района	Первый раздел отчета - Геологический (кратко).
Формирование общепрофессиональных и профессиональных компетенций (умений и опыта)	
4. Выполнить задания по поручению и под наблюдением бурового мастера: - буровой инструмент; - буровое оборудование; - ….	Второй раздел отчета - Составленные студентом документы – …… и т.д. , описание выполненной деятельности
Итоговый (заключительный) этап	
Подготовка отчета о практике, защита отчета	

Отчёт о практике

Отчётные материалы о практике состоят из следующих частей:

а) путёвка-направление, документально подтверждающая работу студента на данном предприятии в определённой должности в определённый срок. Путёвка-направление содержит табель учёта рабочего времени и характеристику студента;

б) заполненные таблицы, описания, географические схемы в соответствии с заданием, сведённые в отчёт и содержащие комментарии студента к каждому материалу;

в) приложения образцовых горных пород, коронок и соединений и т. п.

Отчёт принимает руководитель и утверждает его после защиты. Материалы практики хранятся на кафедре и используются при выполнении студентами курсовых и дипломных работ.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА НА БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

1. Содержание практики

Производственную практику на геологоразведочном бурении проходят студенты, обучающиеся по специальности «Технология геологической разведки», избравшие для курсового или дипломного проектирования тематику технико-технологического обеспечения геологоразведочных работ.

На практику в геологоразведочные организации, предприятия (ГРП) направляются студенты, прошедшие учебную технологическую практику и получившие квалификацию машиниста буровой установки колонкового механического бурения не ниже 2-го разряда.

Различия первой производственной и преддипломной практик определяются заданиями на практику: сложностью заданий, объёмом и содержанием решаемых задач в ходе практики и при последующем учебном технологическом проектировании.

2. Структура и форма заданий на первую и преддипломную производственную практики в геологоразведочной партии

Задание на производственную практику включает следующие пункты.

- перечень видов работ, технологий и буровых установок, на которых проводится практика:

структурно-поисковые, разведочные скважины глубиной не менее 250 м, бурение установками колонкового бурения; с отбором керна, с промывкой и продувкой;

картировочные и разведочные скважины глубиной до 100 м в рыхлых породах с отбором специальных проб, с гидротранспортом керна, установками вибрационного и шнекового бурения.

- должности, выполняемые обязанности и требования к приобретаемым практическим навыкам:

Стажёр бурового мастера, стажёр машиниста БУ, помощник бурильщика, сборка колонны бурильных труб, колонкового снаряда, заклинка, извлечение и укладка керна, приготовление, очистка и контроль параметров глинистого раствора, контроль износа коронок и калибровка бурильных труб, выполнение спуско-подъёмных операций, текущее тех. обслуживание бурового оборудования.

- *Сбор материалов:*

А. Геологические материалы:

Разрез по скважине (наиболее сложный и представительный), описание пород и минералов разреза, инженерно-геологических и гидрогеологических целей и задач, решаемых бурением скважины, геофизических, геохимических, гидрогеологических исследований, проводимых на основе результатов бурения;

Б. Технико-технологические материалы:

Породоразрушающий инструмент, оборудование, оснастка (марки, типоразмеры, схемы расположения и использования), технологические материалы, реагенты, растворы (очистные агенты, тампонажные смеси), описание технологических операций, способов и технологических схем, конструкции скважин, буровые установки, мачты, талевые оснастки.

В. Специальный вопрос (тема углублённого изучения):

Материалы новых нетрадиционных или прогрессивных технологий, выполнявшихся на объекте по теме, определённой руководителем.

Г. Описание буровых аварий и геолого-технических осложнений, схем, методов и средств их предупреждения и устранения.

Задание на преддипломную практику включает дополнительные требования по каждому из пунктов:

- перечень видов работ, технологий и буровых установок:

- глубокие наклонно направленные поисковые и разведочные скважины, а также скважины, буримые с применением новых нетрадиционных или прогрессивных технологий (с буровым снарядом на шлангокабеле, снарядом ССК, горизонтальные скважины, бурение с обратно-всасывающей промывкой и др.);

- кустовое, многоствольное, горизонтальное бурение; опробование рудных тел в сложных условиях с использованием эжекторных, пакерных снарядов, снарядов направленного бурения;

- должности, выполняемые обязанности и требования к приобретаемым навыкам:

стажёр инженера-технолога, начальника участка, гл. инженера ГРП, буровой мастер, машинист буровой установки, помощник машиниста БУ, сборка и регулировка специальных буровых снарядов (направленное бурение), эжекторных снарядов, пакерных, двойных колонковых, герметизированных пробоотборников, керноориентаторов, подбор рецептур очистных агентов для бурения в сложных условиях, организация рациональной отработки породоразрушающего инструмента и выбор параметров режима бурения; выполнение специальных работ в скважине (установка отклонителя и отбурка дополнительного ствола, отбор ориентированного керна, отбор специальных керношламовых проб и др.).

- **Сбор материалов**

А. Геологические материалы:

Описание генезиса и строения месторождения, подробная характеристика разведочного комплекса (схем, методов и средств разведки месторождения),

гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики залегания полезного ископаемого, особенности полезного ископаемого в количественных и качественных показателях.

Б. Технико-технологические материалы:

Особенности износа породоразрушающего инструмента, бурильных труб и оборудования, описание развития геолого-технических осложнений, аварий различного рода отклонений в технологическом процессе бурения, энерго-водо-материало-снабжение, связь, транспорт, оборудование и схемы специальных работ в скважинах (оперативный тампонаж, исправление, стабилизация трасс, спец. опробование).

В. Специальный вопрос:

Материалы самостоятельных наблюдений, экспериментов, разработок по программе, утверждённой руководителем, и материалы опытно-методических работ, проводившихся на месторождении, а также разработки предложений по совершенствованию существующих технических средств, способов предупреждения осложнений и аварий, способов контроля технологических процессов, проверки эффективности новых технологических материалов и инструментов, по теме, утверждённой руководителем.

Г. Материалы по экономике и организация:

Характеристики правового статуса предприятия и лицензирования его деятельности, структура управления предприятием и связь с государственными структурами, муниципальными органами, структура и объём налогов, нормативы и объёмы платежей, структура и объёмы затрат на производство работ по статьям расходов, экономические предпосылки разработки месторождения.

Д. Материалы по охране природной среды и безопасности:

Характеристики вредных и опасных воздействий на природную среду, средства и способы их нейтрализации; характеристика факторов, опасных для персонала и лиц, взаимодействующих с производством, средства защиты.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА НА БУРЕНИИ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

1. Структура задания на производственную практику

Первая производственная практика студента на предприятии, которое эксплуатирует месторождение геотехнологическим методом, организуется в соответствии с заданием, содержащим следующие основные разделы.

1.1. Характеристика выполняемых работ и условий их производства, применяемых технологий и технических средств

- Общее знакомство с предприятием и принципиальной технологической схемой эксплуатации месторождения геотехнологическим методом.
- Изучение конкретных геологических и гидрогеологических условий залегания продуктивных горизонтов, эксплуатируемых с помощью геотехнологических скважин.
- Изучение техники и технологии бурения и оборудования геотехнологических скважин на месторождении.
- Знакомство с методикой проектирования сети и конструкции технологических скважин, а также с методиками расчетов их технических, технологических и эксплуатационных параметров.
- Изучение организации труда, защиты окружающей среды при бурении и оборудовании геотехнологических скважин на месторождении.

1.2. Трудовая деятельность студента в период производственной практики

В период практики студент приобретает практические навыки, работая в должности помощника бурильщика при бурении и оборудовании технологических

скважин или оператора по наладке и контролю работы эксплуатационных скважин и технологического оборудования компрессорного и раствороподъемного оборудования. Допускается приобретение практических навыков в качестве стажера.

В результате приобретенных навыков студент должен уметь производить спуско-подъемные операции бурильной и обсадной колонн, управлять процессом бурения, получать кондиционные образцы керна, оборудовать технологические скважины фильтром, обсадкой и водоподъемной колоннами труб, раствороподъемниками, средствами контроля за технологическими эксплуатационными параметрами, осуществлять текущее техническое обслуживание бурового и технологического оборудования.

1.3. Сбор материалов для оформления отчета и подготовки к проектированию

Геологические и гидрогеологические материалы об условиях залегания продуктивного горизонта, а также количественные показатели его строения и фильтрационных свойств должны содержать следующие данные:

- характеристику геологического разреза с указанием вида, мощности, строения, физико-механических свойств, категории буримости и горнотехнических условий залегания горных пород;
- гидрогеологическую характеристику подземных вод с указанием пьезометрического уровня;
- глубины условий залегания продуктивного горизонта с оценкой водопроницаемости его кровли и почвы;
- строение продуктивного горизонта, показатели его трещиноватости и пористости, гранулометрические характеристики;
- коэффициенты фильтрации, проницаемости, анизотропии продуктивного горизонта.

Геологические материалы оформляются в виде геологической карты участка, геологических разрезов по эксплуатационным или разведочным профилям, геологических и гидрогеологических характеристик месторождения, результатов геофизических, геохимических и гидрогеологических исследований, а также в виде технологических схем эксплуатации месторождения геотехнологическим методом.

Технико-технологические материалы по технике и технологии бурения и оборудования геотехнологических скважин должны содержать:

- подробную характеристику конструкции технологических скважин;
- характеристику бурового оборудования, бурового и вспомогательного инструмента, применяемого при бурении геотехнологических скважин;
- технологию бурения скважин и технологию вскрытия и освоения продуктивного горизонта;
- способы геофизических исследований в скважинах;
- технологию оборудования продуктивного интервала в скважинах фильтрами, характеристику конструктивных элементов фильтра;
- конструкцию и технологию установки эксплуатационных колонн, способы цементации затрубного пространства, характеристику технологических цементирующих материалов;
- характеристику и конструкцию средств откачки;
- конструкцию элементов оборудования устья технологических скважин.

Технико-технологические материалы оформляются в виде геолого-технического наряда, технических схем оборудования и конструкции скважины, технологических схем и технических эскизов фильтров, средств откачки, описания технологических процессов и операций.

Материалы по охране окружающей среды должны содержать:

- перечень источников загрязнения окружающей среды и характеристику загрязняющих среду технологических материалов, применяемых при геотехнологическом методе эксплуатации месторождения;

- технические средства и технологические методы предупреждения проникновения из скважины технологических и продуктивных растворов в затрубное пространство, в проницаемые горные породы и за пределы охранной зоны;
- способы рекультивации и нейтрализации загрязненной поверхности на участке работ.

1.4. Работа над специальным заданием

Специальное задание на производственную практику студент получает для самостоятельного углубленного изучения одной из наиболее сложных и важных проблем техники и технологии бурения и сооружения геотехнологических скважин или для разработки предложений по совершенствованию существующих технических средств, способов предупреждения осложнений и аварий, способов контроля технологических процессов, проверки эффективности новых технологических материалов и инструментов.

Отчет о практике

Отчет составляется непосредственно в период прохождения практики на основании личных наблюдений, изучения проектных и отчетных документов предприятия, а также фондовых и производственных материалов.

Отчет о практике должен содержать следующие разделы:

1. Введение.
   1.1. Общая характеристика предприятия.
2. Топографическое описание района работ.
3. Геологическое строение участка работ.
   3.1. Физико-механические свойства пород.
4. Конструкция геологоразведочных скважин.
5. Технология бурения и сооружения геологоразведочных скважин.
6. Промывочные жидкости и промывочное хозяйство.
7. Характеристика бурового оборудования и инструмента.
8. Выход керна и мероприятия по его повышению.
9. Спуско-подъемные операции.
10. Крепление скважин.
11. Анализ осложнений и аварий.
12. Направленное бурение.
13. Гидрогеологические работы и исследования в скважине.
14. Ликвидационный тампонаж.
15. Монтаж, демонтаж и перевозка буровых установок.
16. Специальный раздел.
17. Охрана окружающей среды и охрана труда.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА НА БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

1. Структура задания на первую производственную практику

Производственная практика студента на предприятия, которые разведывают и эксплуатируют газовые и нефтяные месторождения организуется в соответствии с заданием, содержащим следующие основные разделы.

1.1. Характеристика выполняемых работ и условий их производства, применяемых технологий и технических средств:

- Общее знакомство с предприятием и принципиальной технологической схемой разведки и эксплуатации месторождения.
- Изучение конкретных геологических и гидрогеологических условий залегания продуктивных горизонтов. Общие сведения о горных породах, слагающих месторождение.
- Изучение техники и технологии бурения и оборудования скважин на месторождении.

- Знакомство с методикой проектирования сети и конструкции нефтяных и газовых скважин, а также с методиками расчетов их технических, технологических и эксплуатационных параметров.
- Изучение организации труда, защиты окружающей среды при бурении и оборудовании скважин на нефть и газ на месторождении

1.2. Трудовая деятельность студента в период производственной практики

В период практики студент приобретает практические навыки, работая в должности помощника бурильщика при бурении и оборудовании технологических скважин или оператора по наладке и контролю работы эксплуатационных скважин и технологического оборудования компрессорного и растворопоодъемного оборудования. Допускается приобретение практических навыков в качестве стажера.

В результате приобретенных навыков студент должен уметь производить спуско-подъемные операции бурильной и обсадной колонн, управлять процессом бурения, получать кондиционные образцы керна, оборудовать разведочные эксплуатационные скважины фильтром, обсадными колоннами труб, средствами контроля за технологическими эксплуатационными параметрами, осуществлять текущее техническое обслуживание бурового и технологического оборудования.

1.3. Сбор материалов для оформления отчета и подготовки к проектированию

Геологические и гидрогеологические материалы должны содержать следующие данные:

- характеристику геологического разреза с указанием вида, мощности, строения, ФМС, категории буримости и других условий залегания горных пород;
- гидрогеологическую характеристику подземных вод с указанием пьезометрического уровня.
- глубины и условий залегания продуктивного пласта.
- строение продуктивного пласта, показатели его пористости, трещиноватости.
- коэффициенты пористости, проницаемости продуктивного пласта.

Геологические материалы оформляются в виде геологической карты участка, стратиграфических и геологических разрезов по эксплуатационным или разведочным профилям, результатов геофизических исследований.

Технико-технологические материалы по технике и технологии бурения и оборудования нефтяных и газовых скважин должны содержать:

- подробную характеристику конструкции скважин;
- характеристику бурового оборудования, бурового и вспомогательного инструмента; применяемого при бурении скважин на нефть и газ;
- характеристику бурового раствора;
- технологию бурения скважин и технологию вскрытия и освоения продуктивного пласта;
- способы геофизических исследований в скважинах;
- конструкцию и технологию установки эксплуатационных колонн, способы цементации затрубного пространства, характеристику тампонажного материала и технических средств цементирования;
- схему обвязки устья при цементировании.

Технико-технологические материалы оформляются в виде геолого-технического наряда, технических схем оборудования и конструкции скважин, технологических схем и технических эскизов компоновки бурильной колонны, эксплуатационной колонны, описания технологических процессов и операций.

Материалы по охране окружающей среды:

- перечень источников загрязнения окружающей среды и характеристика загрязняющих среду технологических материалов, применяемых при эксплуатации месторождения;
- технические средства и технологические методы предупреждения проникновения из скважины технологических и продуктивных растворов в

затрубное пространство, в проницаемые горные породы и за пределы охранной зоны;
- способы рекультивации и нейтрализации загрязненной поверхности на участке работ.

1.4. Работа над специальным разделом

Специальное задание на производственную практику студент получает для самостоятельного углубленного изучения одной из наиболее сложных и важных проблем техники и технологии бурения и сооружения нефтяных и газовых скважин или для разработки предложений по совершенствованию существующих технических средств, способов вскрытия и освоения пластов, способов предупреждения осложнений и аварий, проверки эффективности новых технологических материалов и инструментов.

Отчет о практике

Отчет составляется непосредственно в период прохождения практики на основании личных наблюдений, изучения проектных и отчетных документов предприятия, а также фондовых и производственных материалов (см. прилож.)

Отчет о практике должен содержать следующие разделы:

1. Введение.
2. Геологические и гидрогеологические условия залегания продуктивных горизонтов. Характеристики пород-коллекторов (стратиграфический разрез).
3. ГТН(ы).
4. Конструкции нефтяных и газовых скважин.
5. Выбор бурового раствора.
6. Техника и технология бурения и сооружения нефтяных и газовых скважин.
7. Технология вскрытия продуктивных горизонтов и их освоение.
8. Разобщение пластов (выбор тампонажного цемента, цементировочного оборудования, контроль качества цементирования)
9. Характеристика бурового оборудования и инструмента.
10. Геофизические исследования.
11. Аварии и осложнения.
12. Охрана окружающей среды.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРАКТИКА ПО БУРЕНИЮ СКВАЖИН НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1. Структура и форма задания на первую и на преддипломную производственные практики на горнодобывающих предприятиях

1.1. Задание на производственную практику студентов:

- Перечень видов работ, технологий и буровых установок, на которых проводится практика: разведочные, эксплуатационные, технологические и другие типы скважин, которые бурятся с целью доразведки отдельных участков разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых, а также с целью добычи полезных ископаемых.
- Должности, выполняемые обязанности и требования к приобретаемым навыкам:
  стажер машиниста станка шарошечного бурения;
  стажер бурового мастера;
  помощник бурильщика.

Определение и регулирование параметров режимов бурения; очистка ствола скважины от бурового шлама промывочной жидкостью и сжатым воздухом; контроль износа шарошечных долот и буровых коронок; технический осмотр и сборка колонны бурильных труб; техническое обслуживание буровой установки.

- Сбор материалов

а) геологические материалы:

разрезы по различным типам скважин: разведочных, буровзрывных и т. д.; описание горных пород, их физические свойства; исследования, проводимые в скважинах: геофизические, гидрогеологические, геохимические;

б) технико-технологические материалы:

краткая характеристика бурового оборудования и инструмента; схема размещения оборудования и необходимых материалов на скважине; описание технологических операций при бурении; обоснование конструкции скважин и параметров режима бурения;

в) специальный вопрос

определяется руководителем производственной практики студента применительно к конкретному месторождению полезных ископаемых; студент углубленно изучает материалы по этому вопросу и разрабатывает конкретные решения его на альтернативной основе;

специальными вопросами в качестве примеров могут быть:

- природоохранные технологии буровых работ на месторождении;
- нейтрализация и утилизация бурового шлама и сточных вод;
- охрана поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения; технологическое обеспечение ее при разработке месторождения;
- мероприятия по предупреждению и устранению осложнений в бурении и аварий.

г) охрана труда на буровых работах:

правила и должностные инструкции по охране труда, которыми обеспечены инженерно-технические работники и специалисты, занятые бурением скважин;

сведения о контрольно-измерительной аппаратуре и защитных устройствах на буровых установках, их метрологической проверке;

организация буровых работ на предприятии.

Основная литература

№ п/п	Наименование
1	Башлык С.М., Загибайло Г.Т. Бурение скважин. М. : «Недра», 1990. – 477с.
2	Калинин А.Г., Ошкордин О.В. и др. «Разведочное бурение»: Учеб. для ВУЗов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.
3	Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование. Коллектив авторов под общей редакцией А. М. Гусмана и К. П. Порожского: Научное издание. Екатеринбург: УГГГА, 2002. – 592с.
4	А. И. Булатов, С. В. Долгов. Спутник буровика. Справ. Пособие в 2 кн.-М.: «Недра-бизнесцентр», 2006 г. 1 кн. 379 с., 2 кн. -534 с.
5	Репин А.Г. Краткий толковый словарь по газу и нефти (Brief gasoil glossary) / А.Г. Репин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Геоинформмарк, Геоинформ, 2006. — 128 c. — 5-98877-007-X. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16853.html
6	Буровые станки и бурение скважин. Бурение нефтяных и газовых скважин: лабораторный практикум / И.В. Мурадханов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2017. — 136 c. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/69376.html
7	Шамшев Ф. А., Тараканов С. Н., Кудряшов Б. В. Технология и техника разведочного бурения. – М.: Недра, 1983. – 564 с.
8	Козловский Е. А., Кардыш В. Г., Мурзаков Б. В. и др. Справочник инженера по бурения геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1984. – 512 с.
9	Афанасьев И. С., Блинов Г. А., Пономарев П. П. и др. Справочник по бурению геологоразведочных скважин. С-Петербург.: ООО Недра, 2000, - 712 с.
10	Правила безопасности при геологоразведочных работах. – М.: Недра, 1979. – 249 с.
11	Волков. А. С., Долсов Б. П. Вращательное бурение разведочных скважин. -М: Недра, 1988. – 318 с.
12	Волков А. С. Буровой геологоразведочный инструмент. – М.: Недра, 1979. – 285 с.
13	Справочник по бурению геологоразведочных скважин. – СПб.: ООО «Недра», 2000
14	Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование: научное издание / Коллектив авторов; под общей редакцией А. М. Гусмана и К. П. Порожского. Екатеринбург: изд-во УГГГА, 2002

Дополнительная литература

1. Волков А. С. Машинист буровой установки: учебное и справочное пособие. М.: ВИЭМС, МПР РОССИИ, 2003.
2. Михайлова Н. Д. Техническое проектирование колонкового бурения. М.: Недра, 1985.

Приложение 1

Пример выполнения титульного листа

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО

«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ РАЗВЕДКИ МПИ

ОТЧЕТ
О ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ

Руководитель_____
Студент_____
Группа _____

Екатеринбург 202__г.

Приложение 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

НАПРАВЛЕНИЕ НА ПРАКТИКУ

Студент

_____

(фамилия, имя, отчество)

____курса _____факультета

специальности _____ направляется в

_____

(наименование и адрес организации)

_____

для прохождения _____ практики с _____ по _____

Декан факультета _____

М.П.

Руководитель практики от университета_____

тел. кафедры: 8(343) _____

Отметка организации

Дата прибытия студента в организацию «____» _____ 20__ г.

Направлен _____

(наименование структурного подразделения)

Приказ № _____от «____» _____ 20__ г.

Практику окончил «____» _____ 20__ г. Приказ № _____

Руководитель практики от организации

_____

М.П (должность)

_____

(ф. и. о.)

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ НА ПЕРИОД ПРАКТИКИ

Содержание индивидуального задания

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Оценка выполнения индивидуального задания _____

_____
_____

График (план) прохождения практики

Период	Характеристика работы	Текущий контроль (выполнено/не выполнено)	Подпись руководителя практики от университета/ организации
1 день практики 01.07.2021	Проведение инструктажа в организации по технике безопасности и охране труда		
02.07.2021-03.07.2021	Создание конкретного представления о деятельности организации и соответствующего структурного подразделения		
…	…		
15.07.2021-30.07.2021	Выполнение заданий по поручению и под наблюдением бурового мастера: - ……; - … …;		

СОГЛАСОВАНО:

Подпись руководителя практики от университета _____

Подпись руководителя практики от организации _____

ХАРАКТЕРИСТИКА С МЕСТА ПРАКТИКИ СТУДЕНТА

_____

(фамилия, имя, отчество)

Заключение организации о работе студента за период практики (технологические навыки, деловые качества, активность, дисциплина, участие в общественной работе организации)

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Число пропущенных дней за время практики:
а) по уважительным причинам _____
б) по неуважительным причинам _____

«____»_____20__ г.

Печать и подпись руководителя организации _____ И.О. Фамилия

Отзыв

об отчете о прохождении практики студента
(заполняется руководителем практики от университета)

1. Выводы (характеристика отчета в целом, соответствие объема, содержания отчета программе):

_____
_____
_____
_____

2. Недостатки отчета:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Оценка по результатам защиты:

_____
_____

Руководитель практики от университета _____ И.О. Фамилия
(подпись)

«___» _____20__ г.

Приложение 3

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СТУДЕНТА НА ПРАКТИКЕ

Характеристика должна содержать указание на отношение студента к работе, оценку его теоретических знаний, умение применять теоретические знания на практике, степень выраженности необходимых личностных и профессиональных качеств, вывод руководителя практики о полноте выполнения индивидуального задания и отсутствии / наличии замечаний к прохождению практики студента

[Характеристика студента с места практики описывает его профессиональную подготовку, теоретические знания, практические навыки и деловые качества, которые он проявил в период прохождения практики. Писать документ нужно в официальном стиле, при этом необходимо указать в характеристике следующие сведения:

фамилия и инициалы обучающегося;
обязанности обучающегося в период прохождения практики;
профессиональные качества студента;
особенности студента, проявленные при общении с трудовым коллективом;
практические навыки, освоенные студентом;
оценку, выставленную студенту по результатам прохождения практики].

Главная цель составления характеристики студента с места практики — описание его профессиональной подготовки, а также новых знаний и навыков, которые он приобрел в процессе практической деятельности в конкретной организации. Подробная характеристика позволит руководителю практики со стороны учебного заведения объективно оценить ее эффективность и поставить обучающемуся справедливую оценку.

Например

Иванов Александр Александрович проходил профессиональную практику в соответствии с программой. В период прохождения практики Иванов А.А. зарекомендовал себя с положительной стороны, дисциплинированным практикантом, стремящимся к получению новых знаний, навыков и умений, нацелен на повышение своей будущей профессиональной квалификации.

В период практики Иванов А.А. ознакомился со структурой, основными направлениями деятельности, работой буровика, нормативными документами, регулирующими деятельность организации, спецификой функциональных обязанностей буровика и принял активное участие в текущей деятельности.

Под руководством опытного специалиста, бурового мастера…… осваивал технологию бурения, технику безопасности; порядок оформления, ведения документации, связанной с целевым назначением работ; способы бурения скважин, порядок составления установленной отчетности; возможности использования современных информационных технологий в работе горного инженера.

К поручениям руководителя практики и выполняемой работе относился добросовестно. Во время прохождения практики продемонстрировал знание теоретического материала, профессиональной терминологии…; умение применять теоретические знания на практике ….; продемонстрировал навыки проведения …., умение найти…. и применить их; грамотно оформлял документацию…..

Индивидуальное задание выполнено в полном объеме, замечаний к прохождению практики нет.

Практика Иванова А.А. заслуживает положительной оценки.

Руководитель организации _____ (подпись)_____ФИО

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА:

Размер шрифта основного текста: - кегль 14, формат А4, 1,5 интервал.
Нумерация страниц проставляется с третьей страницы в нижнем поле по центру.
Заголовки отделяются от основного текста сверху и снизу одним интервалом.
Шрифт заголовков выделяется жирным прописным или большим на 1-2 кегля.
По всему диплому соблюдается соподчиненность шрифтов разделов.
Красная строка – 1,5 см.
Раздел (глава) – часть – подчасть – подраздел.
Подзаголовок с трехзначной нумерацией в содержание не включается.
ВВЕДЕНИЕ не имеет нумерации!!!

ПРИМЕР

1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

1.1. Физико-географические условия участка…….....7
1.2. Гидрография.....11
1.3. Существующее водоснабжение 11
1.4. Геологическое строение района работ 13
1.5. Гидрогеологические условия района работ 25

Поля страницы:
верх – 2 см, низ – 2,5 + нумерация страницы, левое поле – 3 см., правое – 1,5.
Рисунок имеет название (под рисунком) и нумерацию как таблица и формула.
Таблицы:

Порядковый номер в разделе

Цифра раздела

Таблица 1.1

Название таблицы ОБЯЗАТЕЛЬНО!!

Глубина залегания и мощность пачек по скв.1

№ кв	Нижняя пачка		Средняя пачка		Верхняя пачка	
	Интервал глубин, м	Мощность, м	Интервал глубин, м	Мощность, м	Интервал глубин, м	Мощность, м
	Нижнебелебеевская подсвита					
	263,0-279,5	16,5	211,2-263,0	51,8	174,7-211,2	36,5

Размер кегля 10-12

Цифра раздела

$$p_1 = \lambda_1 \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho}{2 \cdot d_1} \cdot (l + l_э) \cdot 10^{-6}, \quad [\text{МПа}] \qquad (2.14)$$

Порядковый номер в разделе

где: ρ – плотность промывочной жидкости, *кг/м*^{3}, ρ=1040 *кг/м*^{3};
d_1 –внутренний диаметр бурильных труб, *м*, d_1= 0,0545м;
l – длина колонны бурильных труб, *м*, $l = L - l_{УБТ}$= 69 - 4,7= 64,3 *м*;
V_1 – скорость нисходящего потока промывочной жидкости, *м/с*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бродов Г.С.* Бурение и оборудование скважин на воду. – СПб, 2006. 154 с.
2. Технология и техника разведочного бурения. /Под ред. Шамшева Ф.А., Кудряшова Б.Б. и др./ - М.: Недра, 1983, 565 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

И МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЗНАКОМИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ

Екатеринбург

ПРЕДИСЛОВИЕ

В курсе «Общая геология», который читается студентам специальности 21.05.03 Технология геологической разведки Уральского государственного горного университета (УГГУ), предусмотрено проведение учебной геологической практики. Она является важной составной частью образовательного процесса, так как способствует формированию у студентов умения наблюдать, документировать и обобщать различного рода геологические факты. Все это – основа для закрепления теоретической части указанного курса. В итоге студенты приобретают определенную базу восприятия специальных учебных дисциплин геологического профиля.

Место проведения практики, которое включает обнажения в городе Екатеринбург и его окрестностях, в пределах листов О-41-XXV и О-41-XXXI, выбрано в связи с тем, что здесь на сравнительно небольшой площади расположены разнообразные объекты, которые характеризуются сложным геологическим строением и разнообразием горных пород и месторождений полезных ископаемых всех геодинамических обстановок, проявленных на Урале.

Студенты заочного обучения, работающие на предприятиях геологоразведочного и горного профиля с согласия преподавателя, могут проходить учебную геологическую практику на своем предприятии, предварительно получив для этого разрешение руководства учреждения.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

Геологическая ознакомительная практика после первого курса обучения студентов проводится в течение двух недель.

Цель практики: закрепление теоретических знаний и практических навыков студентов по общей и исторической геологии путем изучения результатов эндогенных и экзогенных процессов в натуре на природных геологических объектах и знакомство студентов с элементами документирования естественных и искусственных обнажений.

Задачи практики:

- ознакомление студентов с основами методики полевых геологических, геоморфологических и гидрогеологических наблюдений, с документацией полевых наблюдений, с некоторыми горнопромышленными предприятиями в окрестностях г. Екатеринбурга.

- обучение студентов свободному владению горным компасом при работе с картой и выполнении различных замеров на местности, документированию опорных разрезов, горных выработок и различных объектов при маршрутных наблюдениях, камеральной обработке полевых материалов и оформлению геологического отчета с необходимыми графическими приложениями;

Студенты, прошедшие геологическую практику, должны:

- знать основные геологические структуры земной коры на территории Среднего Урала и геологическую историю их развития;

- иметь представление об эндогенных и экзогенных геологических процессах, приводящих к образованию и преобразованию различных месторождений полезных ископаемых, о пространственно-временных основах геологии, базирующихся на методе актуализма, т. е. развитии процессов и геологических структур в пространстве и во времени;

- закрепить навыки и уметь определять минералы и горные породы как продукты различных геологических процессов; наблюдать и документировать обнажения и горные выработки, уметь вести абрис маршрута, полевую книжку; отбирать стандартные образцы для геологической коллекции; замерять элементы залегания горных пород и

трещиноватости горным компасом, составлять фрагментарные геологические схемы и планы, разрезы к ним; анализировать условия их залегания, возрастные взаимоотношения различных геологических образований как в обнажениях, так и на геологических картах и фиксировать все полученные материалы в геологическом отчете;

- отличать экзогенные процессы, обусловленные антропогенными факторами.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКИ

Геологическая ознакомительная практика проводится квалифицированными специалистами, имеющими соответствующее образование. Как любые геологические исследования, она состоит из трех основных этапов – подготовительного, полевого и камерального.

Подготовительный этап. В течение этого этапа со студентами проводятся лекции о целях и задачах экскурсий, формируются учебные бригады, собирается, закупается и выдается полевое снаряжение (рюкзак, полевая сумка, мешки под образцы, компас, фотоаппарат, рулетка, геологический молоток, лупа, саперная лопатка, складной нож, ручка, карандаш, офицерская линейка, медицинская аптечка) и документы (карты, полевой дневник, журнал образцов, этикетки), позволяющие фиксировать полученные наблюдения. Перечисленным снаряжением и документами должна располагать каждая учебная бригада. Полевой дневник должен иметь каждый учащийся. На подготовительном этапе дается форма дневника (полевой книжки) и другой геологической документации.

Для успешного проведения геологических экскурсий заранее необходимо осуществлять рад мероприятий, направленных на строгое выполнение правил по технике безопасности в полевых условиях. Прежде всего, нужно организовать медицинский осмотр всех экскурсантов и сделать предохранительные прививки.

Вторым обязательным мероприятием является ознакомление студентов непосредственно перед проведением экскурсий с правилами техники безопасности с росписью в соответствующей ведомости. Экскурсанты должны усвоить правила техники безопасности при 1) проведении маршрутов, 2) использовании автотранспорта, 3) обеспечении питьевой водой, 4) оказании доврачебной помощи.

В *полевой этап* проводятся геологические маршруты на хорошо обнаженные геологические объекты, сложенные различными метаморфическими, осадочными и магматическими породами; на месторождения полезных ископаемых различного генезиса.

Первые маршруты предусматривают усвоение студентами общих навыков работы в полевых условиях. С этой целью преподаватели рассказывают о методике полевых геологических объектов с теми или иными явлениями и процессами.

Выполнение маршрутного задания, прежде всего, зависит от четкой организации работы студенческих бригад в полевых условиях. Этому способствует предварительное распределение обязанностей между членами бригад перед очередным маршрутом. В каждом маршруте посменно одни студенты отвечают за составление абриса маршрута и привязку обнажений, другие за работу с горным компасом, за отбор образцов горных пород, фотографирование геологических объектов и т.д.

Объем геологической информации возрастает от маршрута к маршруту. Своевременная обработка этого материала определяет качество итоговых геологических документов. Основная форма проведения полевых геологических наблюдений – маршруты, которые являются составной частью учебного процесса. Количество их и содержание определяется целями и задачами, планом обучения и программой геологических экскурсий.

Практически во многих случаях маршруты являются комплексными, когда одновременно ведутся наблюдения над несколькими геологическими процессами и объектами. Целесообразность таких маршрутов обусловлена выявлением взаимосвязи

отдельных геологических процессов и явлений. Например, в одном маршруте полезно проследить связи между формами рельефа, литологией пород и тектоникой района, выходами подземных вод на поверхность и определенным стратиграфическим горизонтом, выветриванием и составом горных пород и т.д.

Необходимо особенно подчеркнуть, что *геологические наблюдения в маршруте должны вестись непрерывно.* Это означает, что после описания какого-либо объекта или процесса наблюдение за ним (ними) не прекращается, а продолжается в процессе всего маршрута.

Основная работа в маршрутах – изучение горных пород, осуществление тектонических, геоморфологических и других наблюдений и записи в полевой книжке проводятся на специальных остановках – точках наблюдения (Тн). По характеру изучаемых явлений "Тн" можно условно разделить на три вида: изучение и описание геолого-географических особенностей (тектоники, рельефа, деятельности подземных вод, выветривания и т.д.), изучение и описание горных пород и условий их залегания в обнажениях и, наконец, наиболее частый случай, когда исследуется и те, и другие вопросы. Остановка на "Тн" даже на небольшом объекте отнимает много времени, поэтому нужно выбирать каждую точку так, чтобы на такой точке породы были хорошо обнажены, легко доступны для наблюдения и вместе с тем обладали чертами, существенными для понимания строения района.

При остановке на "Тн", прежде всего, следует сориентироваться по сторонам света (по компасу, солнцу, часам или другим способом) и определить нахождение точки не карте и местности, т.е. дать адрес. Определение местонахождения производится методом засечек по азимутам на хорошо заметные элементы рельефа, гидрографии (вершины гор характерные излучины рек, устья ручьёв) или глазомерной привязки точки по азимуту и расстоянию, определяемому, например, шагами. После привязки наносят местонахождение данной "Тн" на карту год соответствующим номером (нумерация точек должна быть сквозная).

Изучая на точке геологическое строение отдельного участка, целесообразно, прежде всего, описать общегеологические явления - геоморфологию, гидрографию, тектонику и т.д. Переходя к описанию пород обнажения, прежде всего, отмечают его размер по высоте и ширине и тип (обрывистый склон, скальный выход на склоне, обнажения в русле рек, стенки и забои карьере или шурфа и т.д.). После этого приступают к описанию пород. В зависимости от целей и задач такое описание даётся либо в обобщенном виде, либо более подробно и послойно, либо по отдельным пачкам. В последнем случае лучше описывать слои и пачку снизу вверх (рис. 1). В описании пород должна быть приведена сжатая характеристика главных отличительных и генетически важных свойств пород: текстура, структура, минеральный состав, различные неоднородности, тектонические дислокации. В описании указываются элементы залегания слоистости, сланцеватости, крыльев складок или плоскостей сместителя и т.д. Отмечаются места взятия образцов и их нумерация. На левой стороне пикетажной книжки делаются зарисовки и указываются места фотоиллюстраций.

При описании пород целесообразен следующий порядок работы на обнажении. Прежде всего, студенты должны внимательно осмотреть обнажение, отобрать серию образцов, определить все имеющиеся здесь породы, выделить отдельные пласты или метасоматические зоны, контакты. Определить элементы залегания. Руководитель консультирует и направляет работу, как отдельных студентов, так и всей группы, и в итоге устанавливается общая картина обнажения. После этого делают полное описание, а затем схематическую зарисовку обнажения, которая дублируется фотографированием. При необходимости делают зарисовки и фотографии деталей обнажения.

В первых маршрутах и при изучении принципиально новых объектов преподаватель должен сам давать соответствующие описания. Позднее, когда школьники овладеют определёнными навыками и усвоят общую схему описания, можно поручить

одному из них рассказать о том, что он мог бы написать в своём полевом дневнике на данной "Тн". Остальные участники делают замечания и дополнения. Преподаватель обобщает все сказанное и формулирует данные для общей записи.

Камеральный этап. Камеральные работы проводятся последовательно после завершения одного или двух маршрутов и включает в себя время на составление отчёта и его защиты.

В камеральный этап выполняются следующие виды работ:

- обработка полевых книжек;
- занесение в каталог образцов;
- оформление рисунков к отчёту, изготовление и описание стратиграфических разрезов, схем и карт;
- изготовление фотографий, их ретуширование, при необходимости вынесение на них геологической информации;
- окончательное уточнение полевых определений горных пород и минералов, уточнение наименований окаменелостей с использованием атласа руководящих форм, составление рабочей коллекции каменного материала;
- написание и оформление отчёта;
- защита отчёта.

Главная цель написания отчёта - овладение навыками анализа и обобщения геологических наблюдений и умение геологически грамотно изложить результаты такого обобщения в отчёте, правильного подбора и изготовления графических приложении, составления списка литературы.

2.1. Документация при ведении геологических маршрутов

Обилие различного рода информации, получаемой в результате геологических исследований, разнообразие форм и методов обработки делают задачу систематизации и унификации первичных геологических данных чрезвычайно важной

Первичная геологическая документация при ведении геологических маршрутов включает: I) дневники (полевые книжки); 2) формы регистрации каменного материала - журналы образцов, проб и др.; 3) этикетки; 4) зарисовки обнажений, горных выработок, керна скважин, отдельных деталей геологических тел и т.п.; 5) фотографии естественных и искусственных обнажений и их деталей.

Ко всем видам первичной геологической документации предъявляются единые требования к её оформлению;

1. Все записи должны делаться максимально разборчиво, с тем, чтобы не создавать затруднений при их чтении.

2. Записи должны иметь стандартную форму и строгую последовательность перечисления признаков описываемого объекта.

3. Записи производятся простым карандашом или шариковой ручкой. Использование химических карандашей и чернил всех видов (в том числе фломастеров) воспрещается.

4. Во всех формах документации во избежание затирания записей следует оставлять поля с внешней стороны листа.

5. Рекомендуется все данные о номерах наблюдений, образцов, проб и элементах залегания выделять из текста отдельной строчкой или условным знаком (если для них не предусмотрена фиксация в специальных графах формы документации).

6. Все страницы дневников, пикетажных книжек и других сброшюрованных форм документации должны иметь сквозную нумерацию.

***Дневник (полевая книжка*)** – основной первичный документ регистрации геологических наблюдений всех видов (собственно геологических, поисковых, геоморфологических и др.). Он изготовляется в виде книжки в твердом переплете, покрытом дермантином или другим материалом, предохраняющем ее от сырости,

механических или иных повреждений. Рекомендуется использование материалов яркого цвета, хорошо заметных на фоне растительности и почвенного покрова.

Задняя крышка обычно имеет клапан, закрывающий торец книжки. На третьей странице обложки иногда изготовляется карман. С внутренней стороны клапана располагается держатель для карандаша (ручки).

Формат книжки допускается в пределах от 10-12 на 15-18 см (для кармана полевой одежды) до 13-15 на 20-22 см (для полевой сумки). Большие форматы не рекомендуются вследствие неудобства для использования в маршруте, меньшие - как неоправданно дробящие запись на чрезмерно короткие строки и затрудняющие ее чтение.

Рекомендуемый объем дневника - 100-130 листов. Дневник должен изготовляться из хорошей бумаги и нескольких листов кальки, миллиметровки.

На обороте переплета может помещаться перечень признаков, обязательных для наблюдения.

Титульный лист дневника должен содержать название организации, экспедиции (партий, отрядов), фамилию, имя, отчество исполнителя, даты начала и окончания дневника, номера точек наблюдений и адрес, по которому следует вернуть утерянный дневник.

На первой странице помещается оглавление дневника.

На второй странице помещаются условные обозначения к зарисовкам, список сокращений, принятых в тексте, и необходимые замечания. Далее при необходимости могут быть помещены вспомогательные таблицы и необходимые пояснения к ним.

На правой стороне дневника ведется запись наблюдений. Здесь же отмечаются взятые пробы, образцы и другие виды каменного материала.

Перед описанием маршрута, разреза и т.п. указывается день, месяц, год и цель работы. Описание каждой точки наблюдения начинается с красной строки. Привязка точки к местности или предыдущей точке помещается рядом с её номером и образует вместе с ним отдельную строку или абзац. Номера точек наблюдения рекомендуется выделить прямоугольными рамками, номера образцов и проб подчеркиваются или заключаются в овальную рамку. Измерение элементов залегания, радиоактивности, содержание химических элементов выделяются отдельной строкой.

На левой стороне дневника помещаются вспомогательные записи, облегчающие пользование документацией. На неё выносятся все номера образцов, проб и других видов каменного материала, номера фотографий (с указанием их содержания), могут выносится также элементы залегания. На этой же стороне помещаются зарисовки геологических объектов и их деталей, а также различные схемы для обнажений (отбора образцов и проб, расположение рисунков и фотографий и т.п.) для участков (расположение геологических тел на местности, кроки местности с расположением обнажений, горных выработок). Здесь же излагаются предположения и соображения исследователей, возникающие в процессе наблюдения, но требующие дальнейшего подтверждения или детализации.

В конце описания каждого маршрута должны быть приведены основные выводы исследователя и протяженность маршрута в км.

Законченный дневник подписывается исполнителем, проверяется и подписывается начальником (старшим геологом) партии (отряда, участка).

Формы регистрации каменного материала. Регистрация каменного материала начинается при документации геологических объектов и продолжается в течение всего процесса геологических работ и фиксируется в журнале образцов.

Журнал образцов предназначен для регистрации всех видов образцов и проб, взятых на протяжении полевого периода во время маршрутов, при описании обнажений, горных выработок и предназначенных для любых производственных и научных целей (изготовление шлифов и аншлифов, определение органических остатков, производство разнообразных анализов).

Журнал образцов заполняется непосредственно после маршрута или, если количество взятых образцов не велико, в камеральный день, но не реже одного раза в неделю. Журнал образцов заполняется шариковой ручкой. Желательно, чтобы записи в нем вел один и тот же сотрудник.

Этикетки для образцов рекомендуется печатать на плотной бумаге и брошюровать в виде книжек по 25-50-100 листов; обычный формат этикетки 10х10 или 10х13 см. В разделе "место взятия" для образцов из обнажений и высыпок указывается привязка к точке наблюдения, для скважин - интервал отбора, для горных выработок - глубина или интервал (в канавах) отбора. Этикетки заполняются на месте взятия данного образца. Заполнение этикетки обязательно для рыхлых и слабоцементированных пород. Для крепких пород в полевых условиях допускается подписывать только номер тушью или шариковой ручкой на лейкопластыре, наклеенном на образце. Такая маркировка рациональна, в особенности при отборе ориентированных образцов, когда кроме номера необходимо указывать ориентировку образца. В отдельных случаях допустимо также нанесение маркировки непосредственно на образец. С этой целью могут быть использованы баллончики с тушью (например, "Kaalmar") или цветной (предпочтительно красный) карандаш. В дальнейшем на каждый образец заполняется этикетка.

Номер образца дублируется на бумаге, в которую завернут образец, или на геологическом мешочке. Для образцов, взятых из скважин и горных выработок, указывается также глубина или интервал отбора.

Отдельная этикетка составляется для каждого шлифа. Размеры этикетки шлифа 6х5 см.

Самостоятельные формы этикеток размером 13х10 см рекомендованы для проб, отобранных из горных выработок, извлеченного керна и шлиховых проб.

Регистрационные данные отмечаются также на капсуле для хранения шлихов. Для капсул используется прочная бумага. При разделении шлиха на фракции используется капсула стандартных размеров - 16х22 см. Для отмытого неразделенного шлиха предпочтительнее использовать капсулу формата 21х30 см (размер стандартного листа) либо других размеров, соответствующих реальному объему шлиха.

Альбомы зарисовок и фотографий. Альбом для зарисовок изготавливают из плотной белой бумаги типа чертежной. Его размер не должен превышать 18х24 см. Такой размер позволяет делать достаточно крупные и детальные зарисовки, удовлетворяющие всем предъявленным к ним требованиям.

Альбом не должен содержать более 25 листов, так как со временем, при работе в полевых условиях, он неизбежно загрязняется, и зарисовки, выполненные ранее, могут быть испорчены. Рационально иметь в распоряжении несколько альбомов и заменять их по мере накопления зарисовок.

Альбом заключают в жесткий переплет из дермантина или из плотной материи типа коленкора. Задняя крышка переплета должна иметь клапан шириной около 5 см. На внутренней стороне переплета, на сгибе между внутренней крышкой и клапаном - гнездо для карандаша.

Первая страница альбома - титульный лист. В исключительных случаях для зарисовок могут быть использованы "альбомы для рисования", выпускаемые промышленностью.

Зарисовки выполняются только на одной (правой) стороне листа, где помещаются также все необходимые надписи и пояснения.

Страницы альбома должны иметь сквозную нумерацию. Каждому рисунку присваивается порядковый номер. Номера фотографий и их содержание, как указывалось выше, фиксируется в полевом дневнике. Специальной формы документации для них не предусматривается.

При наиболее ответственных съемках рекомендуется делать в дневнике записи о чувствительности пленки, диафрагме, выдержке, характере погоды и времени съемок.

2.2. Маршрутные наблюдения

Наземные маршруты в обнаженных районах дают основную массу данных по составу геологических тел и признакам полезных ископаемых. Они включают описание рядовых обнажений и промежутков между обнажениями, в которых наблюдения ведутся по высыпкам.

Описание маршрута состоит из следующих частей: 1) дата маршрута, 2) номер маршрута, 3) привязка района маршрута, 4) характеристика ожидаемых объектов наблюдения и цель маршрута, 5) привязка начала маршрута, 6) описание маршрута, 7) выводы по маршруту.

Номер маршрута обычно дается каждым исполнителем на протяжении всего сезона, однако если в дальнейшем намечается обработка на ЭВМ, необходимо каждому исполнителю выделить свою серию номеров.

Привязка района маршрута дается в таком виде чтобы его легко можно было находить на карте фактического материала. С этой целью указывается участок района, где проводится маршрут (бассейн реки, ручья, район крупной высоты, урочище и т.п.). Обязательно наличие всех таких названий на топографических картах. При проведении работ с применением аэрофотоматериалов в привязке указывается номера аэрофотоснимков, на которых расположен маршрут. Для маршрутов, проводимых на нескольких геодезических трапециях, обязательно указание номенклатуры трапеции. Для обработки материалов на ЭВМ привязка района маршрута дается в виде указания координат начала и конца его.

Привязка начала маршрута дается по отношению к четко определенным элементам рельефа и постоянным элементам топографической ситуации, созданным деятельностью человека (дороги и т.п.). В тех случаях, когда маршрут ведется с использованием аэрофотоснимков, привязка начала маршрута проводится после ориентирования и накола начальной его точки на аэрофотоснимке. Допустимо указание координат начальной точки.

Описание маршрута включает фиксацию всех наблюдений, проводимых над геологическими объектами, геоморфологическими элементами и т.д., а также выводов, к которым приходит геолог в процессе маршрута. По ходу маршрута описываются геологические образования и тектонические элементы, осуществляются поиски полезных ископаемых и сборы остатков ископаемой флоры и фауны, собираются материалы для выяснения природы расположенных в зоне маршрута контуров, отдешефрированных на аэрофотоснимках и других дистанционных материалах, геофизических и геохимических аномалий (их связь с геологическими телами, структурами и вещественным составом тел), отбираются необходимые образцы, пробы и т.д. Обязательно проверяются результаты дешифрирования аэрофотоснимков и интерпретации геофизических данных.

Каждая точка наблюдения включает запись на точке и запись по ходу между точками. Рекомендуется сначала записывать наблюдения на точке, а затем наблюдения по ходу следующей точки. В этом случае наблюдение на точке будет своего рода выводом из наблюдений по ходу. Таким "выводом" может быть, например, фиксация резкой смены пород в высыпках, другого стратиграфического подразделения, чем наблюдавшееся по ходу, обнаружение обнажения, в котором видны складки и т.п.

Выводы по маршруту завершают описание. Ими могут быть обобщенная характеристика состава изученных отложений, вывод о взаимоотношении интрузивов, толщ, разрывов, складок и т.п., об их генезисе, о перспективности признаков полезных ископаемых и др.

2.3. Документация обнажений

Документация естественных и искусственных обнажений является одним из основных источников геологической информации, в первую очередь сведений о составе геологических тел и горных пород и условиях их залегания. В соответствии с этим большое значение имеет степень единообразия геологического описания и соответствие его унифицированной схеме, обеспечивающей сопоставимость данных, полученных различными исследователями.

Геологические наблюдения всегда в той или иной мере специализированы применительно к специфике горных пород и геологических тел, слагающих изучаемый район, и образуемых ими структур.

Со времен выхода в свет "Полевой геологии" В.А. Обручева сложился перечень геологических признаков, отражающих минимально необходимый набор сведений об исследуемом объекте и подлежащих обязательному фиксированию в геологической документации. Модификации таких перечней в настоящее время легли в основу формализованной документации, ориентированной на решение задач автоматизированной обработки данных на ЭВМ.

Составление унифицированной схемы описания изучаемых объектов является обязательной частью подготовки к полевым работам. Наличие такой схемы обеспечивает необходимую полноту документации, а тем самым и ее качество.

Требования единой системы первичной документации, удобной для практического использования, диктуют также необходимость единообразной структуры записи. Схему последовательности описания целесообразно иметь каждому геологу в виде краткой памятки, которую следует помещать в качестве вкладки в полевом дневнике.

В описаниях геологических наблюдений можно выделить несколько смысловых полей:

- описание горных пород,
- описание сочетаний горных пород в пределах обнажения,
- описание залегания горных пород,
- выводы.

Описание горных пород имеет последовательность: название породы, структура, цвет, степень литификации, минеральный состав, морфология зерен, текстура, включения, прожилки, органические остатки, конкреции и секреции, контактовые поверхности геологических тел, отдельность, прочие характеристики - элементы залегания пластов в осадочных, потоков в эффузивных и сланцеватости в метаморфических породах, мощность осадочных слоев, потоков эффузивных и пластов метаморфических пород, а также характер эпигенетических изменений.

Описание сочетаний горных пород должно предусматривать характеристику признаков, перечень которых может изменяться в зависимости от того, какой тип пород является объектом исследования.

Осадочные породы:

а) чередование пород по вертикали в виде послойного описания;
б) переходы пластов по простиранию;
в) мощность каждого пласта или обобщенная характеристика;
г) характер поверхностей напластования;
д) соотношение выше- и нижележащих пластов - залегание согласное, согласное с размывом или несогласное.

Вулканогенные породы:

а) чередование пород по вертикали;
б) смена пород по горизонтали;
в) мощность каждого пласта или потока или ее обобщающая характеристика;
г) характер граничных поверхностей между пластами или потоками;

д) соотношение выше- и нижележащих пластов и потоков. Интрузивные породы - контакты и переходы разновидностей пород и их изменение на контактах.

Жилы и прожилки:

а) сочетание между собой;

б) изменения вмещающих пород на контакте;

в) выдержанность жил и прожилков и их мощность.

Для рыхлых отложений следует давать описание в следующем порядке:

а) название, размеры, минералогический состав и форма зерен, их соотношение по размеру;

б) цвет и запах;

в) наличие, содержание, размер и форма неорганических включений;

г) наличие и характер органических остатков;

д) влажность и плотность;

е) консистенция (для минеральных отложений) и степень разложенности (для торфов) - признаки особенно важные при гидрогеологических и инженерно-геологических работах;

ж) степень карбонатности основной части грунта и включений;

з) структура и текстура отложений.

Описание залегания горных пород включает измерение элементов залегания, характеристику складок, разрывов и т.д.

Измерение элементов залегания документируется в виде сокращенной записи азимута и угла падения, например, аз. пад. 340^0, $\angle$-30^0, или при вертикальном залегании - азимута простирания и угла падения, например, аз. прост. 340^0 $\angle 90^0$. Точность измерения в складчатых областях 5^0 для азимута и 2-3^0 для угла. При изменчивых углах падения или отсутствии уверенности в единообразии элементов залегания во всем обнажении и отсутствии видимых складок обязательно измерение в разных частях обнажения для определения среднего залегания с точностью до 4-5^0. Таких измерений необходимо сделать не менее 4-5. Разброс измерений в 20-30^0 обычно свидетельствует о наличии складок. Вычисление средних элементов залегания в этом случае недопустимо и должна быть составлена схема элементов залегания в обнажении. Словами отмечается опрокинутое залегание.

Описание складчатости. Описание единичной складки включает характеристику следующих признаков:

-текстурные элементы, образующие складку (пласты, слоистость, сланцеватость);

- форма складки;

- форма замка складки;

- форма шарнирной (осевой) поверхности;

- высота и ширина складки;

- элементы залегания слоистости на разных участках складки в количестве, достаточном для изображения характера изгибов слоев различной компетентности.

Описание обнажений. Описание естественных коренных обнажений проводится во время маршрутов. Нужно различать описание рядовых и ключевых (опорных) обнажений, которое проводится с разной степенью детальности.

Ключевым обнажением называется изолированный выход (или ряд сближенных выходов) коренных пород, в пределах которого наблюдаются стратиграфические взаимоотношения отложений, типичные интрузивные контакты, характерные структурные формы (складки, разрывы), сочетание структурных форм разного возраста и размера и т.п. Выявление ключевых обнажений, а также оценка степени их типичности и значимости могут быть осуществлены лишь после того, когда будет осмотрен более или менее обширный участок исследуемого района. Следовательно,

в большинстве случаев ключевые обнажения первоначально фиксируются в качестве рядовых и лишь потом подвергаются специальному детальному изучению.

Описание рядовых обнажений включает следующие операции:

- привязка обнажения к местности;
- осмотр обнажения;
- зарисовка или (и) фотографирование;
- описание обнажения и отбор образцов и проб.

Эти операции могут различным образом сочетаться при описании обнажений разного размера. При описании обнажений небольших размеров (до 15-20 м) привязка рядового обнажения к местности осуществляется в ходе маршрута, при котором оно было выявлено.

Осмотр обнажения начинается с определения его положения в рельефе (у подножья склона, на склоне, на водоразделе, в русле реки и т.п.) и оценки того, что оно действительно представляет коренной выход, а не оползень, отдельную скатившуюся глыбу и т.п. Эта оценка отражается словами "в коренном выходе", "в коренном залегании" и т.п. В процессе общего осмотра выясняются характер слагающих пород, условия их залегания и взаимоотношения; предварительно намечаются места отбора образцов и проб (они могут отбираться и на стадии осмотра).

Зарисовка и фотографирование рядовых обнажений осуществляется лишь в тех случаях, когда в них обнаруживаются какие-либо характерные особенности, представляющие значительный геологический интерес. Нередко такие обнажения в дальнейшем переходят в ранг ключевых.

Стратифицированные отложения, сложенные чередованием пластов различных пород, описываются послойно снизу вверх. Описание сверху вниз не рекомендуется как из соображения единства описания во всей геологической службе, так и из-за возможности засорения поверхности обнажения обломками вышележащих пород (это особенно мешает при описании и опробовании обнажений рыхлых образований и горных выработок).

Обнажения значительной протяженности рационально осматривать и описывать поинтервально. В качестве границ интервалов следует выбирать участки существенного изменения состава отложений или условий их залегания, смену пород или толщ и т.п. Осмотренная часть обнажения документируется, дается описание контактирующих толщ. Затем осматривается и документируется следующая часть обнажений и т.д. Если имеется возможность, то целесообразно заранее рационально разметить обнажение шагами или лентой на интервалы по 10-20 м. Для протяженных обнажений обязательно составление маршрутной схемы..

Образцы и пробы. Образцы горных пород представляют собой каменный документ, который хранится до завершения геологосъемочных и поисковых работ. По окончании работ часть образцов, достаточно полно характеризующая все возрастные подразделения района и типичные разновидности пород, выделяется в эталонную коллекцию и часть - в коллекцию обменного фонда. Остальная часть коллекции после окончания камеральной обработки сокращается. В соответствии с этим, к образцам эталонной коллекции и рядовым образцам могут быть предъявлены различные требования.

Образец для эталонной коллекции должен быть достаточно типичным для подразделения и разновидности пород. Нормальный размер его 9 х 12х 3 см. Обычное требование к образцу - наличие свежих поверхностей. Однако, как отмечал ещё В.А. Обручев, при недостатке времени для рядовых случаев необязательно заниматься выкалыванием стандартного образца, достаточно лишь, чтобы он имел три поперечных свежих скола. В дополнении к этому следует заметить, что в ряде случаев структурные и текстурные особенности породы значительно рельефнее видны на выветриваемой поверхности породы (а иногда только на ней!). В таких случаях сохранение выветрелой

поверхности обязательно. Многие образцы сопровождаются по сколам породы для шлифа обязательно из того же куска.

Образец и шлиф отмечаются в документации естественного или искусственного обнажения, из которого они отобраны, наносятся на зарисовку (если она делается), снабжаются этикеткой установленного образца и заносятся в каталог образцов.

Номер образца должен соответствовать номеру обнажения, точке наблюдения, горной выработке или буровой скважине. При отборе нескольких образцов они различаются прибавлением через дефис порядковой цифры, например, обр. I4-I, 14-2 и т. д, Применение букв для различения образцов (например, 14-А, 14-Б и т.д.) не рекомендуется, так как для протяженных обнажений и горных выработок и для скважин значительной глубины букв может не хватить. Самостоятельная (независимая от номера обнажения, скважины и т.п.) нумерация образцов воспрещается.

Пробы горных пород, полезных ископаемых и др. бывают нескольких видов:

- штуфные пробы - образцы горных пород 150-500 г, отбираемые из одного участка;
- сколковые пробы - составленные из небольших (10-25г) обломков породы, взятых в различных частях изучаемого обнажения или его обособленной части с расчетом получения общей массы пробы 150-500 г;
- бороздовые пробы - отбираются сплошной или пунктирной бороздой, пересекающей весь опробуемый объект при сечении борозды 10х5 или 20х10 см; применяется в основном при изучении полезных ископаемых для получения усредненной характеристики полезных компонентов во всем геологическом теле.

Все пробы, отбираемые из естественных обнажений, горных выработок и буровых скважин, обязательно включаются в их описание, их положение изображается на зарисовках. Пробы снабжаются этикеткой единого образца и фиксируются в журналах проб.

2.4. Графическая документация геологических объектов

Графическая документация в виде различного рода зарисовок и фотографий часто применяется в практике геолого-съемочных и поисковых работ, особенно при описании обнажений и геологоразведочных выработок. В настоящей главе содержатся общие рекомендации и специально рассмотрены правила графической документации геологоразведочных выработок, для которых зарисовка является обязательной частью всей документации. Содержание документации не рассматривается, так как оно изложено ранее.

Зарисовки и фотографии геологических объектов являются документами, которые в целом ряде случаев невозможно заменить словесным описанием. Известно, насколько трудно, пользуясь словесным описанием, найти в изученном геологическом объекте все то, что видел автор. Ведь любое описание неполно. Кроме того, язык описания достаточно бледен при фиксации деталей объекта и их пространственных соотношений, тогда как рисунок и фотография обладают наглядностью, т.е. позволяют с необходимой - степенью детальности получить информацию при рассмотрении документа, не пользуясь описанием.

Рисунок и фотография объективно передают все особенности и детали изученного геологического объекта, они дают возможность выделить главное в объекте, что присуще только ему и чем он отличается (или чем сходен) от других аналогичных объектов.

Чтобы рисунок или фотография обладали всеми свойствами документа - носителя объективной информации, они должны в той или иной форме иметь:

- точную географическую привязку;
- ориентировку плоскости рисунка или фотографии;
- масштаб;
- заголовок;
-пояснительные надписи;

- указания на авторство рисунка или фотографии (если они приводятся не в дневнике или журнале).

Графическое документирование любого геологического объекта предусматривает выполнение ряда операций, объемы и методы выполнения которых могут в достаточно широких пределах меняться в зависимости от цели работ и изучаемого объекта:

- подготовку фотоаппаратуры, принадлежностей для рисования, бумаги, дневников, компаса и т.д.;
- привязку - ориентирование плоскости рисунка или фотографии;
- при осмотре геологического объекта выделение отдельных частей и установление мест, где должны быть сделаны зарисовки или фотографии;
- разметка, ведущаяся как для облегчения зарисовок (соблюдение верных соотношений между частями объекта), так и для масштаба при фотографировании.

Под названием "Полевые зарисовки обнажений" объединяется большая группа графических документов, различающихся между собой содержанием и детальностью. Несмотря на то, что выполняемая человеком зарисовка передает его восприятие объекта, вследствие чего, казалось бы, является сугубо субъективной, она вполне объективно отражает облик и состояние объекта и является надежным документом.

Зарисовки в их практическом применении имеют ряд преимуществ перед фотографией. Даже при достаточном опыте и наличии всей необходимой аппаратуры и фотоматериалов хорошую фотографию геологического объекта получить не всегда возможно: объект съёмки может быть мало выразительным, могут быть неблагоприятные условия освещенности или погоды. Кроме того, детали геологического объекта, представляющие наибольший интерес, могут оказаться невыразительными вследствие слабой цветовой или тоновой контрастности. Во всех этих случаях получение удовлетворительного снимка практически невозможно, тогда как полевая зарисовка позволяет не только изобразить, но и подчеркнуть наиболее важные характеристики изучаемого объекта.

Зарисовка в отличие от фотографии не передает объект во всех подробностях, цель ее - максимально объективное изображение особенностей объекта, представляющих интерес для данного исследования. При этом все детали, не имеющие прямого отношения к целевому назначению рисунка, опускаются. Правильно выполненный и оформленный рисунок максимально лаконичен и вместе с тем обладает большой информативностью, четок и точен в изображении всего, что привлекло внимание исследователя.

Для того чтобы рисунок обладал всеми указанными свойствами и удовлетворял всем предъявлявшем требованиям, при его исполнении следует придерживаться определенных правил:

1) Масштаб зарисовки выбирается в зависимости от сложности изображаемого объекта и необходимой степени детализации. Масштаб должен быть выдержан на всей зарисовке во всех частях объекта. При необходимости отдельные части объекта, представляющие особый интерес, изображаются в более крупном масштабе, но уже на другом рисунке;

2) Зарисовки делаются четко и ясно, линиями различной толщины, без штриховки и тем более растушевки;

3) Второстепенные детали, вводимые в рисунок для масштаба (деревья, дома), выполняются схематически;

4) Зарисовка должна иметь географическую привязку, соответствующую привязке объекта в описании. Если на зарисовке изображается только часть объекта, делается привязка к объекту;

5) Плоскость зарисовки должна быть ориентирована;

6) Зарисовка должна иметь заголовок, необходимые поясняющие надписи и условные обозначения (в дневнике условные обозначения могут быть указаны в начале);

7) На рисунке указываются места, в которых делались измерения элементов залегания и их числовые значения и места отбора образцов и проб и их номера;
8) Все данные, помещаемые на рисунке, должны совпадать с записями в дневнике;
9) Запись в дневнике должна содержать ссылку на рисунок.

В соответствии с объектом и масштабом изображения, а также степенью его детальности можно выделить несколько типов зарисовок, различающихся техникой исполнения.

Схема – мелкомасштабная зарисовка, выполненная в условной манере, в приближенном или относительном масштабе. Ее назначение - пояснение записей в дневнике, указание на порядок записей или отбора образцов и т.д. Схема, поскольку она привязана к тексту дневника, обычно выполняется на левой стороне разворота. Если записи в дневнике ведутся шариковой ручкой, то и схему можно выполнять ею же. Схема снабжается надписями, поясняющими цель, с которой она выполнена, и детали изображения.

Зарисовки обнажений и их отдельных частей в зависимости от характера могут проводиться в проекции на вертикальную и наклонную плоскости, а также на разные плоскости, если обнажение расположено на склоне с уступом. В последнем случае зарисовка сопровождается дополнительной схемой, показывающей взаимоотношения и положение отдельных частей обнажения, спроецированных на разные плоскости, и указанием (текстовым или графическим знаком) на плоскость проекции. Соблюдение определенного масштаба и пропорций между отдельными частями обнажения достигается предварительной разметкой путем установки через определенное расстояние вешек или каменных пирамидок.

Крупномасштабные зарисовки отдельных частей обнажений выполняются с возможно более точным соблюдением масштаба и относительного расположения деталей, однако, без загромождения рисунка незначащими подробностями. Для выполнения такой зарисовки разметка обнажения делается более тщательно - обычно с помощью рулетки, натянутой поперек зарисовываемой площади, и в особо сложных случаях - двух рулеток (мерных реек, веревок с узлами и т.п.), натянутых крестообразно (горизонтально и вертикально) в плоскости рисунка.

Зарисовки разнообразных трещин и линейных тектонических структур проводятся с большой тщательностью и точностью в соблюдении размеров, ориентировки и их взаимного расположения. При этом рисуются только главные, наиболее характерные трещины. При изображении систем трещин необходимо дать представление о густоте трещин, принадлежащих к каждой системе. Все измерения помещаются на рисунке с указанием места, где они сделаны.

Фотосъемка в маршруте. Подготовка к маршрутной съемке начинается еще перед выездом на полевые работы. При изучении материалов предыдущих исследований: по району предстоящих работ составляется представление о его геологическом строении и возможных объектах фотографирования, достаточно полно характеризующих наиболее интересные особенности района в соответствии с задачами проектируемых полевых работ.

Порядок фотосъемки в маршруте. При фотографировании геологических объектов в маршруте не следует жалеть пленки: по возможности надо фиксировать все имеющее значение для целей исследования. Возможно, что встреченный объект уникален и случая зафиксировать его на пленку больше не представится. Даже если аналогичные объекты будут встречаться в дальнейшем, их надо фотографировать: снимки можно сравнить, отмечая черты сходства или, напротив, различия, зафиксированные объективом.

Фотосъемка геологических объектов представляет собой ряд последовательно выполняемых операций, каждая из которых в известной степени определяет качество будущего снимка.

1. Точка съемки выбирается с учетом характера объекта и цели, с которой делается снимок. При этом следует иметь в виду:

а) свет на объект должен падать спереди и несколько сбоку. Детали объекта при этом выглядят более контрастно, а сам объект приобретает объемность. Это особенно важно при фотографировании обнажений. Лучше всего для съемки подходит рассеяно направленный свет, которой дает солнце за тонким слоем облаков. При этом тени на объекте получаются не чрезмерно контрастными;

б) нормальная высота точки съемки соответствует уровню глаз человека. При этом фотография передает неискаженное представление об объекте - такое, каким видит его наблюдатель в обычных условиях.

2. Определение границ кадра и его композиция. В кадре должен помещаться фотографируемый объект целиком или его определенные детали, а в некоторых случаях и окружающее объект пространство (если необходимо зафиксировать взаимоотношения фотографируемого объекта с другими объектами или показать его положение в пространстве). В соответствии с этим граница кадра выбирается горизонтальной или вертикальной. Если с данной точки зрения изображение, размещающееся в кадре, не соответствует поставленной цели, границы кадра можно регулировать одним из следующих методов:

а) подойти ближе или, напротив, отойти подальше;

б) применить сменную оптику;

в) сделать панорамный снимок.

В кадре должно располагаться лишь то, что необходимо для цели документации.

3. Масштаб снимка должен быть показан в каждом кадре. Это достигается размещением в кадре предметов, которые могут служить масштабом: при фотографировании крупных обнажений - фигура человека, разметка вешками или пирамидами камней, при съемке деталей обнажений - молоток, компас и т.д., при съемке мелких деталей – линейка с сантиметровыми делениями.

3. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

Студенты, участвующие в геологических экскурсиях должны знать элементарные правила по технике безопасности. Опыт показывает, что незнание правил техники безопасности, пренебрежение, казалось бы, элементарными правилами влекут за собой несчастные случаи.

Геологические экскурсии должны проводиться по утвержденным в установленном порядке программам, в которых предусматриваются мероприятия по технике безопасности с учетом местных условий в соответствии с «Правилами безопасности при геологоразведочных работах».

Перед геологическими экскурсиями все студенты должны пройти медицинское освидетельствование и сделать предохранительные прививки против энцефалита.

Руководители экскурсий перед их началом обязаны провести специальный инструктаж всех щкольников об условиях экскурсий, правилам безопасности и дисциплине. Врач проводит инструктаж об оказании необходимой медицинской помощи на маршруте. О прохождении инструктажа каждый школьник расписывается в «Книге регистрации обучения и инструктирования по технике безопасности». В процессе проведения полевых работ руководители групп должны также систематически проходить дополнительный инструктаж о мерах предотвращения наиболее вероятных для данного района работ опасностей и несчастных случаев.

Каждый работающий, заметивший опасность, угрожающую людям, обязан принять зависящие от него меры для ее устранения и немедленно сообщить об этом своему непосредственному руководителю. Руководитель обязан принять меры к устранению

опасности; при невозможности устранения опасности прекратить работы, вывести работающих в безопасное место.

Запрещается во время работы и во время перерывов располагаться в траве, кустарнике и других не просматриваемых местах, если на участке работ используются транспортные средства.

Запрещается допускать к работе лиц в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения, а также в болезненном состоянии. Перед выходом группы в маршрут руководитель группы обязан:

а) проверить готовность группы к маршруту (обеспечить ее топоосновой, снаряжением, продовольствием, инструментом, защитными и спасательными средствами);

б) дать указание о порядке проведения маршрута, правилах передвижения применительно к местным условиям;

в) нанести на свою карту линию намеченного маршрута группы.

В дни, когда по прогнозу погоды затяжной дождь, сильный ветер, выходить в маршруты запрещается.

Если затяжной дождь, густой туман застают группу в пути, необходимо прервать маршрут, укрыться в безопасном месте и переждать непогоду.

Движение группы должно быть компактным, обеспечивающим постоянную зрительную или голосовую связь между людьми и возможность взаимной помощи. При оставлении кого-либо из участников маршрута с потерей видимости или голосовой связи старший группы обязан остановить движение и подождать отставшего.

В маршрутах каждому участнику рекомендуется надевать яркий шарф, косынку или рубашку для обеспечения лучшей взаимной видимости.

Запрещается употреблять в пищу неизвестные грибы, ягоды и рыбу во избежание возможного отравления.

Использование для питьевой воды минеральных источников, бальнеологические свойства которых неизвестны, запрещается, не рекомендуется также купаться в них.

При движении и на привалах необходимо соблюдать питьевой режим. Пить сырую воду из луж, ям и других поверхностных водоемов запрещается.

Особое внимание в маршрутах необходимо уделять мерам предупреждения тепловых и солнечных ударов. В жаркие безветренные дни работать с непокрытой головой не разрешается.

Одежда не должна стеснять движений при работе, обувь обязательно подбирается по ноге.

Для защиты от кровососущих насекомых рекомендуется надевать накомарники или периодически смазывать лицо, шею, руки репеллентами.

При проведении маршрутов в лесу особенно строго должны соблюдаться правила зрительной и голосовой связи.

Передвижение через лесные завалы разрешается только с соблюдением соответствующих мер предосторожности.

На участках, заросшей высокой и густой травой, рекомендуется начинать работу после высыхания росы.

При работе в лесу следует строго соблюдать меры пожарной безопасности.

Бросать в лесу непотушенные спички и окурки запрещается. Костры разрешается разводить лишь в местах, где исключена возможность возникновения пожара.

При малейшем признаке лесного пожара (запах дыма, гари, бег зверей и полет птиц в одном направлении) группа должна выйти к ближайшей речной долине или поляне.

При возникновении пожара необходимо приступить к его тушению с помощью всех имеющихся средств и одновременно сообщить об этом местным органам власти.

При передвижении по горелым лесам и торфяникам следует соблюдать особую осторожность.

При проведении маршрутов в местах распространения энцефалитных клещей рекомендуется плотно застегивать одежду и 3-4 раза в день осматривать тело и одежду.

При отборе образцов в выработках должны применяться меры по защите от падения кусков породы со склона и бортов выработки.

При одновременной работе двух или более проботборщиков не одном уступе расстояние между участками их работ должно быть не менее 1,5 м.

Если произошел несчастный случай или школьник почувствовал недомогание, то следует:

- прекратить работу, сохранить обстановку места происшествия, если это не представляет опасности для окружающих, и сообщить руководителю, вызвать скорую помощь.

При получении травмы оказать первую помощь пострадавшему, сообщить руководителю, при необходимости вызвать скорую помощь или отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение. Для оказания первой помощи при ранениях и кровотечениях необходимо на рану наложить стерильный бинт, предварительно смазать настойкой йода очищенный от грязи участок вокруг раны. При сильном кровотечении необходимо наложить выше раны жгут не более чем на 1.0 – 1.5 часа.

По окончании рабочего времени привести в порядок снаряжение и другие принадлежности. Провести мероприятия личной гигиены. Провести осмотр всех участников экскурсии на предмет обнаружения клещей.

Организованно пройти на автобусную остановку для возврата в город.

Ожидать транспорт разрешается только на посадочных площадках, а при их отсутствии – на тротуаре или обочине.

4. ПОЛЕВОЕ СНАРЯЖЕНИЕ

Вполне очевидно, что успешное проведение геологических маршрутов (экспедиций) в существенной мере зависит от обеспеченности участников соответствующим оборудованием, снаряжением и материалами. Подчеркнем специально, что при ведении полевых исследований все необходимое должно «быть под руками». При этом ничего не должно быть лишнего. В таблице приведен список необходимых «вещей» для полевой бригады, состоящей из 5 человек.

№ п./п.	Наименование оборудования, снаряжения и др.	Кол-во (шт.)
1	Полевая книжка (пикетажка)	5
2	Геологический молоток	1
3	Компас горный	1
4	Лупа с десятикратным увеличением	1
5	Карандаш простой (мягкий и твердый)	10
6	Транспортир	1
7	Авторучка шариковая	10
8	Рулетка 10 м	1
9	Сумка полевая	5
10	Рюкзак (желательно непромокаемый)	1
11	Мешочки пробные	20
12	Линейка 30 см	2
13	Фотоаппарат	1
14	Аптечка универсальная	1

5. ОФОРМЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ

В результате геологических экскурсий накапливается большой фактический материал: коллекции минералов и горных пород, остатки ископаемых животных и растений, образцы полезных ископаемых, графический материал. Все это может составить основу тематических выставок и стендов.

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

21.05.03 ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

Специализация № 3

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

Разработка дипломного проекта является завершающим этапом инженерного образования и профессионального обучения технологов геологоразведочного производства. Проект позволяет студенту синтезировать весь ранее полученный материал в целостную практическую разработку.

Предлагаемые методические указания подготовлены с учетом опыта предыдущих аналогичных разработок, однако содержат некоторые отличия как в требованиях к содержанию курсового проекта, так и в методических принципах, положенных в основу разработки.

Самостоятельная разработка полного комплекса проектных решений – от классифицирования месторождения и разработки разведочных кондиций до выбора, расчета и экономического обоснования средств и способов бурения на основе как реальных, так и условных исходных данных – составляет содержание дипломного проектирования.

Дипломный проект является одновременно как учебной разработкой, в ходе выполнения которой студент осуществляет синтез всего освоенного за период обучения в институте теоретического и практического материала, так и квалификационной работой, подтверждающей соответствие знаний, навыков и умений молодого специалиста требованиям квалификационной характеристики горного инженера по технологии и технике разведки месторождений полезных ископаемых.

Государственная итоговая аттестация представляет собой процесс итоговой проверки и оценки компетенций выпускника, полученных в результате обучения. Государственная итоговая аттестация выпускника высшего учебного заведения является обязательной и осуществляется после освоения образовательной программы в полном объеме. Цель итоговой государственной аттестации выпускников – установление уровня готовности выпускника к выполнению профессиональных задач.

Государственная итоговая аттестации выпускников, завершивших освоение основной профессиональной образовательной программы по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, специализация № 3 Технология и техника разведки МПИ осуществляется в форме подготовки к защите и защиты выпускной квалификационной работы. Выпускная квалификационная работа в соответствии с ОПОП выполняется в период прохождения преддипломной практики и представляет собой самостоятельную и логически завершенную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится специалист.

Трудоемкость государственной итоговой аттестации – 9 з.е.:

- подготовка к процедуре защиты выпускной квалификационной работы – 6 з.е.;
- процедура защиты выпускной квалификационной работы – 3 з.е.

Трудоемкость государственной итоговой аттестации				
кол-во з.е.	часы			
	общая	контактная работа	СР	
6	216	30	186	Подготовка к процедуре защиты выпускной квалификационной работы
3	108		108	Процедура защиты ВКР

1. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Цель выполнения выпускной квалификационной работы:

систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по специальности и применение этих знаний при решении конкретных научных и производственных задач;

развитие навыков ведения самостоятельной работы и применения методик исследования и экспериментирования при решении разрабатываемых в выпускной квалификационной работе проблем и вопросов;

выяснение подготовленности обучающихся для самостоятельной работы по задачам профессиональной деятельности, определенных ФГОС ВО специальности и соответствующей ОПОП.

Выпускная квалификационная работа выполняется, как правило, на материалах организаций (баз практики) с учетом проблем, требующих решения в данной организации.

Основными задачами, которые должен решить обучающийся при выполнении выпускной квалификационной работы являются:

обоснование актуальности и значимости выбранной темы работы с точки зрения теории и практики управления деятельностью предприятия, составление программы исследования;

изучение теоретических положений по проблеме, составление литературного обзора по проблеме исследования;

обоснование необходимости и возможности применения определенных современных методик принятия управленческих решений по задачам, поставленным в работе;

сбор необходимой для проведения исследования информации с привлечением первичных и вторичных источников и использованием адекватных методов;

разработка практических рекомендаций и предложений, их экономическое и организационное обоснование, необходимое и достаточное для решаемой задачи;

обобщение результатов проведенных исследований, формулирование выводов о степени достижения целей, поставленных в работе, и возможности практического применения предложенных разработок;

оформление ВКР в соответствии с нормативными требованиями.

При выполнении выпускной квалификационной работы обучающиеся должны *показать*, опираясь на полученные знания, умения и полученные навыки:

сформированные универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции;

способность самостоятельно решать на современном уровне задачи своей профессиональной деятельности;

навыки постановки исследовательской проблемы, ее самостоятельного обсуждения, анализа возможных вариантов ее решения;

способность грамотно излагать специальную информацию, аргументировать и защищать свою точку зрения;

умение самостоятельного квалифицированного библиографического поиска, изучения и анализа научной литературы по теме;

навыки использования методологических, историко-философских и конкретных знаний, полученных в процессе обучения, для решения поставленной в работе проблемы;

умение написания профессионально грамотного текста и оформления его в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научным публикациям;

использование в работе современных технологий.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При составлении дипломного проекта студент пользуется главным образом материалами, составляющими отчет по преддипломной производственной практике – задание на практику строится в соответствии с задачами дипломного проектирования. Однако преподаватель – руководитель дипломного проектирования может вносить коррективы в исходные материалы, дополняя их условными данными.

3. СТРУКТУРА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА И СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАЧ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В процессе работы над каждым из разделов дипломного проекта студенту предстоит самостоятельное решение следующих конкретных задач (табл. 1).

Таблица 1

Структура дипломного проекта

Содержание проекта	Ориенти-ровочное кол-во стр.	Демонстрационная графика
Введение (дается оценка значимости месторождения и необходимости проектирования и проведения буровых работ)	1-2	
1. Общая часть 1.1. Общие сведения о районе работ (географическое положение, наличие дорог, путей сообщения, источников энергии, топлива, стройматериалов, рабочей силы, технической и питьевой воды)	7-10	Обзорная карта района работ
2. Геологическая часть 2.1. Геологическое описание района работ. 2.2. Геологическое описание месторождения. 2.3. Методика поисковых или разведочных работ (с обоснованием групп скважин по глубине и их количества)	10-15	1. Геологическая карта участка разведки. 2. 2-3 геологических разреза.
3. Производственно-техническая часть 3.1. Характеристика условий бурения и прочностных свойств пород, слагающих геологический разрез. 3.2. Обоснование технологии бурения скважин и расчет технологических параметров. 3.3. Выбор, расчет и комплектация бурового и энергетического оборудования, технологического инструмента и контрольно-измерительной аппаратуры (КИП). 3.4. Специальные работы в скважинах (тампонаж, цементация, бурение дополнительных стволов, гидродинамические исследования, геофизика, откачки и т. п.) 3.5. Предупреждение и ликвидация аварий и осложнений при бурении	3-5 10-15 8-13 2-3 2-3	1. Геолого-технический наряд. 2. Чертежи специальных снарядов или их схемы. 3. Графики, показывающие влияние режимных параметров бурения на показатели бурения (например, затраты мощности). 4. Расчетные схемы. 5. Иллюстрации к спец. работам в скважинах. 6. Чертежи или схемы оригинального аварийного инструмента
4. Специальный раздел (Разрабатываются пути решения проблем технического, технологического и экономического характера при бурении скважин, имеющие специфику для данного месторождения или района работ)	10-15	Чертежи, схемы, графики или таблицы, иллюстрирующие тему спец. вопроса

ВВЕДЕНИЕ

При разработке раздела «Введение» студент должен кратко изложить свое представление о целях и задачах проектируемых геологоразведочных работ, указать источники используемых при проектировании исходных данных, привести перечень главных географо-экономических условий производства работ.

3.1. Геологическая часть

3.1.1. Описание и классифицирование месторождения

Описание и классифицирование месторождения готовится на основании материалов производственной практики, условных данных и материалов учебно-справочной литературы.

При описании месторождения предельно кратко воспроизводятся основные данные о генезисе и структуре месторождения, развитии в его пределах магматических и постмагматических процессов, тектоники, процессов рудообразования и т. д., а также гидрогеологической обстановки.

Дается подробная характеристика горных пород и руд, породообразующих и рудных минералов, описание структурно-текстурных особенностей пород и особенностей их физического состояния (проницаемость и пористость, развитие трещин и карстовых явлений, вторичных изменений).

Студент должен выполнить и представить генетическое и промышленное классифицирование месторождения, отнести его к определенной группе сложности, обосновать стадию разведки, сформулировать вытекающие отсюда условия разведки и геолого-промышленной оценки месторождения, включая составление перечня основных разведочных кондиций.

3.1.2. Проектирование разведочного комплекса

Проектирование разведочного комплекса включает разработку схемы опробования и определение параметров разведочной сети и должно выполняться студентом в соответствии с требованиями и по исходным условиям, задаваемым преподавателем-консультантом. Задаваемые исходные условия должны исключать механическое переписывание проектных материалов геологоразведочных предприятий. Все материалы раздела сопровождаются иллюстративной и демонстрационной графикой, выполненной в соответствии с ГОСТом. Должны быть представлены все виды проектируемых работ.

3.2. Технико-технологическая часть

Допуск студента к работе над технико-технологическим и последующим разделами дипломного проекта производится руководителем только на основании письменного отзыва-заключения преподавателя-консультанта по геолого-методической части дипломного проекта.

3.2.1. Анализ геолого-технических условий

Анализ геолого-технических условий начинается с перечня технологических задач и особенностей сооружения скважин, обусловленных задачами разведки и комплексом требований к результату буровых работ: размер, сохранность и способ отбора проб, глубина, диаметр и наклон ствола, способ крепления стенок и применимость тех или иных видов промывочных жидкостей, тампонажных материалов и реагентов; требований к состоянию околоствольной зоны скважины (гидропроницаемость или гидроизоляция коллекторов подземных вод, сохранение естественного химического и компонентного состава подземных вод в околоскважинном пространстве, естественной электропроводимости стенок и т. д.), в зависимости от применяемых методов разведки.

Технологическая типизация разреза заключается в оценке разреза в целом по соотношению рыхлых отложений и скальных пород, устойчивых и неустойчивых интервалов, водопроницаемых и водонепроницаемых зон, степени перемежаемости и анизотропности пород, глубине и крутизне залегания рудных тел. Содержание такой

оценки (содержание раздела) состоит в последовательной фиксации ограничений возможностей применения элементов технологии, начиная от предельно общих (способ разрушения горной породы, вид крепления, тип промывки) до детальных (тип резца коронки, тип шарошек, угол заточки и наклон режущих элементов). Результатом оценки (выводом по разделу) является краткая целостная формулировка признаков неблагоприятности: указание характеристик разреза и соответствующих комплексов технологических элементов, не применимых в данных условиях. Проектное решение, полученное в результате типизации разреза, поясняется графической схемой взаимосвязи факторов, причинно-следственных связей и т. д.

Анализ инженерно-геологических и гидрогеологических характеристик включает в себя:

- оценку степени устойчивости, механической и гидравлической стойкости пород разреза;
- оценку степени трещиноватости пород и трудности отбора керна;
- характеристику параметров гидропроницаемости и гидродинамического режима подземных вод.

Анализ выполняется по отдельным однородным в инженерном и гидрогеологическом отношениях блокам и интервалам.

В этом же разделе могут приводиться характеристики параметров естественного искривления.

Анализ физико-механических свойств включает в себя определение прочностных (твердость по штампу, коэффициент Протодьяконова, коэффициент динамической прочности и т. д.), деформационных (пластичность, хрупкость) и других, имеющих технологическое значение свойств (абразивность, смачиваемость, плотность и др.), а также определение категории буримости каждой из петрографических разностей, представленных в разрезе.

3.2.2. Выбор и обоснование способа бурения и основных технологических схем

Выбор и обоснование способа бурения и основных технологических схем предполагает сопоставление возможностей различных типовых технологий бурения и технологических схем (промывка, отбора проб, СПО) в отношении качества и эффективности решения задач разведки (раздел 1) в данных геолого-технологических условиях (раздел 3.2.1). Сопоставляться могут все применяемые в настоящее время типовые технологии и технологические схемы по всем значимым геолого-методическим (задачи разведки) и геолого-техническим факторам. Проектное решение должно поясняться графической схемой.

3.2.3. Проектирование конструкции скважин

Проектирование конструкции скважин содержит описание схемы построения конструкции скважины, исходя из геолого-методических и геолого-технических условий, составление формулы (кода) конструкции скважины, сравнение ее с типовой конструкцией, рекомендуемой для полезного ископаемого данного вида, и объяснение различий, а также построение графической схемы.

3.2.4. Выбор технологического оборудования и инструмента

Перечень задач проектирования при разработке данного вопроса включает в себя:

- выбор скважинного снаряда, пробоотборника, гидроударной машины и т. д. для каждого из интервалов разреза на основе задач разведки, геолого-технических условий бурения, избранного способа бурения и конструкции скважины с указанием предпочтений избранного решения над другими возможными вариантами;

- выбор породоразрушающего инструмента (ПРИ) сопоставлением отдельных паспортных характеристик и конструктивных параметров с физико-механическими свойствами горных пород;

- выбор бурильной колонны, соответствующей способу бурения, конструкции скважины, скважинному снаряду и ПРИ, а также ее эксплуатационный и прочностной расчет;

- выбор буровой установки, соответствующей ранее выбранным проектным решениям и расчет ее эксплуатационных возможностей;

- выбор специального и аварийного инструмента, составление спецификации оборудования и инструмента.

3.2.5. Разработка режимов бурения

Включает в себя комплекс вычислений, имеющих учебное (выявление взаимосвязей факторов) и проектное решение. Результаты технологических расчетов иллюстрируются в ГТН, графиками, схемами и диаграммами.

3.2.6. Специальные технологические мероприятия

Разработка данных мероприятий осуществляется путем изучения, анализа и обобщения опубликованного производственного опыта и результатов исследований по каждому из направлений: отбор керна, направленное бурение, предупреждение осложнений. Ликвидация аварий.

3.3. Разработка технологической инфраструктуры и вспомогательных мероприятий

Рассматриваются вопросы энерго-водообеспечения и организации соответствующих коммутационных сетей, а также транспортных сетей и коммуникаций.

3.3.1. Электроснабжение буровых работ

Студент разрабатывает схему электроснабжения бурового агрегата, подбирает технические средства и материалы.

3.3.2. Водо-глиноснабжение буровых работ, приготовление и очистка промывочных жидкостей

Раздел посвящен разработке схемы и технического обеспечения доставки, приготовления, очистки и хранения промывочных жидкостей, эмульсий, смазок, тампонажных смесей и реагентов.

3.3.3. Разработка схемы транспортных коммуникаций

Раздел посвящен выбору транспортных средств, устройству и размещению временных дорог и подъездных путей.

Разработка природоохранных (раздел 3.3.4) и трудоохранных (раздел 3.3.5) мероприятий требует от студента ознакомления с соответствующей нормативной документацией.

3.3.4. Специальный раздел

Данный раздел дипломного проекта представляет собой самостоятельную техническую (конструкторскую) или технологическую разработку (исследование) одного из технико-технологических вопросов в рамках темы дипломного проекта. Для специального раздела можно избрать усовершенствование какого-либо из устройств, схем, узлов деталей, принятых к использованию в проекте или совершенствование технологии бурения.

В «Заключении» студент дает собственную характеристику выполненной работы: оценивает глубину проработки, степень решения поставленных задач, отмечает наиболее тщательно проработанные и удачные вопросы, а также вопросы, которые по тем или иным причинам разработаны хуже, отмечает особенности и новые, нестандартные решения.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И РАСЧЕТУ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Выбор бурового оборудования необходимо производить с подбором проверочного прочностного расчета колонны бурильных труб. Последняя выбирается на основе геолого-технических и технологических условий проведения буровых работ и обосновывается соответствующим способом бурения, конструкцией скважины, а также технологическими режимами ее работы. После выбора типа колонны необходимо привести технические характеристики труб и соединительных элементов:

- наружные диаметры труб и соединений;
- внутренние диаметры труб и соединений;
- параметры резьб труб и соединений (диаметры резьб у торца труб и наименьшие диаметры муфтово-замковых или ниппельных соединений);
- аналогичные параметры ЛБТИ УБТ, если они предусматриваются. Кроме того, приводятся механические свойства стали, из которой изготовлен буровой снаряд;
- марка стали;
- предел прочности при растяжении;
- предел текучести;
- относительное удлинение;
- твердость.

После выбора конкретного типа колонны бурильных труб производится ее проверочный расчет с целью:

- определения необходимых затрат мощности для бурения скважин выбранной колонны;
- определения величин нагрузок, возникающих в колонне при различных геолого-технических условиях встречающихся на объекте;
- определения предельных значений величин чисел оборотов и осевой нагрузки на забой, обеспечивающих безаварийную работу выбранной колонны.

Все расчеты целесообразнее производить на компьютере поскольку полученные расчетные значения затрат мощности, нагрузок в различных частях колонны и предельных значений режимных параметров бурения будут существенно различаться, и объем вычислений может быть достаточно большим.

В результате проведенного расчета необходимо дать аргументированный вывод, подтверждающий правильность выбора колонны и конкретные рекомендации по безопасным режимам бурения выбранной колонны.

4.1. Методика расчета колонны бурильных труб

Прочностной расчет производится для верхней и нижней части колонны бурильных труб, а также для «нулевого сечения».

4.1.1. Расчет напряжений в верхней части колонны

Здесь необходимо произвести расчет возникающих в колонне растягивающих напряжений – $\sigma_р$, и касательных напряжений – τ, поскольку и при бурении с «разгрузкой» и подъеме колонны с вращением механизм подачи станка удерживает колонну в подвешенном состоянии или поднимает ее.

Отличные формулы при расчете:

$$\sigma_р = Q_{кр}/F; \quad (4.1)$$

$$Q_{кр} = Q \cdot K ; \quad (4.2)$$

$$Q = \alpha \cdot q \cdot L \, (\sin\theta + f \cos\theta) \, (1 - \gamma_ж/\gamma_т); \quad (4.3)$$

$$\tau = M_б/W_р ; \quad (4.4)$$

$$M_б = N_б/\omega \quad (4.5)$$

где $Q_{кр}$ – нагрузка на крюке, H; Q – вес снаряда; F – мин. площадь поперечного сечения трубы или соединения, м^2; K – коэффициент прихвата снаряда в скважине, м^2 (1,1+2,0); q – вес 1м бурильных труб, H; α – коэффициент, учитывающий массу соединений, для замковых = 1,3, для ниппельных = 1,0; L – длина скважины, м; θ – угол наклона скважин к горизонту, град; f – коэффициент трения материала труб о горную породу; $\gamma_ж$ – удельный вес промывочной жидкости, н/м^3; γ – удельный вес материала труб ($5 \cdot 10^4$ – ЛБТ, $7 \cdot 10^4$ – СБТ, н/м^3); $M_б$ – крутящий момент, возникающий при бурении, H·м; $N_б$ – мощность, затрачиваемая на разрушение забоя и трение колонны о стенки скважины, кВт; ω – угловая скорость вращения снаряда, с$^{-1}$; $W_р$ – полярный момент сопротивления опасного сечения, м^3.

Величина ω определяется так:

$$\omega = (\pi \cdot n)/30, \quad (4.6)$$

где n – число оборотов бурового снаряда при бурении, об/мин.

Величина $W_р$ определяется так:

$$W_р = (d_Н^4 - d_В^4)/d_Н, \quad (4.7)$$

где $d_Н$ – наружный диаметр бурильных труб с учетом износа, м; $d_В$ – внутренний диаметр бурильных труб с учетом износа, м.

Затраты мощности на разрушение забоя и трения трубы о стенки скважин определяются следующим образом:

$$N_{тр} = K_1 \cdot K_2 \cdot \alpha \cdot K_3 \cdot [\, 1{,}73 \cdot 10^{-5} \cdot (0{,}9 + 20 \cdot \delta) \cdot$$
$$D \cdot [g / (EJ)^{0{,}16}] \cdot n^{1{,}85} \cdot L^{0.75} \cdot (1 + 0{,}44 \cdot \cos\theta) + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \delta \cdot n \cdot p], \quad (4.8)$$

$$N_З = 2{,}67 \cdot 10^{-5} \cdot (\mu_0 + A \cdot \Delta V) \cdot (D_Н + D_В) \cdot p \cdot n, \quad (4.9)$$

$$N_б = N_{ТР} + N_З, \qquad (4.9\ а)$$

где $N_{тр}$ – мощность, затрачиваемая при вращении колонны бурильных труб, кВт; $N_З$ – мощность, затрачиваемая на разрушение породы на забое, кВт; K_1 – коэффициент, учитывающий применение антивибрационной смазки при бурении (1,1+1,3); K_2 – коэффициент, учитывающий разработку ствола скважины при бурении и состояния стенок, (1,0+1,8); α – коэффициент, учитывающий тип соединений элементов бурильной колонны (муфтово-замковые – 1,3, ниппельные – 1,0); K_3 – коэффициент, учитывающий состояние и кривизну бурильных труб. Изменяется от 1,0 для импортных труб до 1,6 для изготовленных в мастерских экспедиций; δ – зазор между бурильными трубами и стенками скважины, м; D – диаметр скважины, м; n – частота вращения бурильных труб, об/мин; EJ – жесткость бурильных труб, $Н·м^2$; L – глубина бурения, м; g – масса 1м бурильных труб; θ – угол наклона скважины к горизонту, градус; p – осевая нагрузка, H; μ_0 – коэффициент, учитывающий трение коронки о породу (значения приведены в таблице 4.1); A – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства породы и характер ее разрушения (значения приведены в таблице 4.1); ΔV – величина углубления коронки за один оборот, мм/об (значения приведены в таблице 4.2); $D_Н$, $D_В$ – наружный и внутренний диаметр коронки, м.

Таблица 2

Значения параметров μ_0 и А для различных типов породоразрушающего инструмента

Тип породоразрушающего инструмента	μ_0	А
Алмазная однослойная коронка	0,03 – 0,05	2,4 – 3,5
Алмазная импрегнированная коронка	0,06 – 0,1	5 – 6
Твердосплавная коронка	0,1	2
Специальные твердосплавные коронки при гидроударном бурении	0,04	0,32

При расчете затрат мощности по формулам 4.8 и 4.9 необходимо, изменяя такие параметры K_1, K_2, K_3, α, а также n и p, проанализировать полученные величины и учесть их при дальнейшем расчете колонны бурильных труб.

максимальное – для частот более 300 об/мин); $\rho_{жн}$ – плотность закачиваемой в скважину промывочной жидкости, $кг/м^3$.

Таблица 3

Значения величин подачи коронки за один оборот

Способ бурения	Категория пород	Величина подачи за один оборот, мм
Вращательный, однослойными алмазными коронками	VIII-IX	0,07
Вращательный, импрегнированными алмазными коронками	VIII-IX	0,055
Ударно-вращательный высокочастотный, алмазными коронками	VIII-IX	0,4
Вращательный, твердосплавными коронками	VIII-IX VI-VII	0,125 0,200

Итоговое напряжение, возникающее в верхней части колонны бурильных труб, определится следующим образом:

$$\sigma = \sqrt{(\delta_p^2 + 4 \cdot \tau^2)}\,, \qquad (4.10)$$

при этом должно выполняться условие:

$$\sigma_\Sigma \le [\,\sigma_{доп}\,]\ , \qquad (4.11)$$

Таблица 4

Характеристика бурильных колонн

Тип колонн бур. труб	Масса 1м труб, кг	Модуль Юнга Е, $Н/м^2$	Осевой момент инерции поперечного сечения труб, м
СБТН-33,5	3,70	$2{,}1 \cdot 10^{11}$	$4{,}4 \cdot 10^{-6}$
СБТН-42	4,62	$2{,}1 \cdot 10^{11}$	$9{,}6 \cdot 10^{-6}$
СБТН-54	6,26	$2{,}1 \cdot 10^{11}$	$22{,}0 \cdot 10^{-6}$

СБТН-68	8,31	$2{,}1\cdot10^{11}$	$46{,}3\cdot10^{-6}$
ЛБТН-34	2,30	$0{,}7\cdot10^{11}$	$5{,}7\cdot10^{-6}$
ЛБТН-42	3,10	$0{,}7\cdot10^{11}$	$12{,}4\cdot10^{-6}$
ЛБТН-54	4,75	$0{,}7\cdot10^{11}$	$34{,}1\cdot10^{-6}$
ЛБТН-68	5,50	$0{,}7\cdot10^{11}$	$75{,}6\cdot10^{-6}$
СБТМ-42	5,20	$2.1\cdot10^{11}$	$10{,}3\cdot10^{-6}$
СБТМ-50	6,90	$2{,}1\cdot10^{11}$	$19{,}7\cdot10^{-6}$
ССК-46	4,54	$2{,}1\cdot10^{11}$	$10{,}8\cdot10^{-6}$
ССК-59	5,94	$2{,}1\cdot10^{11}$	$24{,}5\cdot10^{-6}$
ССК-76	7,72	$2{,}1\cdot10^{11}$	$53{,}5\cdot10^{-6}$
КССК-76	8,00	$2{,}1\cdot10^{11}$	$41{,}2\cdot10^{-6}$

4.2. Порядок выполнения и оформления расчетов

Расчет выполняется в следующем порядке (соблюдение порядка расчета обязательно!):

1. Составляются таблицы исходных данных к формулам 4.1., 4.3. (отдельная таблица) и к формулам 4.4., 4.5., 4.6., 4.7., 4.8., 4.9. и 4.10. Форма представлена табл. 1.

ВНИМАНИЕ! Каждый из используемых в расчетах параметров должен приниматься по своим реальным минимальным, максимальным и усредненным номинальным значениям в соответствии с условиями бурения.

Значения параметров должны быть обоснованы в текстовом комментарии: либо это значения, известные из практики, либо они возможны в силу особенностей строения месторождения (твердость, абразивность, перемежаемость, сложность, устойчивость пород, глубина залегания и угол падения рудных тел, элементов структур), состояния оборудования и т. д. Неизменяемые справочные данные, или те, которые условно принимаются неизменяемыми (g, EJ, μ_0, A), а также некоторые справочные данные (величина подачи породоразрушающего инструмента за оборот для разных коронок в разных условиях) приведены в табл. 2., табл. 3., табл. 4. – их можно в таблицы исходных данных не вводить. Но в этом случае необходимо назвать характеристики своих условий (тип труб, тип коронок, категории буримости пород и т. п.), привести табличные данные, соответствующие или в текстовом комментарии к расчетам со ссылкой на данное учебное пособие и таблицу. Другие необходимые данные нужно просто брать из справочников, учебников, специальной технической литературы.

2. Выполняются серии расчетов σ_p и τ для различных значений исходных параметров.

Задача студентов в данном случае – правильно выбрать и грамотно обосновать комбинации значений параметров, дающие наибольший познавательный результат, позволяющие наиболее полно и глубоко интерпретировать результаты расчетов, выявлять степень и характер влияния отдельных параметров на напряженное состояние колонны бурильных труб.

Каждый набор параметров должен быть обоснован.

Можно, например, произвести расчеты:

а) по всем максимальным параметрам;

б) по всем минимальным параметрам. Но необходимо при этом дать объяснение (истолкование) каждой из ситуаций (что она значит в технологическом отношении).

Например: предельно тяжелая технологическая ситуация – бурение на форсированных режимах (максимальные значения n, L, p) при предельном износе колонны (минимальные значения α_H, максимальные – α_B, k_1, α) и неблагоприятных условиях (максимальные значения k_2, k_3, D, δ, θ). И наоборот: предельно облегченная технологическая ситуация, заданная противоположными значениями расчетных параметров.

Рекомендуется также выполнить серию расчетов по следующей схеме:

- выбрать и обосновать наиболее вероятные достоверные значения параметров;

- выбрать один параметр, значения которого могут меняться в широких пределах;
- произвести расчет для нескольких значений этого параметра и составить график изменения σ и τ в зависимости от изменения этого параметра;
- аналогично следует выполнить расчет при изменяемых нескольких других параметрах.

Не следует пугаться якобы большого объема расчетных работ: в подавляющем большинстве случаев изменение величины одного расчетного параметра потребует лишь корректировки уже полученного результата. Кроме того, предполагается, что вся расчетная часть проекта выполняется на компьютере – рекомендации по организации этой работы изложены в разделе 6 данного руководства.

3. Результаты расчетов сводятся в таблицу (форма таблицы представляет табл. 5.), строятся необходимые графики зависимостей.

4. Производится интерпретация результатов расчетов – делаются выводы о значимости тех или иных параметров, делаются характеристики их влияния, оцениваются пределы допустимых изменений параметров оборудования и режимов бурения. Делаются выводы о наиболее приемлемых технико-технологических решениях.

Таблица 5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
Для расчета растягивающих и касательных напряжений
в верхней части колонны бурильных труб

Параметры	Бурильные трубы			Параметры режима бурения				Условия бурения						
Пределы изменения	Наруж. диаметр с учетом износа, $\alpha_н$, м	Внутр. диаметр с учетом износа, $\alpha_в$, м	Коэф. кривизны труб, k_3	Частота вращения снаряда: ω, с$^{-}$	Частота вращения снаряда: n,	Осевая нагрузка, p, H	Уд. вес промыв. жидкости, $\gamma_ж$, н/м^3	Коэф. антивибр. смазки, k_1	Коэф. прихвата снаряда, k	Коэф. разработки ствола, k_2	Затрубный забор, δ	Наклон скваж., θ, град	Диаметр скваж., D, м	Глубина скваж., L, м	Коэф. трения стали о породу, f
Макс., мин. значения, усред., номин., промежут. знач. 1. 2. 3. 4.															

Следует иметь в виду, что этап интерпретации результатов расчетов всецело базируется на понимании студентом существа технологического анализа, предполагает работу инженерного мышления и является итоговым показателем способности студента к принятию инженерных решений. Здесь нет однозначных рецептов и алгоритмов, но студент вправе рассчитывать на помощь своего руководителя.

По такой же схеме выполняется расчет критических нагрузок (раздел 4.3.) и расчет напряжений в нижней части колонны (раздел 4.4.).

Таблица 6

Результаты расчетов растягивающих и касательных напряжений в верхней части колонны бурильных труб

Iредполагаем. технолог. ситуации	Исходные расчетные параметры															Промежуточные и итоговые результаты расчетов							
	α	α	k	k	ω	n	P	γ	k	k	δ	θ	D	L	f	Q	M	Q	W	N	N	σ	τ
1.																							
2.																							

4.3. Расчет критических нагрузок на колонну

Кроме расчета возникающих суммарных напряжений в верхней части колонны бурильных труб при номинальных режимах бурения, производится расчет касательных напряжений, возникающих при жестком прихвате бурового снаряда, а затем суммарных напряжений. При этом в формулу 4.4. вместо значения $M_б$ подставляется значение $M_{мах}$.

Оно определяется так:

$$M_{мах} = M_{дв.мах} + M_д, \qquad (4.12)$$

$M_{мах}$ – максимальный крутящий момент, действующий на буровой снаряд при жестком прихвате, $Н{\cdot}м$; $M_{дв.мах}$ – максимальный крутящий момент, развиваемый двигателем и передаваемый на буровой снаряд при жестком прихвате, $Н{\cdot}м$; $M_д$ – динамический момент, действующий на снаряд при жестком прихвате, $Н{\cdot}м$.

$$M_{дв.мах} = 95550\ (N_Н \cdot k) / n, \qquad (4.13)$$

где $N_Н$ – номинальная мощность двигателя бурового станка, кВт; k – коэффициент перегрузки двигателя (для Д.В.С. – 1,15, для электродвигателя – 1,8); n – частота вращения шпинделя бурового станка, об/мин.

Значение $N_Н$ определяется следующим образом:

$$N_Н = N_{ст} + N_{тр} + N_З, \qquad (4.14)$$

где $N_{ст}$ – потери мощности в трансмиссии и других узлах бурового станка.

Значения $N_{тр}$ и $N_З$ определяются по формулам 4.16 и 4.17.

Значение $N_{ст}$ определяется так:

$$N_{ст} = A + B \cdot n, \qquad (4.15)$$

где A и B - коэффициенты, учитывающие потери мощности в элементах трансмиссии бурового станка – масленый насос, подшипники, коробки передач, угловой редуктор вращателя и т. д.; n – частота вращения шпинделя, об/мин.

Значения коэффициентов A и B в зависимости от ориентировочной мощности различных типов буровых станков приведены в таблице 7.

Таблица 7

Значения коэффициентов A и B и мощности различных типов буровых станков

Тип станка	Ориентировочная мощность привода, кВт	Значения коэффициента	
		A	B
УКБ 50/100	11,0	0,4	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$
УКБ 200/300	15,0	0,7	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$
УКБ 300/500	22,0	2,2	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$
УКБ 500/800	30,0	5,1	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$
УКБ-7	55,0	10,4	$6{,}4 \cdot 10^{-3}$

Значение $M_д$ определяется так:

$$M_д = n \cdot \sqrt{[(I_{пр.дв.} \cdot G \cdot I_p) / L]} \ , \qquad (4.16)$$

$I_{пр.дв}$ – момент инерции вращающихся элементов, приведенных к валу двигателя, кг · м^2; G – модуль упругости при сдвиге (для стали $G = 8 \cdot 10^4$ МПа, для алюминиевых сплавов – $2{,}7 \cdot 10^4$ МПа); $I_р$ – полярный момент сечения трубы, м^4.

Определяется так:

$$I_р = (\pi / 32) \cdot (D^4 - d^4), \qquad (4.17)$$

D и d – наружный и внутренний диаметры труб.

$$I_{пр.дв} = \sum (I_к \cdot i_к^2), \qquad (4.18)$$

где $I_к$ – момент инерции к-элемента относительно собственной оси вращения, $Н \cdot м^2$; $i_к$ – передаточное число от к-элемента до вала двигателя станка.

Например, для сплошных деталей $I_к$ определяется так:

$$I_к = m \cdot R^2 / 2. \qquad (4.19)$$

Для деталей с тонким ободом:

$$I_к = m \cdot R^2, \qquad (4.20)$$

где m – масса детали, кг; R – наружный радиус детали, м.

При расчете $I_{пр.дв}$ необходимо учесть моменты инерции следующих основных узлов бурового станка: фрикционной муфты сцепления, первичного вала коробки передач, раздаточной коробки и вращателя. Данные для расчета – массу деталей и их размеры необходимо взять на месте практики.

После определения величины суммарных напряжений в верхней части колонны бурильных труб при номинальном режиме и при жестком прихвате необходимо сделать вывод о необходимости в трансмиссии станка предохранительных амортизационных устройств и возможностей станка для ликвидации прихватов снаряда вращателем.

4.4. Расчет напряжений в нижней части колонны

Здесь производится расчет величин сжимающих, изгибающих и касательных напряжений:

$$\sigma_{сж} = P_{ос} / F, \qquad (4.21)$$

$$\sigma_{изг} = (\pi^2 \cdot E \cdot D \cdot f) / (2 \cdot l^2), \qquad (4.22)$$

$$\tau = M_б / W, \qquad (4.23)$$

$$\sigma_Σ = \sqrt{[(\sigma_{сж} + \sigma_{изг})^2 + 4 \cdot \tau^2]}, \qquad (4.24)$$

$$\sigma_Σ \le [\sigma_{доп}], \qquad (4.25)$$

где $P_{ос}$ – осевая нагрузка на забой, *Н*; *F* – минимальная площадь сечения трубы, соединений или их резьбовых частей, м^2; *E* – модуль упругости, Па; *D* – наружный диаметр труб, м; *f* – высота стрелы прогиба труб, м; *l* – длина полуволны, м.

Вспомогательные формулы при расчетах:

$$f = (D_с - D) / 2, \qquad (4.26)$$

$$l = (10 / \omega) \cdot \sqrt{[\pm 0{,}5 \cdot Z + \sqrt{0{,}25 \cdot Z^2 + (E \cdot J \cdot \omega^2) / G \cdot q}]}, \qquad (4.27)$$

$$Z = L - l_{сж}, \qquad (4.28)$$

$$l_{сж} = P_{ос} / [\alpha \cdot q \cdot (1 - \gamma_ж / \gamma_т)], \qquad (4.29)$$

$$M_б = N_б / \omega, \qquad (4.30)$$

$$N_б = 1{,}5 \cdot N_З, \qquad (4.31)$$

где $D_с$ – диаметр скважины, м; *Z* – длина растянутого участка от нулевого сечения 0-0 в растянутой части принимается +*Z* (от устья скважины до нулевого сечения), а в сжатой части – (-*Z*), (от забоя до нулевого сечения); *q* – вес 1м бурильных труб, *Н*; *G* – 9,8 м / с; $N_З$ – мощность на разрушение забоя, кВт.

В конце расчета делается вывод о необходимом превышении допустимых напряжений опасного сечения колонны над расчетным.

4.5. Расчет запаса статической прочности колонны бурильных труб

Расчет проводится как для верхнего, так и для нижнего сечений. При этом для верхнего сечения остается запас прочности по суммарным напряжениям, возникающим при жестком прихвате бурового снаряда.

$$n = \sigma_т / \sigma_\Sigma \geq 1{,}7. \qquad (4.32)$$

4.6. Расчет бурильной колонны на выносливость

Расчет производится для «нулевого» сечения, испытывающего знакопеременные напряжения и динамические нагрузки. Рассчитываются напряжения изгиба и кручения:

$$\sigma_{изг} = (\pi^2 \cdot E \cdot D \cdot f) / 2 \cdot l^2, \qquad (4.33)$$

где *l* – длина полуволны, вычисляется при *Z*=0.

$$l = (10 / \omega) \cdot \sqrt[4]{[(E \cdot J \cdot \omega^2) / (g \cdot q)]}, \qquad (4.34)$$

$$\tau = M_б / N_р, \qquad (4.35)$$

где $M_б$ – крутящий момент, развиваемый двигателем при бурении скважины; $M_б$ определяется так: $M_б = 0{,}6 + 0{,}8\ N_{дв.ном} / \omega$.

Затем рассчитывается запас прочности по нормальным напряжениям:

$$n_\tau = \sigma_{-1} / \sigma_{изг} \cdot k_д, \qquad (4.36)$$

где σ_{-1} – предел выносливости труб при изгибе; $k_д$ – коэффициент, учитывающий динамический характер нагрузки ($k_д$ = 1,5).

Величина σ_{-1} определяется так:

$$\sigma_{-1} = (0{,}4 \div 0{,}5)\sqrt{(\sigma_{изг}^2 + 4 \cdot \tau^2)}. \qquad (4.37)$$

Запас прочности по касательным напряжениям:

$$n_\tau = \tau_т / \tau, \qquad (4.38)$$

где $\tau_т$ – предел текучести при кручении, Па; ($\tau_т = 0{,}5 \cdot \sigma_т$).

Рассчитывается суммарный запас прочности в нулевом сечении:

$$n_\Sigma = n_\sigma \cdot n_\tau / (n_\sigma + n_\tau) \geq 1{,}3. \qquad (4.39)$$

После окончания расчетов делается вывод о правильности выбора колонны бурильных труб.

4.7. Расчет безопасных режимов бурения выбранной колонной бурильных труб

Здесь необходимо рассчитать величины осевой нагрузки на колонну – P и частоты оборотов буровой колонны – n, которые нельзя превышать, исходя из прочностных свойств колонны.

Величину мощности, отбираемую от двигателя станка, которую нельзя превышать, исходя из условий прочности колонны и ее неравномерного износа, определим по формуле

$$N = [n \cdot W_р \cdot \delta_э / (143240 \cdot \delta_к)] \cdot$$
$$\cdot \sqrt{[(\delta_т / Q)^2 - \{[(l - l_1) \cdot q + l_1 \cdot q_1] \cdot (1 - \gamma_ж / \gamma_т) / F_1\}^2]}, \qquad (4.40)$$

где n – скорость вращения бурильных труб, об/мин; $W_р$ – полярный момент сопротивления площади поперечного сечения трубы, см^3; $\delta_э$ – минимальная толщина стенки при одностороннем износе, мм; $\delta_к$ – толщина стенки трубы при концентрическом износе трубы, мм; $\delta_т$ – предел текучести стали труб, кг/см^2 (36Г2С – 5000 кг/см^2); Q – запас прочности при статическом нагружении (обычно не меньше 1,4); l – длина колонны бурильных труб, м; l_1 – длина УБТ в м; q – вес 1м бурильных труб в воздухе, кг; q_1 – вес УБТ в воздухе, кг; $\gamma_ж$ – плотность промывочной жидкости в г/см^3; $\gamma_т$ – плотность стали в г/см^3; F_1 – площадь поперечного сечения трубы в см^2.

Величина $\delta_э$ определяется так:

$$\delta_э = t - (D' - d), \qquad (4.41)$$

где t – толщина стенки трубы, мм; D' – изношенный наружный диаметр труб, мм; d – внутренний диаметр труб, мм.

Величина $\delta_к$ определяется так:

$$\delta_к = (D' - d) / 2. \qquad (4.42)$$

В случае отсутствия в колонне УБТ числитель второго слагаемого в подкоренном выражении формулы 4.40 выглядит так:

$$H \cdot q \cdot (1 - \gamma_ж / \gamma_т), \qquad (4.43)$$

где H – глубина скважины, м; q – вес 1м бурильных труб с учетом замков и муфт.

Для определения величины числа оборотов, безопасных для колонны бурильных труб, используется следующая зависимость:

$$N = (19 \cdot \sqrt{C}) / G \cdot (k_2 \cdot D - D_3), \qquad (4.44)$$

где C и G – коэффициенты, учитывающие жесткость бурильных труб и их типоразмер. Значения их приведены в таблице 4.4.; k_2 – коэффициент, учитывающий разработку ствола скважины при бурении (1,0 + 1,8); D – диаметр скважины; D_3 – диаметр замка, м.

Таблица 8

Значения коэффициентов C и G для различных типов бурильных труб

Коэффициенты	Замковые трубы диаметром, мм			Резьба для труб диаметром, мм			Соединения УБТ	
	4,2	50	63,5	42	50	63,5	УБТ-73	УБТ-89
G	7,1	9,3	16,2	3,6	4,3	5,8	6,9	7,9
C	36,2	50,2	83,8	36,2	50,0	83,8	109,3	168,6

Значения чисел оборотов, вычисленные по формуле 4.44, означают, что для обеспечения необходимого запаса прочности (более 1,6) величины чисел оборотов колонны бурильных труб не должны превышать рассчитанную по формуле 4.44. В том случае, если рассчитанная величина чисел оборотов будет недостаточной, исходя из соображений технологии бурения, необходимо вводить в состав колонны утяжеленные бурильные трубы. Это нужно для того, чтобы опасное сечение располагалось в колонне УБТ.

После этого рассчитывается допускаемая осевая нагрузка P из условия прочности сжатой части колонны по формуле:

$$P = M_c / [10 \cdot (K_2 \cdot D_c - D_3)], \qquad (4.45)$$

где M_c – предельно допустимый изгибающий момент, который может действовать в скважине, H·м.

Значения величины M_c в зависимости от типоразмера бурильных труб приведены в таблице 9.

Таблица 9

Значения предельно допустимого изгибающего момента

Тип резьбы	Значения предельно допустимого момента, Н·М, при типоразмере труб, мм				
	42	50	63,5	УБТ-73	УБТ-89
Замковая	92	150	249	230	348
Трубная	46	70	111	–	–

После всех выполненных расчетов необходимо проанализировать результаты и сделать выводы о правильности выбора колонны бурильных труб и допускаемых режимах бурения с их помощью.

4.8. Выбор бурового оборудования

Выбор бурового агрегата необходимо производить на основе геолого-технических задач, стоящих в проекте.

Выбор станка обосновывается глубиной, наклоном и конструкцией скважины, а также конечным диаметром бурения и транспортными условиями в районе ведения работ.

Кроме того, при выборе станка необходимо оценить мощность того серийного двигателя, которым оснащается, и сравнить с величиной мощности, полученной при расчете колонны бурильных труб. В случае существующих расхождений необходимо дать рекомендации по замене серийного двигателя.

Комплектация бурового агрегата производится в соответствии с принятой технологией бурения.

Буровой насос выбирается по величинам давления в напорной магистрали и его производительности, необходимых для обеспечения нормальной циркуляции промывочной жидкости в скважине.

Необходимо привести схему расположения буровых механизмов и циркуляционной системы и определить основные размеры буровой вышки. При выборе стандартных мачт необходимо учесть условия бурения – угол наклона скважины и т. п. Необходимо выбрать систему талевой оснастки и рассчитать талевый канат на прочность по известным методикам. Выбор и расчет талевой оснастки являются обязательными.

После выбора и обоснования основных механизмов и машин буровой установки необходимо произвести выбор вспомогательного оборудования, инструмента и механизмов для механизации и автоматизации процесса бурения. Кроме того, следует определить необходимость использования контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих контроль технологических параметров бурения. Если такая необходимость есть, то нужно привести их перечень с указанием тех параметров, которые будут контролироваться этой аппаратурой.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

5.1. Расчет частоты вращения и осевой нагрузки бурового снаряда на забой скважины

Проектная частота вращения бурового снаряда выбирается по табличным данным справочной литературы по бурению [1, 5, 6, 8, 9, 11]. Выбор рациональной частоты вращения должен быть обоснован предлагаемой рациональной механической скоростью проходки скважины, возможностью получения проектного выхода керна, вопросами предупреждения осложнений при бурении, например, разработка ствола скважины или его искривление.

Осевая нагрузка определяется исходя из выбранного способа бурения, физико-механических свойств разбуриваемых горных пород, конструкции и материала породоразрушающего инструмента. Проектное значение осевой нагрузки в соответствии с геолого-техническими условиями проектируемых буровых работ также выбираются по табличным данным опытно-производственных буровых работ, приведенных в технической литературе или рассчитываются по приведенным в них методикам [1, 5, 6, 8, 9, 11]. Выбранные по справочной литературе значения режимных параметров частоты вращения и осевой нагрузки бурового снаряда на забой скважины сравниваются со значениями, полученными в ходе расчетов безопасных режимов работы буровой колонны (см. формулы 4.44 и 4.45). В случае существенных расхождений при сравнении вышеуказанных величин необходимо дать рекомендации по корректировке этих параметров и внести требуемые при этом технологические и технические изменения в проектируемые буровые работы.

5.2. Расчет режима промывки

Проектные значения расхода промывочной жидкости выбираются по справочным материалам, в зависимости от способа и геолого-технических условий бурения скважин [3, 5, 8, 9]. Эффективность воздействия режима и промывки на процесс бурения скважин проверяется следующими расчетами [3].

Рассчитываются параметры потока промывочной жидкости, необходимые для эффективной очистки забоя скважины от шлама выбуренных пород. Основными факторами при этом принято считать: скорость восходящего потока, размер и форму частиц шлама, плотность горных пород, геометрию гидравлического канала и характер течения промывочной жидкости.

Для условий прямой промывки скважины требуемый расход промывочной жидкости – Q, определяется по формуле

$$Q = \pi / 4 \ (D_{скв}^2 - d_{б.т.}^2) \cdot v, \qquad (5.1)$$

где v – скорость восходящего потока промывочной жидкости в затрубном пространстве скважины, м/с; $D_{скв}$ – диаметр скважины с учетом каверн, местных размывов и т. п., м; $d_{б.т.}$ – наружный диаметр бурильных труб (номинальное значение без учета износа), м.

Скорость восходящего потока определяется из выражения:

$$v = u + c, \qquad (5.2)$$

где u – критическая скорость восходящего потока промывочной жидкости, при которой частицы шлама находятся во взвешенном состоянии, м/с; c – желаемая скорость выноса частиц, м/с.

Величины u и c могут быть определены по формулам

$$u = k' \cdot \sqrt{[d_э \cdot (\rho_п - \rho_{жв}) / \rho_{жв}]}, \qquad (5.3)$$

$$c = F_0 \cdot v_М \cdot (\rho_п - \rho_{жв}) / z \cdot F \cdot (\rho_{жв} - \rho_{жн}), \qquad (5.4)$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр частиц, м; $\rho_п$ и $\rho_{жв}$ – плотность соответственно породы и промывочной жидкости в кольцевом пространстве, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; k' – коэффициент, учитывающий форму частиц шлама: для шара $k' = 5{,}11^{0,5}$ м/с, для шарикообразных $k' = 4{,}5 \div 5{,}1$ м^{0,5}, для округлых и компактных частиц $k' = 3{,}5 \div 4{,}5$ м^{0,5}, для частиц неправильной удлиненной формы $2{,}0 \div 3{,}5$ м^{0,5}; F_0 – площадь забоя скважины (номинальная, без учета разработки), м^2; F – площадь сечения потока промывочной жидкости, м^2; $v_М$ – механическая скорость бурения, м/с; $z = 1{,}1 \div 1{,}3$ – коэффициент, учитывающий винтообразное движение частиц, вследствие вращения бурильной колонны (минимальное значения для частот менее 100 об/мин.

Размеры частиц $d_э$ зависят от категории буримости горных пород, способа бурения, вида и состояния породоразрушающего инструмента. Они могут быть определены либо по данным гранулярного состава проб шлама в районе работ, либо на основании анализа данных, приведенных в специальной литературе.

Величины $\rho_{жн}$ и $v_М$ могут быть рассчитаны по методикам Ивачева Л. М., Кардыша В. Г. и др. [2, 3, 4, 8, 11], либо установлены по опытным данным исследований процесса бурения скважин в аналогичных геолого-технических условиях.

В случае применения глинистого раствора в качестве промывочной жидкости необходимо рассчитать критический размер частиц шлама – $d_{кр}$, удерживаемый во взвешенном состоянии, после прекращения циркуляции жидкости в скважине:

$$d_{кр} = 6 \cdot m \cdot \theta / g \cdot (\rho_п - \rho_{жв}), \qquad (5.5)$$

где m – коэффициент, учитывающий конфигурацию частиц шлама, $m = 2 \div 3$, для формы частиц, близкой к шару, берется меньшее значение, для чешуйчатых – большее; θ – статическое напряжение сдвига, Па.

Режимы промывки скважины и тип применяемой при этом промывочной жидкости во многом определяют устойчивость ствола скважины. В связи с этим необходимо рассчитать минимально допустимое давление промывочной жидкости в скважине $P_{с\,min}$ - и минимально допустимую плотность – $\rho_{жв\,min}$ данной жидкости, используемой при промывке (расчет проводится однократно по предельным значениям параметров). В основу расчетов величин $P_{с\,min}$ и $\rho_{жв\,min}$ могут быть взяты известные закономерности условия устойчивости стенок скважины [10]:

$$P_{с\,min} = \lambda \cdot P_г - \sqrt{[\{(\sigma_{is}')^2 - P\ (1 - \lambda)^2\} / 3]}, \qquad (5.6)$$

$$\rho_{жв\,min} \geq [(P_{с\,min} + \Delta P) / g \cdot z], \qquad (5.7)$$

где λ – коэффициент бокового распора; $P_г$ – горное давление, Па; σ_{is}' – длительная прочность пород, слагающих стенки скважины, Па; ΔP – ожидаемое снижение давления в скважине при спуско-подъемных операциях, Па; z – глубина скважины, м.

Значения величин λ и $P_г$ определяются по формулам (5.9., 5.10):

$$\lambda = \mu / (1 - \mu), \qquad (5.9)$$

$$P_г = g \cdot \rho \cdot z, \qquad (5.10)$$

где ρ – средняя плотность горных пород, кг/м^3; μ – коэффициент Пуассона горных пород, слагающих стенки скважины.

По данным [10], длительная прочность горных пород – σ_{is}' в условиях скважины составляет 0,85÷0,95 от первоначальной – σ_{is}', то есть:

$$\sigma_{is}' = (0{,}85 \div 0{,}95) \cdot \sigma_{is}. \qquad (5.11)$$

Ожидаемое снижение давления в скважине – ΔP может быть рассчитано, выбрано по справочной литературе или по данным производственных наблюдений, исходя из величины ожидаемого снижения динамического уровня – *Hg* промывочной жидкости в скважине при подъеме бурового снаряда.

В условиях поглощения промывочной жидкости рассчитать величину плотности промывочной жидкости, при которой восстанавливается ее циркуляция в скважине. В случае же вскрытия водонефтегазонапорных горизонтов необходимо определить плотность выбранных утяжеленных промывочных жидкостей, при которых реализуется равновесие между пластовым $P_{пл}$ и гидростатическим давлением $P_с$ в скважине. Методика данных расчетов достаточно подробно изложена в специальной технической литературе [3, 4, 7].

Полученные результаты необходимо интерпретировать – истолковывать с точки зрения предельных значений, границ применяемости тех или иных решений, степени влияния различных факторов.

Интерпретация и выводы – главная и наиболее важная часть работы: не следует жалеть на ее выполнение усилий и бумаги. Оценка работы проводится именно по глубине и полноте интерпретации результатов расчетов.

Таблица 10

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
для гидравлических расчетов

Параметры / Значения исходных данных	Диаметр скважины макс. (по каверн., размывам и т. д.), $D_{скв}$, м	Эквивал. размер частиц шлама, $d_э$, м	Плотность очищенной промывочной жидкости, $\rho_{жв}$, кг/м^3	Плотность горной породы, $\rho_п$, кг/м^3	Плотность, $\rho_{жв}$, кг/м^3	Коэффициент формы частиц, k'	Площадь забоя скважины (в том числе кольцевого), F_0, м^2	Механическая скорость бурения, $v_м$, м^2	Коэффициент изомертич. частиц шлама, m	снс, $\theta_{пл}$
Максимальные										
Минимальные										
Усредненные										
Прочие:										
1.										
2.										
3.										
4.										

Таблица 11

Результаты гидравлических расчетов

Характеристики технологических ситуаций	Значения исходных параметров										Промежуточные и итоговые результаты расчетов				
	$D_{скв}$	$d_э$	$\rho_{жн}$	$\rho_п$	$\rho_{жв}$	k’	F_0	$v_М$	m	θ	$d_{кр}$	c	u	v	Q
1.															
2.															
3.															

6. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛЬНЫМ РАЗДЕЛАМ ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ, ДИПЛОМНЫМ РАБОТАМ И РАССМОТРЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМАТИКИ

6.1. Требования к специальным разделам дипломного проекта

Специальный раздел дипломного проекта разрабатывается по личным материалам студента, которые являются результатом выполнения курсового проекта или курсовой работы и существенно дополнены личными наблюдениями и исследованиями в период второй производственной практики.

Специальный раздел посвящается решению технологической, технической, экологической или экономической проблемы. В нем должна содержаться постановка задачи, анализ предшествующих материалов, планирование технологических исследований, результаты их, осмысление и выводы, рекомендации предприятию по внедрению в производство выполненных проектных технических и технологических решений.

Задание по специальному разделу дипломного проекта согласовывается с руководителем проектирования. По материалам специального раздела выполняется два листа демонстрационной графики.

В качестве примеров заданий по специальному разделу проекта приведем следующие.

6.1.1. Ресурсо- и энергосберегающие технологии буровых работ

Методы и средства оптимизации бурения скважин на предприятии. Системы автоматизированного управления процессом бурения на твердые полезные ископаемые. Моделирование систем автоматического управления процессом геологоразведочного бурения. Экономическая оценка конкурирующих вариантов решения конкретных задач по локальным и глобальным критериям оптимизации.

Разработка мероприятий по сокращению расхода материалов и топлива, используемых в процессе бурения скважин (глина, цемент, химические реагенты и т. д.).

6.1.2. Нейтрализация, обезвреживание и утилизация отходов буровых работ

Характеристика и объемы твердых, жидких и газообразных отходов при бурении скважин и вспомогательных работах (транспорт, отопление, водоснабжение). Физические и химические свойства бурового шлама, отработанных промывочных жидкостей и сточных вод. Характеристика золы и выбросов в атмосферу при сжигании топливно-энергетических ресурсов (угли, торф, нефтепродукты). Технология нейтрализации, обезвреживания и утилизации отходов буровых работ. Контроль технологической линии.

6.2. Требования к дипломным работам

Необходимым условием для выполнения дипломной работы является наличие у студента материалов научно-исследовательского характера, полученных им лично в период выполнения госбюджетных или хоздоговорных работ на протяжении двух-трех лет в качестве исполнителя. При этом предполагается, что по завершению работы ее основные материалы можно использовать в дальнейшем в кандидатской диссертации.

Задание на дипломную работу составляется руководителем и защищается студентом на заседании кафедры, где оно и утверждается. В задании должны быть определены геологические условия объекта, применительно к которому выполняется дипломная работа; конкретизирован методический раздел, а также экологические и экономические вопросы, актуальные для данного региона работ.

В качестве примеров укрупненных заданий по дипломным работам приведем следующие.

6.2.1. Цементные растворы и тампонажные смеси в природоохранных технологиях буровых работ.

Геолого-методическая часть. Определение границ влияния буровых работ на недра, на водную систему и на почвы. Характеристика основных физических и геохимических процессов. Сведения о динамике подземных вод.

Технико-технологическая часть. Выбор состава цементных растворов и тампонажных смесей. Регулирование их параметров. Планирование лабораторных исследований. Техника и технологические линии для приготовления и закачки в скважины цементных растворов. Активация их вяжущих свойств. Приготовление и доставка к месту твердения тампонажных смесей.

Эколого-экономическая часть Контрольно-измерительная аппаратура и организация ведомственного экологического контроля. Экономическая оценка основных (двух-трех) конкурирующих вариантов выполнения проектируемых работ.

6.2.2. Технология и техника бурения донных отложений прудов, озер, болот

Геолого-методическая часть.

Стадии развития водоемов, их состояние. Влияние хозяйственной деятельности на естественный ход эволюции водного объекта. Содержание в воде биологически активных соединений, необходимых для жизни. Процесс формирования донных отложений из остатков живых организмов, поверхностного стока, атмосферного переноса и подземного водообмена.

Основные результаты ранее выполненных геологоразведочных работ по характеристике донных отложений как исходного сырья для приготовления товаров различного назначения (сельскохозяйственные удобрения, лечебные грязи и т. д.). Необходимость проведения или продолжения буровых работ.

Технология и техника бурения скважин. Отбор проб донных отложений с учетом требований природоохранного законодательства. Рекомендации по извлечению донных отложений на поверхность, переработка и доставка их к потребителю.

Для случая очистки водоемов от донных отложений, содержащих токсичные вещества, рассматриваются вопросы их обезвреживания, нейтрализации и захоронения.

Организация ведомственного экологического контроля. Экономическая оценка основных (двух-трех) конкурирующих вариантов выполнения проектируемых работ.

6.3. Рассмотрение экологической проблематики в дипломном проекте

В дипломном проекте должны быть изложены материалы по следующим вопросам охраны недр и окружающей среды.

6.3.1. Выполнение природоохранного законодательства России

Закон Российской Федерации о недрах. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Экологический паспорт промышленного предприятия.

6.3.2. Закон о защите прав потребителя в условиях рынка

Обязательная и добровольная сертификация товаров, проблема качества. Защита населения и окружающей среды от опасной продукции.

Например, свидетельство о качестве и безопасности используемых в бурении химических реагентов, поверхностно-активных веществ, синтетических смол и нефтепродуктов.

6.3.3. Состояние природной среды в районе буровых работ

Характеристика источников загрязнения: стационарные и передвижные, постоянного и периодического действия, поверхностные и подземные; интенсивность и периодичность проявления.

6.3.4. Источники загрязнения недр и окружающей среды

Источники загрязнения недр и окружающей среды при бурении скважин последовательно на всех стадиях работ: подготовка земельного участка под буровую установку с привышечными сооружениями в соответствии с утвержденными нормативами; монтаж оборудования; бурение; цементирование; испытание и освоение скважин; эксплуатация; консервация и ликвидационный тампонаж.

Источники загрязнения природной среды при материально-техническом обеспечении буровых работ. Условия транспортирования: глины, цемента, топлива, химических реагентов. Потери материалов в пути и на местах хранения.

Источники загрязнения окружающей среды при работе транспортных машин (колесный, гусеничный, водный).

6.3.5. Ведомственный контроль за природной средой: атмосфера, почва, водная система

Контрольно-измерительная аппаратура; принцип действия, характеристика.

Анализ, систематизация и обобщение результатов измерений параметров природной среды в соответствии с международными стандартами.

6.3.6. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии в бурении

Определение оптимальных параметров режимов вращательного бурения по локальным и глобальному критерию, используя как ручное, так и автоматизированное управление процессом бурения.

Выбор наиболее экономичных и эффективных мероприятий по снижению негативного воздействия буровых работ и по оздоровлению окружающей среды.

Защита от возможных аварийных ситуаций. Их прогноз, предупреждение и ликвидация.

6.3.7. Утилизация, обезвреживание, захоронение отходов буровых работ (сточные воды, разлитые нефтепродукты, отработанные промывочные жидкости, антивибрационные смазки и т. д.)

Техническая и биологическая рекультивация почв, земель.

6.3.8. Экологическая оценка проектируемых мероприятий

Материалы по природоохранным технологиям буровых работ могут быть приведены в соответствующих разделах дипломного проекта или в разделе 3.4. «Природоохранные мероприятия» согласно выше приведенной структуры проекта.

Защита выпускной квалификационной работы

Защита выпускной квалификационной работы проводится на открытом заседании ГЭК.

Порядок защиты:

-председатель ГЭК объявляет фамилию, имя и отечество выпускника, название работы с указанием места ее выполнения;

-доклад продолжительностью, как правило, не более 7-10 минут, в течении которых он должен кратко сформулировать актуальность, цель и задачи работы, изложить основные результаты, выводы и рекомендации, конкретные предложения, обосновать возможность их реализации, эффективность. При этом необходимо уточнить личный вклад в разработку проблемы.

Студент может пользоваться заранее подготовленным тезисами доклада, но должен излагать основное содержание своей выпускной квалификационной работы свободно, не читая письменного текста. При чтении утрачивается эмоциональность изложения, монотонное чтение текста не привлекает внимания и утомляет слушателей. Свободный рассказ по теме свидетельствует об уровне подготовки и глубине специальных знаний по проблеме выпускной квалификационной работы. Все это существенно влияет на итоговую оценку работы.

Все принципиальные положения выпускной квалификационной работы для большей наглядности могут быть представлены на демонстрационном материале. К демонстрационным материалам относится информация из выпускной квалификационной работы (таблицы, диаграммы, схемы, иллюстрации и пр.), оформленная в виде презентаций или ксерокопий для каждого члена ГЭК. Во время доклада необходимо ссылаться на эти материалы;

-после окончания доклада члены ГЭК и присутствующие на защите предлагают выпускнику вопросы, касающиеся устного выступления, имеющие непосредственное отношение к теме работы, или же просто в связи с обсуждаемой проблемой;

- зачитывается внешняя рецензия на выпускную квалификационную работу;

-выступление руководителя выпускной квалификационной работы, а в случае его отсутствия секретарь ГЭК зачитывает отзыв руководителя;

- председатель ГЭК предоставляет желающим слово для выступления, затем выпускнику, которое предполагает ответы на замечания рецензента и всех, выступивших при обсуждении работы, после чего объявляет об окончании защиты.

После окончания открытой защиты проводится закрытое заседание ГЭК (возможно с участием руководителей), на котором определяются итоговые оценки по четырехбальной системе («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»). После

закрытого обсуждения председатель объявляет решение ГЭК. Протокол заседания ГЭК ведется секретарем. В него вносятся все заданные вопросы, особые мнения, решение комиссии об оценке.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Оценка выпускной квалификационной работы производится по четырем группам критериев:

Система оценивания по оценочным средствам государственной итоговой аттестации

Оценочное средство	Максимальная стоимость в баллах	Критерии начисления баллов
Выпускная квалификационная работа	0-90 балл	Качество выполненной работы, ее научно-теоретический уровень, степень самостоятельности и логичность изложения материала, правильность оформления и результат ее защиты
Отзыв руководителя ВКР	0-15 баллов	Ответственность, дисциплинированность, стремление к достижению высоких результатов самостоятельность, добросовестность в выполнении ВКР, контактность….
Отзыв рецензента ВКР	0-5 баллов	Качество выполненной работы, корректность расчетов, принятых обоснований и сделанных выводов
Ответы на вопросы (проверка компетенций)	0-5 баллов	Полнота и правильность ответа
Итого	115 баллов	

Оценка по итогам государственной итоговой аттестации определяется простым суммированием баллов:

Критерии оценки	*Количество баллов*
Критерии содержания ВКР	
обоснованность выбора и актуальность темы исследования	0-5
обоснование практической и теоретической значимости исследования	0-5
уровень теоретической проработки проблемы, осмысления теоретических вопросов и обобщения собранного материала	0-5
умение представить литературный обзор проблемы исследования	0-5
широта и качество использованных источников	0-5
объем и уровень анализа профессиональной, научной литературы, релевантность, полнота, корректность и содержание цитирования	0-5
умение правильно применить необходимые для решения проблемы нормативные правовые акты (документы) в объяснении конкретной ситуации деятельности организации	0-5
наличие в ВКР результатов, которые в совокупности решают конкретную научную и (или) практическую задачу, или - результатов (теоретических и (или) экспериментальных), которые имеют существенное значение для развития конкретных направлений в определенной отрасли науки (деятельности), или – научно-обоснованных разработок, использование которых в полном объёме обеспечивает решение прикладных задач	0-5
умение логические верно, аргументированно и ясно излагать материалы исследования в ВКР	0-5
обоснованность и четкость сформулированных выводов	0-5
адекватность использования методов исследования	0-1
умение использовать компьютерные технологии в режиме пользователя для решения профессиональных задач	0-5
Критерии оформления ВКР	

владение научным стилем изложения, орфографическая и пунктуационная грамотность	0-5
соответствие формы представления работы требованиям, предъявляемым к оформлению данных работ	0-5
Критерии процедуры защиты	
качество устного доклада: соответствие доклада содержанию работы, логичность, точность формулировок, обоснованность выводов, культура речи	0-5
владение профессиональной терминологией и навыками профессиональной аргументации	0-4
презентационные навыки: структура и последовательность изложения материала, соблюдение временных требований, использование презентационного оборудования и/или раздаточного материала, грамотность оформления иллюстрационных материалов, выразительность использования, контакт с аудиторией	0-5
поведение при защите (коммуникационные характеристики (культура) докладчика (речь, манера говорить, отстаивать свою точку зрения, привлекать внимание к важным моментам в докладе или ответах на вопросы)	0-5
качество ответов на вопросы членов ГЭК: логичность, глубина, правильность и полнота ответов	0-5
Отзыв рецензента ВКР	
теоретическая значимость исследования; анализ представленных методик исследования; практическая значимость исследования; степень полноты обзора состояния проблемы и корректность постановки задачи; уровень и корректность использования в работе методов исследования; степень комплексности работы, применение в ней знаний социально-гуманитарных дисциплин, естественно-математических, общепрофессиональных и специальных дисциплин; ясность, четкость, последовательность и обоснованность изложения.	0-5
Отзыв руководителя ВКР	
ответственное отношение к работе, дисциплинированность, стремление к достижению высоких результатов, самостоятельность, добросовестность в выполнении работы, соблюдение сроков представления материалов, контактность	0-5
владеет навыками самостоятельного получения новых знаний, использования современных технологий	0-5
умение систематизировать и обобщать информацию из разных источников	0-5
Теоретические вопросы	
качество ответов на вопросы членов ГЭК: правильность и полнота ответов	0-5
Итого баллов	115

Правила оценивания результатов защиты ВКР

104-115 баллов (90-100%) **–** оценка **«отлично»;**
81-103 балла (70-89%) **–** оценка **«хорошо»;**
58-80 баллов (50-69%) **–** оценка **«удовлетворительно;**
0-57 баллов (0-49%) **–** оценка **«неудовлетворительно».**

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусман, А. М.* Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование / А. М. Гусман, К. П. Порожский. – Екатеринбург, Полиграфист, 2002. – 592 с.
2. *Бондарев, В. И.* Оптимизация процессов промывки и крепления скважин / В. И. Бондарев, А. И. Булатов, Е. И. Сукуренко. – М.: Недра, 1989. – 221 с.
3. *Ивачев, Л. М.* Промывка и тампонирование геологоразведочных скважин: справочное пособие / Л. М. Ивачев. – М.: Недра, 1989. – 247 с.
4. *Ивачев, Л. М.* Промывочные жидкости и тампонажные смеси: учебник для вузов / Л. М. Ивачев – М.: Недра, 1987. – 242 с.
5. *Калинин, А. Г.* Разведочное бурение / А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский, Н. В. Соловьев. М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. – 748 с.
6. *Козловский, Е. А.* Справочник по бурению геологоразведочных скважин / Е. А. Козловский, П. П. Пономарев, Г. А. Блинов. – СПб.: Недра, 2000. – 592 с.
7. *Кудряшов, Б. Б.* Бурение скважин в осложненных условиях: учеб. пособие для вузов / Б. Б. Кудряшов, М. М. Яковлев. – М.: Недра, 1987. – 269 с.
8. *Михайлова, И. Д.* Техническое проектирование колонкового бурения / И. Д. Михайлова. – М.: Недра, 1985. – 200 с.
9. Пономарев, П. П. Отбор керна при колонковом геологоразведочном бурении / П. П. Пономарев, В. А. Каулин – Л.: Недра, 1989. – 256 с.
10. *Спивак, А. И.* Разрушение горных пород при бурении скважин: Учебник для вузов. Спивак А.И., Попов А.Н. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 208 с.
11. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин. – В 2-х томах. – М.: Недра, 1984 – С. 3-252.
12. *Харбух, Дж.* Моделирование на ЭВМ в геологии / Дж. Харбух, Г. Бонэн-Картер. – М., 1974.
13. Справочник по бурению геологоразведочных скважин. – СПб.: Недра, 2000. – 712 с.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА:

Размер шрифта основного текста: - кегль 14, формат А4, 1,5 интервал.
Нумерация страниц проставляется с третьей страницы в нижнем поле по центру.
Заголовки отделяются от основного текста сверху и снизу одним интервалом.
Шрифт заголовков выделяется жирным прописным или большим на 1-2 кегля.
По всему диплому соблюдается соподчиненность шрифтов разделов.
Красная строка – 1,5 см.
Раздел (глава) – часть – подчасть – подраздел.
Подзаголовок с трехзначной нумерацией в содержание не включается.
ВВЕДЕНИЕ не имеет нумерации!!!

ПРИМЕР

1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

1.1. Физико-географические условия участка……...7
1.1.1. Климат 7
1.2. Гидрография.....11
1.3. Существующее водоснабжение 11
1.4. Геологическое строение района работ 13
1.4.1. Стратиграфия 13
1.4.2. Тектоника 23
1.5. Гидрогеологические условия района работ 25

Поля страницы:
верх – 2 см, низ – 2,5 + нумерация страницы, левое поле – 3 см., правое – 1,5.
Рисунок имеет название (под рисунком) и нумерацию как таблица и формула.
Таблицы:

Порядковый номер в разделе

Цифра раздела

Таблица 1.1

Название таблицы ОБЯЗАТЕЛЬНО!!

Глубина залегания и мощность пачек по скв.1

№№ скв	Нижняя пачка		Средняя пачка		Верхняя пачка	
	Интервал глубин, м	Мощность, м	Интервал глубин, м	Мощность, м	Интервал глубин, м	Мощность, м
1	Нижнебелебеевская подсвита					
	263,0-279,5	16,5	211,2-263,0	51,8	174,7-211,2	36,5

Размер кегля 10-12

Цифра раздела

$$p_1 = \lambda_1 \cdot \frac{V_1^2 \cdot \rho}{2 \cdot d_1} \cdot (l + l_э) \cdot 10^{-6}, \quad [\text{МПа}] \qquad (2.14)$$

Порядковый номер в разделе

где: ρ – плотность промывочной жидкости, *кг/м*^{3}, ρ=1040 *кг/м*^{3};
d_1 –внутренний диаметр бурильных труб, *м*, d_1= 0,0545м;
l – длина колонны бурильных труб, *м*, $l = L - l_{УБТ}$= 69 - 4,7= 64,3 *м*;
V_1 – скорость нисходящего потока промывочной жидкости, *м/с*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бродов Г.С.* Бурение и оборудование скважин на воду. – СПб, 2006. 154 с.
2. Технология и техника разведочного бурения. /Под ред. Шамшева Ф.А., Кудряшова Б.Б. и др./ - М.: Недра, 1983, 565 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 21.05.03 «ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ» ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Екатеринбург

Введение

Естественные науки – совокупность наук о природе. Природа – в широком смысле – все сущее, весь мир в многообразии его форм; объект естествознания. К естественным наукам относятся и география, и геология. **География –** система естественных – физико-географических и общественных – экономико-географических наук, изучающих географическую оболочку Земли, природные и производственно-территориальные комплексы и их компоненты. **Геология –** комплекс наук о составе, строении и истории развития земной коры и Земли (Советский энциклопедический словарь. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1979).

В школьных программах нет дисциплины «Геологии». Элементарные сведения о Земле как планете и ее внутреннем строении школьники получают на уроках «Географии» в 6 и 7 классах. Для изучения геологических вопросов рекомендуем самостоятельно читать учебники по геологии. В настоящее время выпущено огромное число самых различных учебников, учебных пособий, методических указаний по всем направлениям геологических наук. Любой желающий по своему усмотрению без особого труда может для себя их приобрести. Но следует помнить афоризм Козьмы Пруткова: «Никто не обнимет необъятного!» Нельзя школьникам сразу преподносить геологические знания в объеме читаемой в высшей школе, но знать основы геологии необходимо каждому грамотному человеку для того, чтобы понимать историю развития природы. Без этих знаний невозможно понять процесс формирования как прошлых, так и современных ландшафтов – важнейших составных частей географической оболочки Земли.

Для квалифицированного подхода к встрече с природными объектами рекомендуем иметь элементарные познания по геологии. Аннотации первоочередных лекций приведены в настоящих методических указаниях.

Геология – это наука о Земле, о ее свойствах и изменениях, происходящих на ней в настоящее время, а также совершавшихся во времена прошедшие. Геология – это история Земли, и эту историю она сама записывает. Она сама ведет свою автобиографию; ведет ее без перерыва почти от начала своего образования и до настоящего времени, записывая ее на своих каменных страницах, и человеку остается лишь научиться читать эту занимательную каменную летопись, научиться понимать эти каменные письмена, в которых буквами являются попадающиеся нам под ноги камешки, а чернилами – воды ручьев, рек и морей. Вначале мы должны научиться различать буквы – камни, потом должны постигнуть самый процесс чтения записей Земли, для этого должны изучать геологические процессы, и лишь после того, как мы хорошо освоимся с ними, мы можем приступить к чтению древних страниц этой летописи. В этой великой многотомной летописи Вселенной всякая летопись человека, будь то самый древний папирус, является лишь одной незначительной строчкой, помещенной в конце ее последней страницы. Читая эту великую автобиографию, мы уносимся в бесконечно отдаленные от нас, неизмеримые даже тысячелетиями, времена. Эти далекие времена отдалены от нас во времени так, как отдалены от нас в пространстве далекие, загадочно мерцающие звезды.

Но где и как можно научиться читать эту великую летопись Земли? Где и как надо изучать геологию? Везде и всюду – в каждом овраге, в каждой речке, в любом карьере можно наблюдать результаты геологических процессов. Для изучения геологических процессов необходимо принимать участие в геологических экскурсиях, проходящих по геологическим объектам, доступными непосредственно нашему наблюдению.

1. ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ГЕОЛОГИИ

1.1. НАУКА О ЗЕМЛЕ. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Два греческих слова "гео" — Земля и "логос – учение позволяют трактовать термин "геология" как науку о Земле. Однако в наше время ограничиться таким простым толкованием уже нельзя, поскольку этот термин объединяет в себе целый комплекс самостоятельных направлений, как фундаментальных, так и прикладных.

Под ***фундаментальными*** обычно понимают те направления, которые разрабатывают понятия, открывают явления, закономерности, свойства, определяющие развитие геологии как науки. Фундаментальность не следует отождествлять с теоретическими разработками. К фундаментальным геологическим наукам могут быть отнесены следующие дисциплины: геохимия, минералогия, петрография, геотектоника, общая геология и историческая геология. Названные дисциплины занимаются различными уровнями организации вещества Земли в пространстве и во времени. Именно это обстоятельство в основном и определяет фундаментальность каждого из названных направлений. Все они теснейшим образом связаны между собой.

К ***прикладным направлениям*** принято относить те, которые непосредственно работают на производство: создают приёмы, методы, технологию геологических исследований, связанных в первую очередь, с поисками и разведкой полезных ископаемых, а также охраной и рациональной эксплуатацией земных недр. Их в современной геологии значительно больше, чем фундаментальных. Назовём лишь несколько: региональная геология, структурная геология, геологическое картирование, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, инженерная геология.

1.2. ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ГЕОЛОГИИ

Объектом общей геологии является Земля в целом: её возникновение как планеты, формирование внутренних и внешних оболочек, их функционирование и взаимодействие. Иными словами, речь идёт об изучении Земли как геологической системы.

Предметом непосредственного изучения геологии служат минералы, горные породы, ископаемые органические остатки и современные геологические процессы.

В основе научного познания геологической истории Земли, реконструкции процессов и обстановок прошлого лежит ***метод актуализма.*** При использовании этого метода к пониманию прошлого идут от изучения современных процессов, но с осознанием того, что в прошлом, особенно отдалённом от современности, и физико-географическая обстановка, и сами процессы отличались от современных тем больше, чем больше отдалена от нас прошлая геологическая эпоха.

1.3. ЗНАЧЕНИЕ ГЕОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

Огромное значение, которое имеет геология, может быть рассмотрено в двух аспектах - общенаучном и народнохозяйственном.

Общенаучное значение геологии заключается в её неоценимой роли в формировании материалистического понимания природы. Данные геологии играют важную роль в диалектико-материалистическом обосновании философских принципов, отражающих материальное единство мира и его развитие,

Практическое значение геологии заключается в обеспечении минерально-сырьевыми ресурсами различных отраслей хозяйства, в инженерно-геологическом

обосновании строительства разнообразных гражданских и промышленных объектов, в решении питьевого и технического водоснабжения.

1.4. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИИ

Геология зародилась в глубокой древности. Задолго до новой эры человек научился выплавлять металлы, использовать минеральную воду. Издавна привлекали внимание человека и природные процессы. Однако временем возникновения геологии как науки принято считать вторую половину ХУШ в. – период зарождения и бурного развития горнодобывающей промышленности. В России основоположником обобщений геологических знаний стал М.В. Ломоносов (1711-1765), в Западной Европе - Д.Геттон (1726-1797) и А.Г.Вернер (1750-1817).

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

2.1. ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

"Вселенная, весь мир, бесконечный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по тем формам, которые принимает материя в процессе своего развития. Вселенная существует объективно, независимо от сознания человека, её познающего. Вселенная содержит гигантское множество небесных тел, многие из которых по размерам превосходят Землю иногда во много миллионов раз (БСЭ, т.5, с. 1315). Доступная для изучения часть Вселенной называется ***Метагалактикой,*** включающей свыше миллиарда звёздных скоплений, или ***галактик*** (греч. "галактика" - молочный, млечный).

Наша ***Галактика Млечного Пути*** - типичная звездная система с массой около 10^{10} масс Солнца относится к типу спиральных и включает свыше 150 миллиардов звёзд. С Земли, расположенной внутри Галактики, Млечный Путь представляется в виде широкой белёсой полосы звезд, пересекающей небо. Период обращения Солнца и звёзд вокруг центра Млечного Пути 200 млн. лет. Возраст Галактики около 12 млрд. лет. Когда речь идёт о Солнечной системе, то имеется в виду Солнце и всё, что находится в поле его тяготения. К наиболее крупным телам этой системы относятся 9 планет, 34 их спутника, многочисленные кометы и астероиды. Согласно современным космогеническим представлениям Земля и другие планеты Солнечной системы образовались 4,6 млрд. лет назад почти одновременно с Солнцем.

Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите на среднем расстоянии 149,6 млн. км (144,117 млн. км в перигелии, 152,083 в афелии), период обращения 365,242 средних солнечных суток (год), скорость в среднем 29,765км\с (30,27км\с в перигелии, 29,27км\с в афелии). Период обращения Земли вокруг оси 23 час 56 мин 4,1 с (сутки).

Пожалуй, все согласны с тем, что исходным веществом для формирования Солнечной системы послужили межзвёздная пыль и газы, широко распространенные во Вселенной. Но каким образом в их составе оказался полный набор химических элементов таблицы Менделеева и что послужило толчком для начала конденсации газа и пыли в протосолнечную туманность остается дискуссионной проблемой. Следующая стадия образования Солнечной системы предусматривает распад протопланетного диска на отдельные планеты внутренней и внешней групп с поясом астероидов между ними. Промежуточной фазой было образование сонма твердых и довольно крупных, до сотен километров в диаметре, тел, именуемых планетезималями, последующее скопление и соударение которых и явилось процессом аккреции (наращивания) планеты. Этот процесс занял не более сотни миллионов лет, т.е. был с геологической точки зрения очень быстрым.

Важнейшее отличие Земли от других планет Солнечной системы - существование на ней жизни, появившейся 3-3,5 млрд. лет назад и достигшей с появлением человека (12 млн. лет назад) своей высшей формы.

2.2. ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

Поверхность реальной Земли чрезвычайно сложна и во всех деталях навряд ли может быть описана с помощью математических формул. Однако эта сложность существенно уменьшается при переходе от крупномасштабного к мелкомасштабному изображению, когда особенности рельефа Земли рассматриваются для достаточно обширных территорий.

Под фигурой, или формой Земли, понимают форму ее твердого тела, образованную поверхностью материков и дном морей и океанов. Форма планеты определяется ее вращением, соотношением сил притяжения и центробежной, плотностью вещества и его распределением в теле Земли. Геодезические измерения показали, что упрощенная форма Земли приближается к ***эллипсоиду вращения (сфероиду).*** В СССР в качестве эталона в 1946 году был принят эллипсоид Ф.Н.Красовского и его учеников (А.А.Изотов, и др.), основные параметры которого подтверждаются современными исследованиями и с орбитальных станций. По этим данным экваториальный радиус равен 6378,245 км, полярный радиус 6356,863 км, полярное сжатие 1/298,25.

Поверхность реальной Земли чрезвычайно сложна и во всех деталях навряд ли может быть описана с помощью математических формул. Однако эта сложность существенно уменьшается при переходе от крупномасштабного к мелкомасштабному изображению, когда особенности рельефа Земли рассматриваются для достаточно обширных территорий.

В связи с расчлененностью рельефа (наличием высоких гор и глубоких впадин) действительная форма Земли является более сложной, чем трехосный эллипсоид. Наиболее высокая точка на Земле - гора Джомолунгма в Гималаях - достигает высоты 8848 м. Наибольшая глубина - 11 034 м - обнаружена в Марианской впадине. Таким образом, наибольшая амплитуда рельефа земной поверхности составляет немногим менее 20 км. Учитывая эти особенности, немецкий физик Листинг в 1873 г. фигуру Земли назвал геоидом, что дословно обозначает «землеподобный». **Геоид** — некоторая воображаемая уровневая поверхность, которая определяется тем, что направление силы тяжести к ней будет всегда перпендикулярно. Эта поверхность совпадает с уровнем воды в Мировом океане, который мысленно проводится под континентами. Это та поверхность, от которой проводится отсчет высот рельефа. Поверхность геоида приближается к поверхности трехосного эллипсоида, отклоняясь от него местами на величину 100-150 м (повышаясь на материках и понижаясь на океанах, что, по-видимому, связано с плотностными неоднородностями масс в Земле и появляющимися из-за этого аномалиями силы тяжести.

2.4. СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Изучение внутреннего строения Земли производится различными методами. Геологические методы, основанные на изучении естественных обнажений горных пород, разрезов шахт и рудников, керна глубоких буровых скважин, дают возможность судить о строении приповерхностной части земной коры. Глубинное внутреннее строение Земли изучается главным образом геофизическими методами: сейсмическими, гравиметрическими, магнитометрическими и др. Одним из важнейших методов является сейсмический, основанный на изучении скорости распространения упругих волн, вызванных естественными и "искусственными" землетрясениями.

На основании скорости распространения сейсмических волн австралийский сейсмолог К. Буллен разделил Землю на ряд зон, дал им буквенные обозначения в

определённых усреднённых интервалах глубин, которые используются с некоторыми уточнениями до настоящего времени.

Выделяются три главные области Земли:

Земная кора (слой А) - верхняя оболочка Земли, мощность которой изменяется от 6-7 км под глубокими частями океанов до 35- 40 км под равнинными платформенными территориями континентов, до 50 - 75км под горными сооружениями (наибольшие под Гималаями и Андами).

Мантия Земли распространяется до глубин 2900км. В её пределах по сейсмическим данным выделяются: верхняя мантия - слой В глубиной до 400км и С - до 800 - 1000км (некоторые исследователи слой С называют средней мантией); нижняя мантия - слой D до глубины 2900 с переходным слоем от 2700 до 2900км.

Ядро Земли подразделяется на внешнее ядро - слой Е в пределах глубин 2900 - 4980км; переходную оболочку - слой Г - от 4980 - 5120км; и внутреннее ядро - слой G до 6971 км.

Земная кора - это верхняя каменная оболочка Земли, сложенная магматическими, метаморфическими и осадочными породами. Она представляет собой наиболее активный слой твердой Земли - сферу деятельности магматических и тектонических процессов. Нижняя граница земной коры как бы зеркально повторяет поверхность Земли. Под материками она глубоко опускается в мантию, под океанами приближается к поверхности Земли,

Мантия Земли является самым крупным элементом Земли - она занимает 83% ее объема и составляет около 66% ее массы.

Верхняя мантия характеризуется резким нарастанием скорости распространения сейсмических волн с глубиной. Выделяется два слоя: В (35-420 км), С (420-1000 км). Внутри слоя В, с глубин 80-100 км под материками и 50-70 км под океанами и до глубин 250-300 км, выделяется слой пониженной вязкости, который носит название *астеносферы.* Астеносфера выделяется по геофизическим данным как слой пониженной скорости, поперечных сейсмических волн и повышенной электропроводности. Повышенная вязкость астеносферы обусловлена, по-видимому, высокой температурой, приводящей, как полагают, к частичному выплавлению базальтовой магмы. Астеносфера играет важную роль в эндогенных процессах, протекающих в земной коре.

Земная кора вместе с твёрдой частью слоя Гутенберга образует единый жесткий слой, лежащий на астеносфере, который называется *литосферой.* По существу литосфера является своеобразной геосферой, отделённой от остальной части мантии активным поясом астеносферы.

Земная кора и верхняя мантия включая астеносферу, представляют собой *тектоносферу* - область Земли, где происходят тектонические явления.

3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

3.1.ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Под воздействием внутренних, или ***эндогеннных,*** и внешних, или ***экзогенных,*** сил земная кора испытывает постоянные изменения, которые называются ***геологическими процессами***. Соответственно различают эндогенные и экзогенные процессы.

Эндогенные процессы определяются глубинными источниками энергии. В результате на поверхности Земли образуются горные хребты и впадины, в земной коре возникают магматические очаги, происходят вулканические извержения, землетрясения. Эндогенные процессы характеризуются сложностью и большим разнообразием.

Экзогенные **процессы** развиваются на поверхности Земли за счёт энергии Солнца, и их интенсивность связана с активностью атмосферных явлений, геологической деятельностью поверхностных и подземных вод, озер, ледников, морей и океанов.

Сформировавшийся под воздействием эндогенных процессов рельеф молодых горных областей подвергается воздействию экзогенных сил, направленных на сглаживание, выравнивание рельефа. Таким образом, эндогенные и экзогенные процессы развиваются одновременно, связанно и взаимно обусловленно.

К эндогенным процессам относятся тектонические движения, магматизм и метаморфизм.

3.2. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

Совокупность тектонических движений и деформаций, под воздействием которых формируются геологические структуры, называется тектоническими процессами, или *тектогенезом.* Тектонические движения – механические перемещения масс горных пород различного масштаба, сопровождающиеся изменениями их залегания и строения, а также связанными с этими изменениями деформациями (дислокациями). Тектоническим движениям принадлежит ведущая роль в развитии всех геологических процессов, так как они обусловливают перераспределение и трансформацию внутренней энергии Земли, влияют на изменение давления, интенсификацию теплопотока и т.д.

Упрощенно в зависимости от интенсивности, преимущественной направленности и геологических результатов тектонические движения можно разделить на две основные группы - *колебательные и дислокационные.*

3.3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГМАТИЗМА

Магматизмом называют явления, связанные с образованием, изменением состава и движением магмы из недр Земли к ее поверхности. Магма представляет собой природный высокотемпературный расплав, образующийся в виде отдельных очагов в литосфере и верхней мантии, главным образом в астеносфере. Подъем магмы и прорыв ее в вышележащие горизонты происходят вследствие инверсии плотностей, при которой внутри литосферы появляются очаги менее плотного, но мобильного расплава. Магматизм - это глубинный процесс, обусловленный тепловым и гравитационными полями Земли.

В зависимости от характера движения магмы различают магматизм интрузивный и эффузивный. При ***интрузивном магматизме*** (плутонизме) магма не достигает земной поверхности, а активно внедряется во вмещающие вышележащие породы, частично расплавляя их, и застывает в трещинах и полостях коры. При ***эффузивном магматизме*** (вулканизме) магма через подводящий канал достигает поверхности Земли, где образует вулканы различных типов, и застывает на поверхности. В обоих случаях при застывании расплава образуются магматические горные породы. Температуры магматических расплавов, находящихся внутри земной коры, судя по экспериментальным данным и результатам изучения минерального состава магматических пород, находятся в пределах 700-1100°С.

Измеренные температуры магм, излившихся на поверхность, в большинстве случаев колеблются в интервале 900-1100°С, изредка достигая 1350°С. Более высокая температура наземных расплавов обусловлена тем, что в них протекают процессы окисления под воздействием атмосферного кислорода. На больших глубинах в магме в растворенном состоянии присутствуют летучие компоненты - пары воды и газов (H_2O, H_2, CO_2, HCl и др.). В условиях высоких давлений их содержание может достигать 12%. Они являются химически очень активными подвижными веществами и удерживаются в магме только благодаря высокому внешнему давлению.

3.4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАМОРФИЗМА

Метаморфизм - преобразование горных пород под действием эндогенных процессов, вызывающих изменение физико-химических условий в земной коре. Преобразованию могут подвергаться любые горные породы: осадочные, магматические и ранее образовавшиеся метаморфические. Изменение минерального состава при метаморфизме может протекать ***изохимически,*** т. е. без изменения химического состава метаморфизуемой породы, и ***метасоматически,*** т. е. со значительным изменением химического состава метаморфизуемой породы за счет привноса и выноса вещества. Изменение структуры и текстуры пород обычно происходит в процессе перекристаллизации вещества. Особенность метаморфических процессов заключается в том, что они протекают с сохранением твердого состояния системы.

Метаморфизм представляет собой сложное физико-химическое явление, обусловленное комплексным воздействием температуры, давления и химически активных веществ.

3.5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Экзогенные геологические процессы в отличие от эндогенных протекают в самых верхних слоях земной коры на её границе с внешними геосферами Земли. Их энергетической основой является энергия солнечной радиации и сил гравитации. Экзогенные процессы протекают при нормальных значениях температуры и давления с поглощением тепла и направлены на дифференциацию вещества земной коры. Выделяют четыре группы (стадии) экзогенных геологических процессов: выветривание, денудацию, аккумуляцию, диагенез.

Выветривание (нем. "веттер" - погода) представляет собой процесс глубокого изменения магматических, метаморфических и осадочных горных пород и минералов, оказавшихся неустойчивыми в условиях земной поверхности. Изменение физического и химического состояния первичных минералов и горных пород происходит в месте их залегания в результате физического, химического и биологического воздействия воды, углекислого газа, различных минеральных и органических кислот, живых организмов, а также непосредственного воздействия солнечной радиации.

Денудация (лат. "денудацио" - обнажение) - это совокупность процессов удаления (сноса и переноса) продуктов выветривания с места их образования и непосредственного разрушения горных пород агентами денудации (силы гравитации, воды континентов, морей и океанов, ветер, ледники). Перемещая материал с возвышенностей в пониженные участки рельефа, денудационные процессы приводят к разрушению земной поверхности и образованию выровненных форм рельефа.

Аккумуляция (осадконакопление) - геологические процессы, в результате которых рыхлые продукты разрушения первичных горных пород накапливаются в понижениях рельефа: в речных долинах, озёрах, болотах, морях и океанах.

Диагенез (перерождение) представляет собой сложный процесс преобразования продуктов экзогенной деятельности (осадков) в осадочные горные породы под влиянием гравитационных сил и изменения физико-химических условий в приповерхностной части земной коры.

Все экзогенные геологические процессы тесно взаимосвязаны. Благодаря выветриванию происходит подготовка материала для денудации, а сами продукты выветривания, оставшиеся на месте, являются материалом для образования новых горных пород.

Основными результатами экзогенных геологических процессов являются изменения вещественного состава верхней части земной коры, дифференциация вещества по физическим и химическим свойствам, создание толщ осадочных горных пород и форм

рельефа земной поверхности. Благодаря экзогенным процессам формируются почвы и полезные ископаемые. Около 60% мировой добычи полезных ископаемых связано с продуктами экзогенной деятельности.

Вместе с тем разрушения берегов рек, озёр и морей, обвалы, оползни, снежные лавины, размыв и разрушение склонов, рост оврагов и заболачивание территорий - это также результаты деятельности экзогенных геологических процессов

4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земную кору — верхнюю твердую оболочку Земли - слагают горные породы (магматические, осадочные и метаморфические), состоящие из определенного сочетания минералов, в состав которых входят различные химические элементы. Изучая такую иерархию: химические элементы – минералы – горные породы, можно судить о строении земной коры в различных структурных зонах.

4.1. МИНЕРАЛЫ

Подавляющие большинство химических элементов образуют в земной коре простые или сложные соединения (исключения составляют инертные газы и некоторые самородные элементы). Химические соединения, образовавшиеся в земной коре в результате природных процессов и обладающие определенными химическим составом и физическими свойствами, называются ***минералами.*** Установлено, что в земной коре содержится около 4000 минералов.

Любой минерал обладает вполне определённым химическим составом и вполне определённой кристаллической структурой, т.е. закономерным расположением в пространстве элементарных частиц (молекул, атомов, ионов). В зависимости от особенностей химического состава и кристаллической структуры минералы образуют многогранники различной формы, называемые кристаллами. Эти же характеристики минералов (химический состав и кристаллическая структура) обуславливают все физические свойства, такие, как цвет, блеск, твёрдость и т.д.

4.2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Горными породами называются устойчивые парагенетические ассоциации минералов, возникающие в результате определённых геологических процессов и образующие геологически самостоятельные тела в земной коре. Науки, изучающие горные породы, - петрография, литология, астрофизика и физика горных пород.

Традиционно под горными породами подразумеваются только твёрдые тела, в широком применении к горным породам относят также воду, нефть и природные газы.

Горные породы могут слагаться как одним минералом, так и их комплексом. Минералы, входящие в состав горной породы и определяющие её состав и свойства, называются ***породообразующими***

Если горные породы состоят из одного минерала (кварцит, известняк, каменная соль), они называются ***мономинеральными,*** если же из нескольких -***полиминеральными*** (гравий, глина).

Все горные породы обладают комплексом морфологических особенностей, которые объединяют в понятия структура и текстура. Наряду с химическим и минеральным составом структура и текстура являются важнейшими диагностическими признаками горных пород.

По происхождению горные породы делятся на три класса: осадочные, магматические и метаморфические.

Осадочные горные породы образуются только на поверхности земной коры при разрушении_любых, ранее существовавших горных пород, в результате жизнедеятельности и отмирания организмов и выпадения осадков из пересыщенных растворов.

Магматические горные породы возникают путём кристаллизации природных силикатных расплавов внутри земной коры или на её поверхности.

Метаморфические горные породы возникают путем коренного преобразования магматических, осадочных и ранее существовавших метаморфических пород под влиянием высоких температур, давления и химически активных растворов.

5. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Строение земной коры рассматривается отдельно по той причине, что эта геосфера является основным объектом геологии и средой горного производства.

Земная кора - это верхняя каменная оболочка Земли, сложенная магматическими, метаморфическими и осадочными породами и имеющая мощностьот 7 до 75 км. Она представляет собой наиболее активный слой твёрдой Земли - сферу деятельности магматических и тектонических процессов. Нижняя граница земной коры как бы зеркально повторяет поверхность Земли. Под материками она глубоко опускается в мантию, под океанами приближается к поверхности Земли.

Выделяют два главных типа земной коры: континентальную и океаническую.

Мощность ***континентальной*** коры в зависимости от тектонических условий меняется в среднем от 25-45 . (на платформах) до 45-75 км (в областях горообразования), однако в пределах каждой геоструктурной области она не остаётся строго постоянной. В континентальной коре различают осадочный, гранитный и базальтовый слои.

Мощность осадочного слоя достигает 20 км , но распространён он не повсеместно. Названия гранитного и базальтового слоев условны и исторически связаны с выделением разделяющей их границы Конрада, хотя последующие исследования показали некоторую сомнительность этой границы.

Основное отличие ***океанической*** коры от континентальной - отсутствие гранитного слоя, существенно меньшая мощность (2-10 км), более молодой возраст (юра, мел, кайнозой), большая латеральная однородность. Океаническая кора состоит из трёх слоев. Первый слой, или осадочный, характеризуется широким диапазоном скоростей и мощностью до 2 км. Второй слой, или акустический фундамент, имеет среднюю мощность 1,2-1,8 км. Глубоководным бурением установлено, что этот слой сложен сильно трещиноватыми и брекчированными базальтами, которые с увеличением возраста океанической коры становятся более консолидированными. Третий слой сложен породами в основном габброидного состава.

Кроме двух главных типов земной коры выделяется кора переходного типа - субконтинентальная в островных дугах и субокеаническая на континентальных окраинах.

Участки земной коры, различающиеся типом геологического строения, называются ***структурными элементами.*** *С* точки зрения закономерностей пространственного строения земной коры океаны и континенты - это ***структуры*** **I** (планетарного) порядка . В пределах структурных элементов I порядка по особенностям геологического строения и развития выделяются структуры П порядка: на материках - платформы и геосинклинальные пояса, на океанической коре - талассократоны и срединно - океанические хребты.

6. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Геология - наука естественно-историческая, и поэтому особо важное значение имеет ее раздел, посвященный изучению развития геологических событий по времени. Задачи исторической геологии - восстановление физико-географических обстановок накопления осадков в различные эпохи, последовательности формирования пород и их распределения по относительному возрасту, изучение истории развития органического мира от древнейших эпох до настоящего времени.

6.1. ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ И СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛЫ

В геологии как в никакой другой науке важна последовательность установления событий, их хронологии, основанной на естественной периодизации геологической истории. Геологическая хронология, или геохронология, основана на выяснении геологической истории наиболее хорошо изученных регионов. На основе широких обобщений, сопоставления геологической истории различных регионов Земли, закономерностей эволюции органического мира в конце прошлого века на первых международных геологических конгрессах была выработана и принята Международная геохронологическая шкала, отражающая последовательность подразделений времени, в течение которых формировались определённые комплексы отложений, и эволюцию органического мира. Таким образом, Международная геохронологическая шкала - это естественная периодизация истории Земли.

Среди геохронологических подразделений выделяются: зон, эра, период, эпоха, век, время. Каждому геохронологическому подразделению отвечает комплекс отложений, выделенный в соответствии с изменением органического мира и называемый стратиграфическим: эонотема, группа, система, отдел, ярус, зона. Таким образом существует две шкалы - геохронологическая и стратиграфическая. Первую мы используем, когда говорим об относительном времени в истории Земли, а вторую, когда имеем дело с отложениями. В настоящее время выделяют три наиболее крупных стратиграфических подразделения - эонотемы: архейскую, протерозойскую и фанерозойскую.

6.2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Представления о закономерностях формирования земной коры развивались на протяжении длительного времени по мере накопления фактического материала, совершенствования геологических и геофизических методов исследований. Особое значение на современном этапе развития теоретической геологии имеют данные, полученные при изучении обширных океанических территорий, и результаты космических исследований.

Гипотезы горизонтального дрейфа континентов

Механизм горизонтального перемещения континентальных глыб был разработан в 1929г. американским учёным А.Холмсом. Его гипотеза подкоровых течений предполагает существование в мантии (субстрате) медленных конвективных потоков, обусловленных различным накоплением тепла под континентами и океанами. Восходящие конвективные потоки приводят к разрыву коры, раздвиганию блоков и образованию молодого океанического дна. В районах нисходящих потоков, наоборот, блоки сталкиваются, сминаются, образуя системы надвигов, шарьяжей, а глубинные слои коры даже вовлекаются в мантию, переходя в глубинные аналоги базальтов - эклогиты.

Можно отметить, что с разработкой гипотезы А.Холмса идеи мобилизма получили новый импульс, обусловивший их широкую популярность и в наши дни. Кроме того, в последние годы при изучении строения дна океанов получены новые данные, которые

также используются для подтверждения возможности горизонтального дрейфа. Эти данные послужили основой гипотезы новой глобальной тектоники, или тектоники плит. Гипотеза разработана американскими учёными Г.Хессом и Р.Дицем. Значительный вклад в её развитие внесли зарубежные и советские геологи.

Основные идеи, положенные в основу гипотезы тектоники плит, связаны с открытием зон формирования молодой океанической коры в зонах рифтообразования и зон поглощения коры у глубоководных желобов.

По мнению авторов гипотезы, в зонах рифтообразования происходит "раздвигание" плит литосферы с образованием молодой океанической коры в центральной рифтовой зоне. Это явление называется ***спредингом*** океанического дна, характеризуется прерывистостью, сопровождается внедрениями мантийного вещества из астеносферы и разрывами маломощных базальтов в рифтовой зоне. С этой активной зоной связаны проявления вулканизма, неглубокие зоны землетрясений и аномалии теплового потока.

Образование новой коры в зонах спрединга сопровождается поглощением блоков (плит) литосферы в других участках нашей планеты. По мнению авторов гипотезы, такими участками являются зоны глубоководных океанических желобов, в которых происходит прерывистое поддвигание одной плиты литосферы под другую. Это явление называется ***субдукцией,*** сопровождается кратковременным выделением значительной механической энергии в виде землетрясений, проявлений вулканизма. Длительное поддвигание океанической коры под континентальную приводит к деформации окраинного моря, смещению островной дуги к континенту и складкообразованию. При этом поддвигание может смениться развитием обширных надвигов океанической коры - ***обдукцией***. Другим путём образования орогенных зон, по мнению авторов гипотезы, является столкновение - ***коллизия*** континентов.

Движущие силы механизма перемещения блоков литосферы авторы гипотезы тектоники плит связывают с конвективным перемешиванием мантийного вещества, что близко к взглядам А.Холмса. Однако в отличие от положений гипотезы подкоровых течений, в соответствии с рассматриваемой гипотезой потоки мантийного вещества здесь замыкаются на уровне астеносферы.

Таким образом, в соответствии с гипотезой тектоники плит под действием потоков мантийного вещества происходят глобальные перемещения континентов, но не изолированно, как считал А.Вегенер, а в составе мощных плит литосферы. При таком горизонтальном перемещении плит в зонах спрединга происходит обновление коры, а в зонах субдукции - её поглощение и растворение в астеносфере.

По современным данным, литосфера состоит из семи крупных плит, ограниченных зонами спрединга, субдукции или смятия: Тихоокеанской, Евразиатской, Индийской, Африканской, Антарктической, Северо-Американской и Южно-Американской.

7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

7.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Важнейший раздел геологии, позволяющий решать обширные прикладные задачи, - учение о полезных ископаемых. Он включает в себя совокупность сведений о геологической позиции и закономерностях размещения месторождений различных полезных ископаемых, методику поисков и экономику минерального сырья, тесно соприкасается с технологий переработки руд и извлечения из них ценных компонентов.

Полезным ископаемым называют природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путем дробления, сортировки, обогащения для

извлечения ценных металлов или минералов. По физическому состоянию полезные ископаемые бывают газообразными, жидкими и твердыми. К первым относятся горючие газы углеводородного состава и негорючие инертные газы, ко вторым - нефть, рассолы, вода, к третьим - большинство полезных ископаемых, которые применяются как химические элементы или их соединения, а также в виде кристаллов, минералов, горных пород. По промышленному использованию полезные ископаемые разделяются на ***металлические, неметаллические, горючие или каустобиолиты, гидро-и газоминеральные.***

Металлические полезные ископаемые служат для извлечения из них металлов и элементов: черных (железо, титан, хром, марганец и др.); легирующих (никель, кобальт, вольфрам, молибден и др.); цветных (алюминий, свинец, цинк, сурьма, ртуть и др.); благородных (золото, серебро, платина, палладий и др.); радиоактивных (уран, радий, торий и др.); редких и рассеянных (висмут, цирконий, ниобий, тантал, галлий, германий, кадмий, индий и др.); редкоземельных (лантан, церий, иттрий, прометий, самарий, лютеций и др.).

К *неметаллическим* полезным ископаемым принадлежат строительные горные породы (естественные строительные камни, пески, глины, сырье для каменного литья, стекол и керамики и др.), индустриальное (алмаз, графит, асбест, слюды, драгоценные и поделочные камни, пьезокристаллы, оптические минералы и др.), а также химическое и агрономическое сырье (сера, флюорит, барит, галит, калийные соли, апатит, фосфориты и др.).

Горючие ископаемые включают торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, озокерит, нефть, горючий газ. Они служат энергетическим и металлургическим топливом, а также сырьем для химической промышленности.

К ***газоминеральному*** сырью относятся негорючие инертные газы: гелий, неон, аргон, криптон и др.

Гидроминеральные полезные ископаемые разделяются на подземные воды питьевые, технические, бальнеологические или минеральные и нефтяные, содержащие ценные элементы (бром, йод, бор, радий и др.) в количестве, позволяющем извлекать их, а также рассолы (озерные рассолы, минеральные грязи, илы). Важным гидроминеральным сырьем являются воды морей и океанов, используемые для получения пресной воды и извлечения многих ценных элементов.

Рудой называется минеральное сырье, содержащее ценные полезные компоненты (металлы, их соединения, минералы) в количестве, достаточном для промышленного извлечения при современном состоянии экономики, техники и технологии. В зависимости от вида извлекаемого компонента выделяются руды металлические (железные, медные, свинцово-цинковые и т. д.) и неметаллические (серные, асбестовые, графитные, апатитовые и др.). По количеству компонентов руды различают монометалльные (мономинеральные), биметалльные (биминеральные) и полиметалльные (полиминеральные).

Месторождением **полезного ископаемого** называется его природное в виде геологических тел скопление в земной коре, которое по условиям залегания, количеству и качеству минерального сырья при данном состоянии экономики и техники может служить объектом промышленной разработки в настоящее время или в ближайшем будущем. К месторождениям полезных ископаемых промышленность предъявляет требования, определяемые технической возможностью и экономической целесообразностью их разработки.

Совокупность требований промышленности к минеральному сырью называется ***кондициями*** - они не являются постоянными и зависят от экономических условий и состояния техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Площади распространения полезных ископаемых в порядке их уменьшения разделяются на провинции, области (пояса, бассейны), районы (узлы), поля, месторождения, тела.

Телом полезного ископаемого называют ограниченное со всех сторон скопление минерального вещества, которое приурочено к отдельным структурным элементам или их комбинациям.

7.2. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Являясь природными минеральными образованиями, все полезные ископаемые обладают определенным вещественным (минеральным и химическим) составом, строением или структурно-текстурными особенностями, а также некоторым комплексом физических, физико-химических и технологических свойств. Все эти характеристики в общем случае обусловливают качество полезных ископаемых, которое имеет важнейшее значение для оценки месторождений с целью их промышленного использования.

Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных, или ценных, и сопутствующих им нерудных, или жильных, минералов. В металлических рудах рудные минералы являются носителями ценных металлов, в неметаллических - минералы сами представляют практический интерес благодаря специфическим свойствам.

По составу преобладающей части минералов выделяются следующие типы руд:

самородные - самородные металлы и интерметаллические соединения - медь, золото, платина и др.;

сернистые **и им** подобные - сульфиды, арсениды и антимониды тяжелых металлов - меди, цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена и др.;

оксидные - оксиды и гидроксиды железа, марганца, хрома, олова, урана, алюминия и др.;

карбонатные - карбонаты железа, марганца, магния, свинца, цинка, меди и др.;

сульфатные - сульфаты бария, стронция, кальция и др.;

фосфатные - *апатитовые и фосфоритовые неметаллические руды, а также фосфаты некоторых металлов и др.;*

силикатные - *сравнительно редкие руды железа, марганца, меди; широко распространенные неметаллические полезные ископаемые - слюды, асбест, тальк и др.;*

галоидные - *минеральные соли и флюорит и др.*

По вещественному составу, определяющему промышленную ценность и технологические свойства, полезные ископаемые разделяются на природные типы и промышленные сорта.

7.3. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В настоящее время известно несколько десятков генетических классификаций месторождений полезных ископаемых. Наиболее известной является классификация В.И.Смирнова.

Эндогенные месторождения, к числу которых относятся скопления полезных ископаемых, прямо или косвенно связанные с магматической деятельностью, подразделяют на: собственно магматические, пегматитовые и постмагматические.

Магматическими называются месторождения, образующиеся из жидких магматических расплавов в процессе их внедрения и раскристаллизации. При подъеме магматических расплавов в верхние горизонты земной коры и остывании происходит их дифференциация, с чем связана концентрация, а иногда и полное обособление рудных компонентов. Процессы образования магматических месторождений достаточно сложны. В одних случаях месторождения образуются в результате внедрения

магмы, обогащенной рудными компонентами еще на глубине, в других - рудные концентрации возникают из магм при ее подъеме, в третьих - лишь на месте становления интрузива.

Главная особенность всех магматических месторождений - их связь с материнскими интрузивами, которые рассматриваются как вещественный или энергетический источник оруденения. Магматические месторождения разделяются на генетические подгруппы: ликвационные, раннемагматические и позднемагматические.

В группу ***экзогенных*** включаются скопления полезных ископаемых, которые образуются при экзогенных процессах в результате химической, биохимической и механической дифференциации вещества земной коры. По способу накопления осадочного материала различают месторождения выветривания и осадочные.

К ***месторождениям выветривания*** относятся остаточные и инфильтрационные месторождения. ***Остаточные*** месторождения полезных ископаемых образуются при физическом и химическом выветривании горных пород, которое сопровождается гидролизом породообразующих минералов, растворением и выносом неустойчивых компонентов.

К **осадочным месторождениям** относятся аллювиальные и прибрежно-морские россыпи, химические и биохимические осадочные месторождения.

Метаморфизованными называют месторождения любого происхождения, испытавшие метаморфические преобразования одновременно с вмещающими породами. При этом процессы метаморфизма могут выражаться в изменении и преобразовании структур и текстур, изменении характера минерального состава руд, а также в переотложении рудного вещества, изменении формы рудных тел, рассланцевании и изменении состава вмещающих пород.

Под ***метаморфическими*** месторождениями понимают такие месторождения, которые возникли в результате метаморфизма горных пород, до того не содержащих промышленных рудных скоплений и не представляющих собой полезного ископаемого. К возникающим в процессе метаморфизма собственно метаморфическим месторождениям относятся месторождения высокоглиноземистого сырья (кианит, андалузит, силлиманит), графита, гранулированного кварца, слюды, амфибол-асбеста, корунда, наждака, граната, титана и др.

8. СИСТЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

Геологическое изучение недр в России производится последовательно и планомерно с тем, чтобы не только получить необходимую геологическую информацию о недрах, но и своевременно выявить промышленные и отбраковать непромышленные скопления полезных ископаемых. В общей системе геологического изучения недр можно выделить три крупных этапа. Этапы геологического изучения включают несколько последовательных стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения.

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр прогнозирование полезных ископаемых.

Этап II. Поиски и оценка месторождений.

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3.Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождений.

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

На каждой стадии геологического изучения недр осуществляется их геолого-промышленная оценка, заключающаяся в определении действительной или возможной

значимости изучаемого участка земной коры, в котором содержатся или могут содержаться скопления полезной минерализации или же предполагается горное строительство. С этой целью исследуются состав и строение горных пород и полезного ископаемого, условия залегания, степень и характер тектонической нарушенности, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики месторождения, географо-экономические условия района и т. п.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Для более углубленного изучения отдельных разделов геологических дисциплин рекомендуем воспользоваться следующими методическими указаниями.

Часть 1. Минералы.

Часть 2. Магматические горные породы.

Часть 3. Метаморфические горные породы.

Часть 4. Осадочные горные породы.

Часть 5. Организация геологических экскурсий.

Часть 6. Художественная обработка камнесамоцветного сырья.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4
1. ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ……7
1.1.Оконтуривание рудного тела в разрезе скважины и в поперечном сечении……7
1.2. Оконтуривание пластообразной рудной залежи на плане……12
2. ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ……16

ВВЕДЕНИЕ

Оконтуривание месторождений полезных ископаемых – это определение на горизонтальной, вертикальной проекциях и разрезах границ контуров распространения залежей полезного ископаемого или его частей (отдельных тел, блоков, горизонтов). Оно производится по показателям кондиций: бортовому содержанию полезного компонента, минимальному промышленному содержанию, минимальной мощности тела полезного ископаемого или метропроценту и ряду других. Оконтуривание месторождений полезных ископаемых – этап, предшествующий подсчету запасов полезных ископаемых. Оконтуривание сводится к установлению опорных точек контура объекта по естественным обнажениям, горным выработкам, разведочным скважинам и построению по ним линии подсчетного контура залежи. Для подсчета запасов отстраивается промышленный контур, ограничивающий кондиционные участки тела полезного ископаемого. Он может быть внутренним и внешним. **Внутренний** контур отстраивается через крайние разведочные пересечения, встретившие полезное ископаемое; **внешний** – через точки предполагаемых естественных или условных (экстраполированных) границ распространения месторождения.

В пределах выработки опорные точки устанавливаются по данным замеров, непосредственных наблюдений и опробования. При четких геологических границах подсчетный контур совпадает с геологическим. При сложном распределении полезных компонентов оконтуривание производят по пробе с бортовым содержанием, по мощности или метропроценту (произведению величины мощности на содержание). При отстройке подсчетного контура установленные по отдельным выработкам опорные точки переносятся на планы, разрезы или проекции и соединяются прямыми или изогнутыми (согласно геологической структуре) линиями. Положение опорных точек между крайними пересечениями с кондиционными и некондиционными показателями находят способом интерполяции. За пределами выработок с кондиционными показателями при отсутствии оконтуривающих пересечений подсчетный контур определяют методом экстраполяции с использованием геолого-геофизических данных по месторождению.

Запасы, оконтуренные по достаточно густой сети разведочных пересечений, могут быть отнесены к категориям *A* и *B*, а на объектах сложного геологического строения – к категории C_1. Запасы, распо-

ложенные за пределами внутреннего контура, обычно относятся к категориям C_2 и реже – C_1.

Подсчетом запасов называется операция по определению количества промышленно пригодного минерального сырья в недрах. Разведанные и правильно учтенные запасы полезных ископаемых представляют надежную основу для экономики страны. Поэтому обоснованный подсчет запасов для разных видов минерального сырья имеет важное государственное значение. Хотя подсчет запасов является вычислительной операцией, в его основе лежит методически обоснованная разведка и всестороннее изучение геологического строения месторождения полезного ископаемого.

По Л. И. Четверикову (1984) понятие «**методика разведки**» является базовым понятием теории разведки. Оно включает в себя: а) комплекс локальных наблюдений и замеров разведочных параметров (метод разведки); б) способы осуществления этих наблюдений и замеров; в) методы обработки, анализа и оценки разведочной информации; г) интерпретацию данной информации и создание эмпирической модели разведуемых недр. Пункт «а» занимает особое положение. Он реализуется через разведочные системы. Вслед за А. Б. Кажданом [1, 2] под разведочной системой мы понимаем совокупность определенным образом расположенных разведочных пересечений. По пространственной ориентировке разрезов разведочные системы подразделяются на три класса: 1) вертикальных разрезов; 2) горизонтальных разрезов; 3) продольных разрезов. Выбор системы разведки зависит от ряда факторов: а) поставленных задач и выбранной методики разведки; б) горно-геологических особенностей разведки; в) имеющихся технических средств; г) географо-геоморфологических и экономических факторов. Оптимальной будет такая система разведки, которая позволит решить поставленные задачи и осуществить оценку недр с наименьшей затратой времени и материально-технических средств.

Подсчет запасов и сопутствующее ему изучение месторождений проводятся для: а) определения количества минерального сырья в недрах с выяснением распределения запасов по отдельным сортам и участкам месторождения; б) обоснования степени надежности цифр подсчета запасов и степени изученности месторождения; в) сбора необходимых данных для геолого-экономической оценки разведуемого месторождения, включающей обоснование способа вскрытия и отработки объекта, оценку технологических свойств и качеств минераль-

ного сырья, расчет экономической целесообразности промышленного освоения.

Запасы какого-либо компонента (например, металла) в недрах рудного месторождения рассчитываются по формуле

$$P = Q \cdot c,$$

где P – запасы компонента (например, металла); Q – запасы минерального сырья (например, руды); c – среднее содержание компонента в контуре подсчитываемых запасов (например, среднее содержание металла в руде).

Если «c» выражено в процентах, то $P = Q\dfrac{c}{100}$.

Запасы минерального сырья (Q) определяются по формуле

$$Q = V \cdot d\ ,$$

где V – объем тела полезного ископаемого, по которому производится подсчет запасов, м^3; d – объемная масса минерального сырья в недрах, т/м^3.

Объем тела полезного ископаемого (V) определяется по формуле

$$V = S \cdot m,$$

где S – площадь полезного ископаемого, м^2; m – средняя мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчитываемых запасов, м.

В итоге формулу подсчета запасов можно выразить так: $P = S \cdot m \cdot d \cdot c$

$$\text{или}\quad P = \frac{S \cdot m \cdot d \cdot c}{100}.$$

Запасы минерального сырья в недрах (Q) устанавливаются в следующих единицах: 1) запасы руды коренных металлических месторождений твердых полезных ископаемых – в тыс. т; 2) запасы песков россыпных месторождений, пород для строительных целей и др. – в тыс. м^3 или млн м^3. Запасы компонентов учитываются в т или в тыс. т. При этом для железа, марганца, хрома, ванадия и алюминия определяются только запасы сырой руды (Q) и среднее содержание в ней металла (c), а запасы металлов (P) не вычисляются. Запасы благородных металлов (золота, платины, серебра) определяются в кг или т. При подсчете запасов алмазов содержание выражается в каратах (1 карат = 200 мг) или граммах.

Запасы подсчитываются по месторождениям (участкам) по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе их изучения и промышленного освоения. Они оцениваются в недрах без введения поправок на потери и разубожи-

вания при добыче, обогащении и переработке концентратов. В комплексных месторождениях подлежат подсчету запасы основных и совместно залегающих с ними полезных ископаемых, а также содержащиеся в них основные и попутные полезные компоненты (металлы, минералы, химические элементы и их соединения), целесообразность промышленного использования которых определена кондициями на минеральное сырье.

1. ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Важнейшим элементом разведки месторождений полезных ископаемых является оконтуривание залежей, позволяющее определить их форму и внутреннее строение. Оконтуривание ведется по показателям кондиций, которые зависят от способа определения границ тела полезного ископаемого (визуальный или путем опробования), от характера распределения полезного компонента (равномерное, неравномерное) и от сложности внутреннего строения.

Первоначально выполняется оконтуривание тела по разведочной выработке, а затем оконтуривание в разведочном сечении и на плане. По данной теме предлагаются два задания, работа над которыми дает студенту представление об оконтуривании рудных залежей. В обоих заданиях контуры промышленного оруденения устанавливаются по данным опробования. Это позволяет при выполнении каждого задания убедиться в тесной связи количества балансовых запасов от качества полезного ископаемого. В каждом задании следует показать штриховкой распределение балансовых и забалансовых запасов.

1.1. Оконтуривание рудного тела в разрезе скважины и в поперечном разведочном сечении

Дано: поперечный геологический разрез пластообразной залежи гипергенных никелевых руд, полученный по данным эксплуатационной разведки (рис. П. 1 – П. 3). Разведочные скважины расположены друг от друга на расстоянии 10-15 м. Длина керновых проб 2 м. Содержание никеля вынесено рядом с соответствующими пробами. Фрагмент этого разреза приведен на рис. 1. Для реализации индиви-

дуальной самостоятельной работы каждого студента на группу выдается 3 разреза по 10 вариантов в каждом.

В процессе оконтуривания следует руководствоваться следующими кондициями:

1. Минимальная рабочая мощность – 2 м.

2. Максимальная мощность пустых пород и забалансированных руд, включаемых в промышленный контур рудного тела, – 2 м.

3. Бортовое содержание никеля повариантно (табл. 1).

Таблица 1

Кондиции для оконтуривания по конкретным вариантам задания

Варианты		Бортовое содержание никеля, % масс.	Минимальное промышленное содержание никеля по блоку, % масс.
нечетные скважины	четные скважины		
1, 11, 21	6, 16, 26	0,7	1,05
2, 12, 22	7,17,27	0,8	1,10
3, 13, 23	8, 18, 28	0,9	1,15
4, 14, 24	9,19,29	1,0	1,20
5, 15, 25	10, 20, 30	1,1	1.30

4. Минимальное содержание никеля, принятое за нижний предел для оконтуривания забалансовых руд, составляет 0,5 % масс.

Необходимо:

а) пользуясь кондициями, определить опорные точки для оконтуривания в пределах каждой выработки; отметки кровли и подошвы залежи соединить пунктирной линией;

б) вычислить и поставить над скважиной в виде дроби мощность рудной залежи (числитель) и среднее содержание никеля в процентах (знаменатель);

в) провести контуры забалансовых руд в разведочном сечении;

г) вычислить площадь балансовых руд в разрезе и линейный запас никеля, приняв значение объемной массы сухой руды, равной 1,15 т/м^3;

д) исследовать зависимость линейного запаса балансовых руд (количество) от уровня бортового содержания, принятого при оконтуривании.

Методические указания к выполнению работы.

Каждый студент получает разведочный профиль с исходными данными для оконтуривания в соответствии с вариантом задания (1-10, 11-20, 21-30), определяемым согласно порядковому номеру студента в групповом журнале. Каждый вариант предусматривает обработку данных по четным или нечетным скважинам, входящим в разведочный профиль.

Наметив по заданному бортовому содержанию верхнюю границу рудного тела по каждой скважине, следует соединить из жирной пунктирной линией, соответствующей положению в пространстве кровли рудного тела. Затем аналогичным образом необходимо провести пунктирную линию, соединяющую отметки подошвы рудного тела.

Далее необходимо выделить участки забалансовых руд, включаемых в контур рудного тела. Как правило, они соответствуют спаренному положению двух проб с некондиционным (ниже бортового) содержанием никеля.

Наметив внешние и внутренние границы забалансовых руд, нужно определить среднее содержание никеля по скважине и общую мощность рудного тела по скважине (среднеарифметическим способом). Оба параметра выносятся в виде дроби над скважиной.

На рис. 1 дан пример оконтуривания на одном из участков разреза. При бортовом содержании никеля 0,8 % по скважине № 1 мощность залежи составила 10 м, так как некондиционный интервал с содержанием 0,53 % не превышает 2 м. Среднее содержание никеля по пяти пробам составило 0,95 %.

Скважина 3 вскрыла внутри рудного тела интервал забалансовых руд мощностью 4 м (0,70 и 0,75 %). Поскольку согласно кондициям внутри рудного тела такие руды могут присутствовать лишь в виде прослоев не более 2 м, этот интервал исключается из контура балансовых руд. Однако, если такой участок окружен балансовыми рудами в соседних скважинах, он вычленяется на разрезе как «островок» забалансовых руд. Некондиционные интервалы мощностью 2 м, располагающиеся среди кондиционных, включаются в контур балан-

совых руд без каких-либо ограничений. Примером может служить интервал с содержанием 0,7 % никеля по скважине 5 (см. рис. 1). В случае более высоких требований кондиций к качеству руд ($C_{б.}$ = 0,9 % масс), этот интервал совместно с соседним (0,8 %) вычленяется из рудного контура как «окно» забалансовых руд.

После проведения контура балансовых руд следует проверить правильность оконтуривания. С этой целью необходимо вычислить среднее значение мощности рудного тела (среднеарифметическое) и среднее содержание никеля по разведочному сечению (средневзвешенное). При соблюдении неравенства $\overline{C} \geq C_{\text{мин. пр.}}$ можно считать оконтуривание завершенным. Если среднее содержание никеля меньше минимального промышленного, нужно исключить из расчета среднего значения скважины с наименьшим содержанием никеля (одну-две) и вновь проверить наличие приведенного выше неравенства.

Закончив оконтуривание балансовых руд, следует провести, по соответствующему показателю кондиций, контуры забалансовых руд (верхний и нижний) и показать распространение названных типов руд в разведочном сечении соответствующей штриховкой (см. рис. 1). Проведя оконтуривание балансовых руд по разрезу, нужно определить их площадь (S) в м^2, учитывая соотношение вертикального и горизонтального масштабов. Это можно сделать с помощью палетки или умножением длины залежи в разрезе на среднюю ее мощность, вычисленную ранее. В качестве палетки можно использовать кальку, на которой равномерно по квадратной сетке (1,0 х 1,0 см) нанесены яркие (жирные) точки, каждая из которых соответствует единичной площадке, определяемой произведением знаменателей горизонтального и вертикального масштабов. В нашем случае это 20 м^2 (1:1000 и 1:200). Если точки на палетке нанести через 0,5 см, то площадь зоны влияния каждой точки будет 5 м^2. Точки, попавшие на границу контура, соответствуют половине единичной площадки (10 или 2,5 м^2 соответственно). Для повышения точности вычисления площади определение площади по палетке следует выполнить дважды.

Затем необходимо определить линейный запас никеля ($P_{\text{Ni}i}$) в слое 1 м, пользуясь формулой

$$P_{\text{Ni}} = S \cdot 1 \cdot d \cdot \overline{C} \cdot 100^{-1},$$

где S - площадь балансовых руд, м^2; d - объемная масса сухой руды, т/м^3; $\overline{C}$ - среднее содержание никеля по разрезу, % масс.

Заключительная часть работы состоит из исследования связи количества руды (линейный запас) от его качества (среднее или бортовое содержание никеля). Для этого студенты, выполнявшие оконтуривание при различных вариантах бортового содержания, но при одинаковых исходных данных (варианты 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25, 26-30), объединяются в группы по пять человек для обмена полученными результатами и их обсуждения. Обменявшись значениями вычисленных линейных запасов никеля в балансовых рудах, каждый студент строит график зависимости величины линейного запаса (ордината) от бортового содержания (абсцисса). В итоге он убеждается в конкретном проявлении зависимости подсчитанных запасов от принятых кондиций.

Итоги проделанной работы отображаются на правой стороне отчетного бланка, где последовательно (сверху вниз) приводятся следующие данные:

- промышленные кондиции, использованные при оконтуривании (бортовое и минимальное промышленное содержание никеля);
- среднее содержание никеля по разрезу в сопоставлении с минимальным промышленным, % масс;
- средняя мощность рудного тела, м;
- площадь балансовых руд в разведочном сечении, $м^2$;
- расчет линейного запаса никеля, т;
- график зависимости линейного запаса никеля от его бортового содержания.

Время выполнения работы в аудитории – 2 часа.

1.2. Оконтуривание пластообразной рудной залежи на плане

Оконтуривание залежи гипергенных никелевых руд реализуется в проекции на дневную поверхность после проведения оконтуривания в каждой скважине и разведочном пересечении.

Дано: Разведочный план небольшого месторождения гипергенных никелевых руд, разведанного по сети 50 х 50 м в стадию оценочных работ (номера скважин 1-86) и 25 х 25 м в стадию разведки (номера скважин 87 и более). Возле каждой скважины показаны мощность рудного тела и среднее содержание никеля по пересечениям с балансовыми рудами. По скважинам, не вскрывшим промышленного оруденения, выносятся содержания никеля по забалансовым рудам. Фрагмент этого плана приводится на рис. 2.

Основные показатели кондиций, определяющие условия оконтуривания, приведены в табл. 2. Всего предложено пять значений кондиционных показателей.

Таблица 2

Промышленные кондиции для оконтуривания залежей в плане

Варианты заданий				Бортовое содержание никеля, % масс.	Минимальное промышленное содержание никеля по залежи, % масс.
а	б	в	г		
1	6	11	16	0,7	1,05
2	7	12	17	0,8	1,10
3	8	13	18	0,9	1,15
4	9	14	19	1,0	1,20
5	10	15	20	1,1	1,30

Варианты с индексами «а» (1-5) и «в» (11-15) выполняются с использованием всех скважин, а с индексами «б» (6-10) и «г» (16-20) – по скважинам стадии оценочных работ (см. рис. 2).

При названных условиях одновременно реализуется 20 индивидуальных решений данного задания.

В качестве дополнительных кондиций заданы:

1. Минимальная рабочая мощность – 2 м;

2. Минимальное содержание никеля, дающее право относить руды к забалансовым – 0,5 % масс.

Необходимо: пользуясь заданными кондициями, провести оконтуривание балансовых и забалансовых руд, отобразив их штриховкой на бланке задания.

Методические указания к выполнению работы.

Каждому студенту выдается план расположения разведочных скважин со значениями мощностей рудных тел и средних содержаний никеля по разведочным пересечениям. В соответствии с порядковым номером студента в групповом журнале определяется вариант его индивидуального задания, включающий перечень разведочных скважин, участвующих в оконтуривании, и промышленные кондиции, при которых оно должно быть выполнено (см. табл. 2).

В контур балансовых руд включаются скважины с содержанием никеля выше бортового. Положение контура на плане определяется интерполяцией между скважинами с кондиционным и некондиционным содержанием и фиксируется жирной пунктирной линией. Аналогичным образом проводится внутриконтурная граница балансовых и забалансовых руд.

После проведения контура балансовых руд необходимо вычислить средневзвешенное содержание никеля по залежи (блоку) и среднюю мощность залежи. Оконтуривание можно считать выполненным правильно, если соблюдается неравенство: $\overline{C} \geq C_{\text{мин. пр.}}$ Если приведенное неравенство не соблюдается, то запасы руды оконтуренного блока или залежи относятся к забалансовым. Для того, чтобы перевести их в балансовые, нужно исключить из проведенного контура одну или несколько скважин с наименьшим содержанием никеля и вновь проверить приведенное выше неравенство. При его соответствии заданному условию оконтуривание балансовых руд можно считать завершенным.

Следующей операцией оконтуривания следует считать проведение контура забалансовых руд, включив в него скважины с содержанием никеля более 0,5 % масс.

Для вариантов оконтуривания с использованием всех скважин, нанесенных на разведочном плане (обозначены в табл. 2 символами «а» и «в»), необходимо провести дополнительный контур через крайние скважины с содержанием никеля выше бортового. Его следует провести жирной сплошной линией. Это будет контур, ограничивающий запасы категории В. При этом запасы балансовых руд между сплошной и пунктирной линиями будут отнесены к категории C_1 (см. рис. 2).

Положение контура балансовых руд проводится на середине расстояния между скважинами с параметрами, соответствующими кондициям и некондиционными.

После выполнения оконтуривания необходимо произвести подсчет запасов руды и металла в контурах балансовых запасов. Затем, объединившись в группы по пять человек с одинаковыми исходными данными (а – г, см. табл. 2), студенты обмениваются итогами расчетов запасов руды и металла и строят графики зависимости запасов никеля (ординаты) от бортового содержания (абсцисса).

Требования к оформлению результатов работы.

В итоге работы на разведочном плане с исходными данными каждый студент показывает штриховкой контуры развития балансовых и забалансовых руд (см. рис. 2). На поле справа указываются: кондиции, при которых производилось оконтуривание; средние содержания никеля и средние мощности руд по залежам (блокам); площади выделенных блоков и запасы руд и металла по каждому из них; график зависимости запасов никеля от бортового содержания, принятого при оконтуривании.

В вариантах с полным использованием разведочных данных (см. табл. 2) на плане выделяются площади блоков, соответствующих по разведанности категориям B и C_1.

Время выполнения работы – 2 часа.

2. ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ

Целью предлагаемых к решению задач (задания 1-12, рисунки 3-14) является – приобретение студентами навыков проектирования оценочных работ в пределах рудоперспективных участков.

Порядок выполнения работы.

1) Ознакомившись с геологической ситуацией, отображенной на бланке задания, необходимо сделать заключение о возможном геолого-промышленном типе месторождения, руководствуясь литературными сведениями [3, 4, 5]. Для отнесения оцениваемого объекта к определенному промтипу следует учитывать: форму, размеры, условия залегания выходящих на поверхность залежей полезного ископаемого; состав, условия залегания рудовмещающих пород; уровень установленных при опробовании концентраций полезных компонентов.

2) Привести примеры месторождений-эталонов. Охарактеризовать возможный минеральный и химический состав полезного ископаемого (руководствуясь рекомендованными источниками).

3) Обосновать возможную группу прогнозируемого месторождения по сложности геологического строения для целей разведки, взяв рекомендации инструкции ГКЗ [6].

4) Сформулировать задачи, решаемые при проведении оценочных работ. Уточнить их применительно к конкретной геологической обстановке.

5) Обосновать систему разведочных работ (форму, плотность разведочной сети). Нанести проектные выработки на план и отстроенные проектные геологические разрезы – 1-2 шт. (размещенные в нижней части листа – на бланке задания).

6) Наметить виды и способы отбора проб применительно к конкретному типу полезного ископаемого. Для каждого вида опробования (химического, геохимического, минералогического, технологического, технического, геофизического) обосновать цель исследования, способы отбора проб, параметры проб (сечение, длину, массу пробы). Составить схему обработки проб. Все запланированные виды исследований отразить в табличной форме.

7) Подсчитать проектные запасы полезного ископаемого по категории C_1 (для отдельных блоков), C_2, а также прогнозные ресурсы по категории P_1. Ограничить проектные выработки глубиной до 100-150 м, в отдельных случаях – до 200 м (в зависимости от типа полезного ископаемого). По запроектированным выработкам предусмотреть возможные (вероятные) параметры (мощность залежи, содержание полезного компонента, объемная масса руды и т. д.). Обосновать метод подсчета запасов и выполнить его, отразив результаты в табличной форме.

Отчетными документами являются графический материал и пояснительная записка к нему. На приведенной на бланке задания схематической геологической карте следует нанести проектные разведочные выработки (горноразведочные, буровые скважины), отразив номерами последовательность их проходки. Проектные выработки должны быть также нанесены и на отстроенные геологические разрезы, а также при необходимости на продольную вертикальную проекцию. На графике отразить контуры блоков проектных запасов категории C_1, C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1. В пояснительной записке обосновать методику оценочных работ, объем аналитических исследований. Геолого-промышленную значимость оцениваемого объекта сравнить с литературными сведениями [3, 4, 5, 7]. Время выполнения задания – 6-8 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каждан, А. Б.* Разведка месторождений полезных ископаемых / А. Б. Каждан. – М.: Недра, 1977. – 327 с.

2. *Каждан, А. Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Научные основы поисков и разведки) / А. Б. Каждан. – М.: Недра, 1984. – 285 с.

3. *Авдонин, В. В.* Месторождения металлических полезных ископаемых / В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев [и др.]. – М.: Трикста, 2005. – 720 с.

4. *Малахов, И. А.* Промышленные типы металлических полезных ископаемых / И. А. Малахов, П. Л. Бурмако, А. П. Алексеев. - Екатеринбург: УГГУ, 2007. – 209 с.

5. *Яковлев, П. Д.* Промышленные типы рудных месторождений / П. Д. Яковлев. – М.: Недра, 1986. – 358 с.

6. *Сборник нормативно-методических документов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых.* – М.: ГКЗ, 1998. – 319 с.

7. *Баранников, А. Г.* Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых: лабораторный практикум с основами теории / А. Г. Баранников, А. Н. Угрюмов, Г. П. Дворник. – Екатеринбург: УГГУ, 2004. – 104 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

для обучающихся специальности

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 3

Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: очная, заочная

Авторы: Макаров А.Б., профессор, д.г.-м.н.,
Малюгин А.А., доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург
2020

Самостоятельная работа студентов в рамках учебного процесса играет важную роль в изучении дисциплины «Месторождения полезных ископаемых», поскольку основными объектами труда горных инженеров-геологов – поисков, разведки являются месторождения полезных ископаемых. Поэтому в процессе обучения у студентов формируются представления о месторождения полезных ископаемых как геологических объектах, возникающих в процессах формирования и развития земной коры. Главные задачи профессиональной деятельности – разработка научно обоснованных направлений поисковых работ и выбор рациональной методики разведки месторождений полезных ископаемых могут быть успешно решены при условии овладения студентом современных представлений о геологических и физико-химических условиях их формирования. В процессе самостоятельной работы студент получает представление об особенностях строения каждого типа месторождений как модели месторождений, с которым он будет сталкиваться в процессе своей будущей практической деятельности, и сравнивать с ними конкретные объекты. Для этого в рамках самостоятельной работы в первую очередь следует обратить внимание на изучение имеющегося на кафедре каменного материала, характеризующего большую часть типов промышленных месторождений.

Основное содержание дисциплины и объемы самостоятельной работы по разделам дисциплины приведены в таблице

№№ тем	Содержание	Часы по СРС
1	Форма и условия залегания рудных тел	20
2	Структуры и текстуры руд	20
3	Изучение генетических типов месторождений полезных ископаемых	29
4	Подготовка к экзамену	27

Методические указания по организации самостоятельного изучения дисциплины

1. Освоение лекционного курса

Лекции по дисциплине «Месторождения полезных ископаемых» дают главный материал, как по теории, так и по практике исследований генезиса и геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Современные проблемы, рассматриваемые в данной дисциплине, обусловлены как появлением новых теоретических представлений о геологии месторождений, так и их новых промышленных типов. Это требует после

прослушивания лекций обращаться к рекомендуемой литературе для более глубокой проработки соответствующей темы, детального рассмотрения основных терминов, проблемных вопросов и подходов к их решению, а также изучения дополнительного материала по теме для последующего выполнения лабораторных заданий.

После прослушивания лекции необходимо:

- внимательно просмотреть конспект лекции и (используя поля) сделать необходимые пояснения к сокращениям, аббревиатурам, терминам и т.п.;
- используя рекомендованную литературу уяснить проблемные вопросы и подходы к их решению;
- в письменном виде сформулировать вопросы, которые следует задать преподавателю для окончательного усвоения темы лекции;
- следует взять за правило – выполнять работу с конспектом лекций в тот же день, когда лекция прослушана и в памяти еще осталась часть ее содержания.

2. Подготовка, выполнение и оформление практических занятий

Практические занятия расширяют область знаний в изучаемой дисциплине и показывают применение теоретической части в практике исследований, позволяют самостоятельно оперировать знаниями в решении практических задач.

Наиболее важным в этом плане является изучение и закрепление знаний о вещественном составе минерального сырья по методическим указаниям, имеющимся на кафедре ГПР МПИ. Последующим этапом закрепления теоретического материала является изучение новых разрабатываемых месторождений в рамках существующих геолого-промышленных типов и генетической классификации МПИ.

Особое внимание при изучении генетических типов месторождений следует обратить на работу с научной литературой по данной проблематике.

Чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнения в решении практических задач, подготовка к занятиям проводятся по прочитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных разделов лекционного курса. Они вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

В рамках программы изучения дисциплины «Месторождения полезных ископаемых» предусматривается следующая тематика лабораторных работ.

Тема 1. Форма и условия залегания рудных тел.

Цель практических работ – ознакомиться с принципами определения формы рудных тел, изучить геологические разрезы, определить формы рудных тел на реальных геологических разрезах и найти их место в квалификационной таблице; по геологической обстановке на разрезе определить главные факторы, обусловившие форму и место локализации полезного ископаемого.

Места локализации рудных тел и, соответственно, их форма определяется рядом геологических факторов, в частности, условиям образования (эндогенными, экзогенными, или метаморфогенными). Как следствие, при изучении геологических разрезов месторождений, после определения формы рудного тела следует внимательно ознакомиться с геологической обстановкой и попытаться определить, какой из геологических факторов является определяющим: сингенетичность или эпигенетичность руд: отложения или замещения и др.

При выполнении работы следует иметь в виду, что форма природных геологических тел в большинстве случаев далека от идеальной, и при определении названия подбирается наиболее близкий эталон – идеальное геологическое тело.

Тема 2. Структуры и текстуры руд

Цель занятий – ознакомиться с основными структурами и текстурами руд, описать особенности минералогического состава и текстур руд различного генезиса. При изучении образцов необходимо, прежде всего, определить рудные минералы, текстуры, определить тип месторождения по типоморфным текстурам. Для этого используются таблицы «Типы текстур руд» по С.А. Вахромееву (1979).

Тема 3. Изучение генетических типов месторождений полезных ископаемых

Цель практических работ – изучение теоретического и имеющегося в учебных коллекциях каменного материала, изучить парагенетические ассоциации минералов руд, описать имеющиеся в коллекциях образцы руд и определить их место согласно генетической классификации месторождений полезных ископаемых (по В.Ф. Рудницкому, «Основы учения о полезных ископаемых», стр. 46).

Последовательность изучения генетических типов МПИ рекомендуется следующим образом:

1). Повторение теоретического материала по лекции, учебным пособиям, консультации с преподавателем, просмотр дополнительной литературы из рекомендованного списка.

2). Самостоятельная работа по дополнительному изучению образцов руд из учебных коллекций кафедры.

3). Изучение примеров месторождений данного класса по литературным данным.

4). Проверка усвоения материала по «Вопросам и заданиям для самопроверки» (В.Ф. Рудницкий, «Основы учения о полезных ископаемых», стр. 233-245).

3. Рекомендации по работе с литературой

Изучение учебной и научной литературы является основным видом самостоятельной работы, которая сопровождает весь процесс изучения любой дисциплины. Организацию этой работы следует строить, используя следующие рекомендации:

1. Составить перечень книг, с которыми следует познакомиться , ориентируяясь на источники, содержащие необходимый материал.
2. Систематизировать перечень источников (для экзамена, для написания исследовательских работ.
3. Зафиксировать выходные данные по каждой книге.
4. Установить для себя, какие книги (или какие главы книги) следует прочитать более внимательно, а какие – просмотреть. При этом целесообразно проконсультироваться с преподавателем.
5. Все прочитанные книги, учебники и статьи рекомендуется конспектировать с указанием основных идей автора, наиболее ярких цитат (с указанием страниц источника).
6. На собственных книгах допускается делать на полях краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные для Вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте – это позволяет экономить время и быстро находить «избранные» места в разных книгах.
7. Рекомендуется широко использовать интернет-источники и базы геологической литературы.

4. Подготовка к экзамену

На экзамене будут оценены полученные в процессе обучения знания (примерный перечень рассматриваемых на экзамене вопросов приведен ниже).

1). Понятие о полезных ископаемых и их месторождениях

2).Вещественный состав руд. Вредные и полезные компоненты. Комплексное использование руд.

3). Минеральный состав руд. Массивные и вкрапленные руды.

4). Рудоконтролирующие структуры.

5). Морфологическая классификация рудных тел. Формы рудных тел.

6). Понятия текстуры и структуры руд. Классификация текстур.

7). Гидротермально-метасоматические изменения вмещающих пород.

8). Источники рудного вещества эндогенных месторождений.

9). Источники рудного вещества экзогенных месторождений.

100. Причины и способы рудоотложения.

11). Раннемагматические месторождения- условия образования полезных ископаемых.

12). Позднемагматические месторождения- условия образования полезных ископаемых.

13. Ликвационные месторождения – условия образования и примеры месторождений.

14). Пегматиты: условия формирования месторождений, их типы и примеры.

15). Карбонатиты. Условия формирования, примеры месторождений.

16). Грейзены: факторы их образования, примеры месторождений.

17). Скарновые месторождения: условия формирования и примеры.

18). Порфировые месторождения: условия формирования и примеры.

19).Субвулканические (гидротермально-метасоматические) вулканогенные месторождения

20).Гидротермально-осадочные вулканогенные месторождения, условия их формирования и примеры.

21). Гидротермальные амагматогенные месторождения, условия формирования и примеры.

22). Месторождения выветривания и факторы их формирования.

23). Инфильтрационные месторождения.

24). Остаточные месторождения.

25). Механические месторождения полезных ископаемых и условия их формирования. Россыпные месторождения и их примеры.

26). Химические месторождения и условия их формирования.

27). Биохимические месторождения и условия их формирования.

28). Метаморфогенные месторождения.

Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. В процессе подготовки к экзамену имеющиеся пробелы в знаниях, углубляются, систематизируются и упорядочиваются знания. На экзамене демонстрируются знания и навыки, приобретенные в процессе обучения по данной дисциплине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ

а) основная

Рудницкий В. Ф. Основы учения о полезных ископаемых. Учебное пособие.- 3-е издание, исправленное и дополненное - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. -245 с.

б) дополнительная

Попова О.М. Полезные ископаемые: Лабораторный практикум с основами теории.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 97 с.

Рудные месторождения СССР В 3-х томах /под ред. Смирнова В.И., М.: Недра, 1978.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989

Рабочая программа дисциплины Б1.В.03-Основы учения о полезных ископаемых

Интернет ресурсы: Все о геологии http://www.geo.web.ru

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой геологии,
поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых
_____ В.А.Душин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ ДЕЛО

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	3
2.	СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ	6
3.	СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
	3.1. Введение	7
	3.2. Общие сведения о районе работ	8
	3.2.1. Географо-экономическая характеристика	8
	3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ	8
	3.3. Геологическое строение района	9
	3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)	9
	3.5. Методика и объемы проектируемых работ	10
	3.5.1. Целевое геологическое задание	10
	3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ	11
	3.5.3. Прочие виды работ	12
	3.5.4. Опробование и аналитические работы	12
	3.5.5. Подсчет прогнозных ресурсов и запасов и их геолого-экономическая оценка	13
	3.6. Заключение	15
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	16
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример оформления титульного листа	18
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Образец оформления штампа на листах графики	19

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью курсового проекта по дисциплине «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых» является формирование у будущих специалистов системы знаний, раскрывающих методологию решения геологоразведочных задач и принципы геолого-экономической оценки месторождений.

Проектирование является сложным и ответственным видом работ. От качества проекта на производство геологоразведочных работ во многом зависит их конечный результат. Во время обучения в вузе основное внимание уделяется ознакомлению с новой информацией, большей частью теоретического характера. Молодой специалист, оказавшись на производстве, остро ощущает недостаток практического опыта. В первую очередь это касается необходимости принимать самостоятельные инженерные решения, направленные на выполнение геологического (технического) задания. Составляя курсовую работу, студенты приобретают определенные навыки в проектировании геологоразведочных работ, необходимые в дальнейшем для разработки выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) и будущей профессиональной деятельности.

Курсовая работа выполняется студентами 5-го курса на базе материалов, собранных при прохождении преддипломной производственной практики. При отсутствии необходимых данных, требуемых для составления работы, сведения предоставляет кафедра. В том случае, если студент располагает достаточно представительным материалом, позволяющим произвести его углубленную обработку с использованием современных компьютерных технологий и на этой основе рассмотреть те или иные вопросы, составление проекта может быть заменено решением той или иной методической задачи геологоразведочной направленности.

Для подготовки курсовой работы студенты во время прохождения производственной практики должны собрать необходимые графические и текстовые материалы. Графические материалы включают: 1) геологическую

карту района работ в масштабе 1:50 000, 1:100 000 или 1:200 000 с разрезами, стратиграфической колонкой и условными обозначениями (легендой); 2) геологическую карту (план) месторождения (рудного поля) масштаба 1:25 000, 1:10 000 или крупнее; 3) геологические разрезы по месторождению или его части; 4) план подсчета запасов (продольная проекция). Графика сопровождается описанием геологии района и месторождения (участка), методики геологоразведочных работ, данными по подсчету запасов с результатами геолого-экономической оценки.

Для курсового проекта допускается отсутствие геологической карты района, однако для дипломного проекта она необходима. Исключение составляют проекты по нефтяным и газовым объектам, для которых вместо геологической карты района представляется, как правило, мелко-среднемасштабная тектоническая схема с указанием важнейших нефте-газоносных структур.

Главной задачей курсового проекта является обоснование методики геологоразведочных работ, отвечающих определенной стадии. В соответствии с Положением о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (1999) темой курсового проекта оценочные работы, разведка, или эксплуатационная разведка, например:

- оценочные работы на проявлении Нырдвоменшорское на медноколчеданное оруденение (Полярный Урал);

- разведка Главной рудной зоны Сусанского месторождения золота (Свердловская область);

- разведка глубоких горизонтов Астафьевского месторождения бокситов (Южный Урал);

- разведка северного фланга Мансуровского месторождения гранитов (Южный Урал);

- эксплуатационная разведка южной части нижнего рудного уровня Узельгинского месторождения (Челябинская область).

Независимо от выбранной стадии при выполнении курсового проекта студент должен решить следующие инженерные задачи:

- осветить степень геологической изученности рассматриваемой площади;

- определить главные задачи проектируемых работ;

- сформулировать целевое геологическое задание;

- выбрать и обосновать комплекс методов для выполнения целевого задания, определить виды и объемы запроектированных работ;

- произвести проектный подсчет запасов по объекту изучения с их геолого-экономической оценкой.

Задание на составление курсового проекта оформляется на специальном бланке, которое выдается преподавателем. На бланке указывается тема (название) проекта и сроки его выполнения. Преподаватель помогает студенту составить план проекта, рекомендует необходимую литературу, оказывает индивидуальные консультации.

На выполненный проект преподавателем пишется рецензия. Окончательная оценка выставляется после публичной защиты.

При подготовке методических рекомендаций использованы учебно-методические разработки кафедры ГПР МПИ к составлению курсовых проектов по дисциплинам «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» (А. Г. Баранников, 2013) и «Разведка и геолого-экономическая оценка МПИ» (Балахонов В. С., 2005), с которыми студенты могут подробнее ознакомиться на кафедре.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект состоит из текстовой части и графических приложений. Текст работы не должен превышать по объему 25-35 страниц машинописного текста и включает следующие разделы (в скобках указан ориентировочный объем):

- титульный лист;

- оглавление;

- введение (1 стр.);
- общие сведения о районе работ (1-2 стр.);
- геологическое строение района (2-5 стр.);
- геологическая характеристика объекта (4-6 стр.);
- методика и объемы проектируемых работ (12-14 стр.);
- подсчет запасов, их геолого-экономическая оценка (2-3 стр.);
- заключение (1 стр.);
- список использованной литературы.

Текст работы представляется в распечатанном виде. Допускается также рукописный вариант. Страницы текста должны соответствовать формату А4 (297х210 мм). Поля по всему периметру – 20 мм. Перед текстовой частью помещается титульный лист (приложение 1), индивидуальное задание и оглавление.

Текст иллюстрируется схемами, фотографиями, зарисовками. Они должны иметь наименования, условные обозначения, масштаб и обозначаются как рисунок под соответствующим номером.

Графические приложения представляются на двух или трех листах. В правом нижнем углу помещается штамп установленного образца (приложение 2). Первым листом является геологическая карта района со стратиграфической колонкой, легендой, разрезом. Как отмечалось выше, в курсовой проект карта района может не включаться, но для дипломного проекта она необходима. На втором листе помещается геологическая карта месторождения или участка работ. Этот лист является основным и имеет методическое значение. На него наносятся известные месторождения, проявления и пункты минерализации, геохимические и геофизические аномалии, шлиховые ореолы. Здесь же указываются направления геологических маршрутов, проектные геофизические и геохимические профиля, пройденные и проектные геологоразведочные выработки. Второй лист может представлять собой план подсчета запасов по месторождению, участку месторождения, эксплуатируемому этажу или уступу. Карта участка (месторождения) сопровождается одним или двумя типичными

разрезами, в том числе проектным, которые могут быть помещены на отдельном листе. При необходимости в графические приложения включается вертикальная продольная проекция рудного тела с блокировкой запасов и указанием пройденных и проектных выработок.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. Введение

Во введении обосновывается актуальность проекта и характеризуются исходные материалы, положенные в его основу. Оценивается потребность промышленности в данном виде минерального сырья, его конъюнктура на мировом и российском рынках. Рассматривается необходимость развития минерально-сырьевой базы региона в целом и данного вида полезных ископаемых в частности.

Указывается место и сроки прохождения производственной практики, организация, должность, выполнявшиеся работы. Приводятся основные фондовые и литературные источники, использованные при написании работы.

3.2. Общие сведения о районе работ

3.2.1. Географо-экономическая характеристика района

Указывается административное положение района работ, ближайшие населенные пункты, пути сообщения, возможности использования разных видов транспорта, ведущие промышленные объекты, источники энергообеспечения, наличие стройматериалов, возможности найма рабочих на месте. Описывается орогидрография: характер рельефа, абсолютные и относительные превышения, климат, гидрографическая сеть, режимы рек, источники питьевого и технического водоснабжения, наличие карстовых явлений, многолетней мерзлоты. Характеризуется растительный и животный мир, распространение покровных образований, кор выветривания, их мощности. Особо отмечается обнаженность пород, дешифрируемость аэро-космоснимков.

Перечисленные данные позволяют произвести анализ природных условий ведения геологоразведочных работ, учитываются при геолого-экономической оценке рудных объектов.

Для иллюстрации раздела приводится мелкомасштабная обзорная карта (схема) района с указанием местоположения участка работ.

3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ

Кратко освещаются основные результаты ранее выполненных на площади геологических, геофизических, геохимических и других видов работ. Обзор проводится в хронологическом порядке. Текст может сопровождаться схемами изученности.

Оценивается достоверность ранее выполненных исследований и обосновывается выбор участка проектируемых работ, обсуждается степень его разведанности, изученность вещественного состава с точки зрения комплексного использования полезных ископаемых, а также возможные перспективы продолжения оруденения на глубину или фланги месторождения, обнаружения слепых рудных тел.

3.3. Геологическое строение района

Приводятся данные о геолого-структурной позиции участка работ. Последовательно излагаются сведения по стратиграфии и литологии, магматизму, тектонике, гидрогеологии и полезным ископаемым. Для районов, перспективных на россыпное оруденение, дается геоморфологическая характеристика.

При описании полезных ископаемых кратко описываются все известные месторождения и рудопроявления, включая сведения о размерах залежей, их форме, минеральном составе, принадлежности к определенному рудно-формационному промышленному типу.

В дипломном проекте текст сопровождается геологической картой района со стратиграфической колонкой, условными обозначениями (легендой) и

разрезами. При подготовке раздела следует обратить внимание на совпадение текстовых и графических материалов. В тексте должны быть охарактеризованы свиты и комплексы, представленные на графике. Соответственно, геологическая карта, колонка, легенда и разрезы должны содержать одни и те же стратиграфические и интрузивные образования.

3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)

В зависимости от проектируемой стадии ГРР объектом работ является перспективный район, участок, рудопроявление или месторождение.

В данной главе уточняются и детализируются сведения, представленные в предшествующем разделе. Рассматриваются структурно-вещественные комплексы, образующие геолого-структурную позицию участка или месторождения. К ним относятся вмещающие горные породы, магматические тела, разломы, складки, вулканические структуры, геологические контакты.

В целом, описание участка или месторождения обычно включает следующие позиции:

- горные породы, участвующие в его строении;

- структурный контроль в размещении оруденения или структура рудного поля;

- характеристика выявленной минерализации. Для поздних стадий ГРР обязательно описывается форма, размеры, условия залегания рудных тел, вещественный состав руд, их текстурно-структурные особенности, первичная и вторичная зональность, генезис месторождения, а также характеризуются горно-геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождения.

Раздел иллюстрируется крупномасштабной геологической картой месторождения, детальными геологическими разрезами, в том числе обязательно проектным. При необходимости представляется продольная проекция, построенная в плоскости падения, или вертикальная, на которой показано размещение запасов разных категорий.

3.5. Методика и объемы проектируемых работ

3.5.1. Целевое геологическое задание

С учетом представленного выше обоснования формулируется геологическое задание, которое должно отвечать определенной стадии геологоразведочного процесса:

- оценочные работы;
- разведка участка месторождения, флангов, глубоких горизонтов;
- эксплуатационная разведка.

При формулировке задания важно отметить, какой промышленный тип оруденения ожидается, оговорить границы участка проектируемых работ и их масштаб.

3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ

При проектировании оценочных и разведочных работ методические вопросы решаются на основе анализа особенностей структуры участка, формы, размеров и условий залегания тел полезных ископаемых, изменчивости выявленных параметров оруденения (мощности, содержания полезных компонентов).

В соответствии с инструктивными материалами ГКЗ МПР РФ, определяется группа сложности месторождения, перечень основных видов работ, необходимых для решения задач данной стадии, плотность сети наблюдения для разных категорий запасов. Обосновывается система разведки и технические средства, расположение и порядок проходки технических средств.

Описание каждого вида работ завершается расчетом проектных объемов.

3.5.3. Прочие виды работ

Обязательным элементом геологоразведочных работ являются топо-геодезические или маркшейдерские исследования. Рассмотрение этого вопроса начинается с анализа имеющейся топоосновы. Предусматривается инструментальная привязка опорной сети геофизических наблюдений, буровых скважин и горных выработок, базисных линий на участках детализационных работ.

На стадии разведки обязательно должна быть описана методика гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений с определением объемов этих работ.

Обязательным элементом разрабатываемого проекта является рассмотрение экологических вопросов. Необходима оценка влияния геологоразведочных работ на окружающую среду. Это влияние может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, исключении из хозяйственного оборота плодородных земель и т.д. В проекте должны быть предусмотрены мероприятия, предотвращающие или уменьшающие вредное воздействие ГРР на экологию.

3.5.4. Опробование и аналитические работы

С учетом типа оруденения, особенностей вещественного состава, формы, предполагаемой мощности рудных залежей, а также планируемых объемов горноразведочных и буровых работ, предусматриваются необходимые виды опробования – химическое, минералогическое, техническое, технологическое. Обосновываются способы отбора проб, необходимые для решения поставленных задач (штуфное, бороздовое, точечное, керновое и т.д.). Обсуждаются возможности использования геофизических методов опробования. Дается схема обработки проб на отдельно вычерченном листе в текстовой части проекта.

Перечисляются планируемые виды лабораторных работ, определяются их объемы с учетом внутреннего и внешнего контроля (3-5% от общего объема проб). Аналитические исследования в зависимости от типа полезного ископаемого и целевого назначения проекта могут включать следующие виды испытаний проб: химический, минералогический, спектральный, пробирный, атомно-абсорбционный, рентгено-спектральный, рентгено-структурный и др. Для каждого вида аналитических исследований определяются цели и решаемые задачи.

3.5.5. Подсчет проектных запасов и их геолого-экономическая оценка

На стадиях оценочных и разведочных работ одним из завершающих этапов проектирования является оконтуривание тел полезных ископаемых на месторождении, его флангах, глубоких горизонтах с переводом прогнозных ресурсов и запасов в более высокие категории. Для этого необходимо дать характеристику как уже оцененных, так и ожидаемых ресурсов и запасов.

Указываются кондиции, принятые для оконтуривания залежей и выделения подсчетных блоков. Излагается методика подсчета запасов по результатам проектируемых работ. Выбирается и обосновывается способ подсчета запасов в зависимости от особенностей геологического строения месторождения (формы, состава, условий залегания). Излагаются принципы выделения категорий запасов по степени разведанности (плотности разведочной сети) и изученности (выхода керна, вещественного состава руд, технологических, горнотехнических и гидрогеологических условий) для месторождений разных групп по сложности геологического строения. Раскрываются принципы выделения подсчетных блоков и проведение их границ на выходах, флангах и по падению. Характеризуются параметры подсчета запасов, методика их обоснования (площади подсчетных блоков, мощности, среднее содержание, объемная масса). Приводится сводный формуляр подсчета общих ожидаемых запасов по категориям. Контуры категорий запасов, выделенных на основании проектируемых работ, рекомендуется закрасить следующими цветами: категория А – розовый, В – зеленый, C_1 – голубой, C_2 – желтый.

Методика геолого-экономической оценки на разных стадиях геологоразведочного процесса не одинакова.

Основной инструмент геолого-экономической оценки – обоснование кондиций. По материалам завершенных геологоразведочных работ (разведка, доразведка) для определения целесообразности и экономической эффективности освоения месторождения составляют постоянные кондиции.

ГЭО осуществляется поэтапно. На стадии оценочных работ – по укрупненным показателям, без учета налогов, отчислений и платежей, а позднее по результатам разведки – с их учетом.

В условиях рыночных отношений оценку эффективности освоения месторождений, а также сравнение различных инвестиционных проектов и выбор лучшего из них, производят с использованием следующих показателей.

1. Чистый дисконтированный доход, или чистая дисконтированная стоимость, интегральный стоимостной эффект (ЧДД) – это превышение интегральных денежных результатов над соответствующими интегральными затратами или сумму всех доходов от эксплуатации месторождения за весь расчетный период. Освоение месторождения считается эффективным при положительном значении величины чистого дисконтированного дохода. При отрицательном значении ЧДД рассматриваемый вариант инвестиционного проекта должен быть признан убыточным.

2. Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных доходов к величине приведенных инвестиций. В экономически эффективных проектах величина индекса доходности должна быть больше единицы.

3. Внутренняя норма доходности (ВНД), или внутренняя норма прибыли, рентабельность возврата инвестиций. ВНД означает норму дисконта, при которой величина приведенных доходов равна приведенным инвестициям, а чистый дисконтированный доход становится равным нулю. Освоение месторождения считается эффективным и приемлемым, если ВНД>Е, где Е – принятая в расчете норма дисконтирования прибыли.

4. Срок окупаемости капитальных вложений ($Т_о$) с учетом дисконтирования стоимостных показателей определяет временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы равны приведенным инвестициям. Приемлемым считается срок окупаемости инвестиций, равный 5-7 годам. Предельное значение $Т_о$ составляет 10 лет.

Процесс геолого-экономической оценки месторождения завершают выбором оптимального варианта освоения объекта, для которого определены кондиции и показатели экономической эффективности его освоения.

При геолого-экономических расчетах необходимо использовать рекомендуемые учебные пособия кафедры.

3.6. Заключение

В заключение работы приводятся краткие выводы по каждой главе и проекту в целом.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баранников А. Г., Никулина И. А., Хасанова Г. Г. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / А. Г. Баранников, И. А. Никулина, Г. Г. Хасанова; Урал. Гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Тзд-во УГГУ, 2018ю – 184 с.

Баранников А. Г., Макарова С. В. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 95 с.

Дворник Г. П., Угрюмов А. Н. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и техногенного сырья: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. – 220 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Научные основы поисков и разведки). М.: Недра, 1984. – 285 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Производство геологоразведочных работ). М.: Недра, 1985. – 288 с.

Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Утверждена приказом МПР РФ от 07.03.1997. – 9 с.

Петруха Л. М. Разведка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 247 с.

Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М.: ВИЭМС, 1999. – 28 с.

Рудничная геология / В. Ф. Мягков, А. М. Быбочкин, И. И. Бугаев и др. М.: Недра, 1986. – 199 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образец выполнения титульного листа

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
Уральский государственный горный университет
Факультет геологии и геофизики

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему:

РАЗВЕДКА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ОГАНЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА (КАМЧАТКА)

Руководитель
доц. Никулина И. А.

Студент
Попов С. М.

Группа
РМ-15

Екатеринбург – 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Образец заполнения штампа к чертежам

<table>
<tr><td></td><td colspan="4">Министерство образования и науки РФ
Уральский государственный
горный университет</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Исполнитель:
студент
гр. РМ-15
С. М. Попов</td><td colspan="3">Геологический план
Оганчинского месторождения</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Руководитель:
доцент
И. А. Никулина</td><td colspan="3">К курсовому проекту на тему:
«Разведка глубоких горизонтов
Оганчинского месторождения золота
(Камчатка)»</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>Масштаб
1:1000</td><td>Дата</td><td>Приложение
№ 2</td><td>20</td></tr>
<tr><td></td><td>50</td><td>30</td><td>35</td><td>35</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">150</td><td></td></tr>
</table>

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой геологии,
поисков и разведки месторождений
полезных
ископаемых

_____В.А.Душин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ ДЕЛО

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Тема	Название	Стр.
	Введение	3
1	Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения	5
2	Геологические основы разведки	15
3	Методические основы разведки	40
4	Подсчет запасов полезных ископаемых	69
5	Геолого-экономическая оценка месторождений	88
	Заключение	104

Введение

Геологоразведочные работы являются важнейшим фактором устойчивого развития экономики страны. Сырьевую базу в настоящее время составляют *более ста видов твердых полезных ископаемых.* Усилиями многих поколений российских геологов найдены и введены в промышленное освоение тысячи месторождений полезных ископаемых. На этой основе создана уникальная минерально-сырьевая база страны.

Россия занимает места в *первой пятерке стран мира* по запасам и добыче железных и медных руд, золота, серебра, платиноидов, вольфрама, молибдена, кобальта, никеля. За счет этих руд государство обеспечивает внутренний рынок, эксплуатирует значительные объемы сырья и продукции его переработки. Бюджет государства во многом формируется за счет освоения минерально-сырьевых ресурсов. Экспорт продукции (по данным Федерального агентства по недропользованию РФ) составляет 50-70 % от объема добычи (по вольфраму, кобальту, никелю, меди, золоту, платиноидам. Существенна роль России как мирового производителя и экспортера алмазов, апатита, калийных солей, хризотил-асбеста, бора.

В то же время далеко не благополучным является состояние минерально-сырьевой базы по таким полезным ископаемым, как цинк, свинец, олово, сурьма, барий, графит и др. Внутреннее потребление этих видов сырья определяет необходимость их ввоза из-за рубежа. Многие районы с горнопромышленной направленностью испытывают в настоящее время острый недостаток в добываемом сырье (по железу, меди, свинцу, цинку, золоту). К остродефицитным полезным ископаемым также относятся бокситы, титан, цирконий, бентониты, каолины и др.

Итак, минерально-сырьевой комплекс был и остается *гарантом дальнейшего развития страны* на длительную перспективу, источником получения средств на реконструкцию и техническое перевооружение промышленности. Поэтому подготовка высококвалифицированных кадров в области «разведочного дела» в рамках специализации «Геологическая съемка, поиски и разведка твердых полезных ископаемых» (направления 25.05.02 «Прикладная геология») остается актуальной и востребованной задачей.

Содержание Учебного пособия во многом базируется на обобщении научного и учебно-методического материала, содержащего в учебниках, учебных пособиях, методических рекомендациях, подготовленных в разные годы. В первую очередь, необходимо упомянуть работу В. М. Крейтера (1940) по поискам и разведке месторождений полезных ископаемых, а также труды тех, кто продолжал развивать и углублять сформулированные В. М. Крейтером научные проблемы и направления (работы А. Б. Каждана, Е. О. Погребицкого, В. И. Тернового, Г. С. Поротова, Л. И. Четверикова, П. П. Ясковского, В. В. Шелелева, в том числе сотрудников кафедры поисков и разведки МПИ – В. Ф. Мягкова, А. С. Вершинина, И. И. Бугаева, Л. М. Петрухи, Ю. К. Панова и др.). Из публикаций этих авторов в Учебном пособии заимствована большая часть приведенных в пособии таблиц и иллюстраций.

Современная геологическая наука не может ограничиваться изучением лишь качественных сторон явлений и процессов. Она «должна выявлять их количественные

характеристики, обеспечив тем самым более высокий научный уровень исследования земных недр» (Каждан, Гуськов, 1990). Необходимость внедрения математических методов при решении геологоразведочных задач признается в настоящее время всеми геологами. Их применение обеспечивает возможность перехода от словесных, часто субъективных определений изучаемых объектов, к их более объективным количественным оценкам. Накопленный на кафедре опыт математической обработки собранной геологической информации отражен в 11, 13 и 15 главах пособия. Более подробно вопросы количественной обработки накопленной геологической информации рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Студент должен:

А. знать:

- задачи, принципы, технические средства и системы разведки; классификацию запасов полезных ископаемых; требования промышленности к качеству минерального сырья на стадии разведки;
- методики комплексной оценки минерального сырья;
- подходы к сбору и обработке количественной геологической информации с использованием компьютерных технологий.

Б. уметь:

- составлять проекты на геологоразведочные работы, обосновывать рациональную разведочную сеть;
- оконтуривать запасы разных категорий, выполнять подсчет запасов разными методами;
- выполнять оценку географо-экономических, горнотехнических условий освоения месторождений, технологических свойств минерального сырья.

В. владеть:

- методикой обоснования видов и объемов проектируемых работ;
- приемами определения параметров при подсчете запасов полезных ископаемых;
- методикой определения величины инвестиций, показателей эффективности освоения месторождения в базовом и коммерческом вариантах.

Тема 1
Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЕЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Разведка месторождений – это комплекс работ и связанных с ними исследований, направленных на выявление, оконтуривание и геолого-экономическую оценку запасов минерального сырья в недрах. Разведочные работы вносят определяющий вклад в геологическое изучение минерализованных участков недр на предпроектной стадии промышленного освоения объекта. По завершению разведки и получению положительных результатов геолого-экономической оценки изучаемое проявление полезного ископаемого приобретает *статус месторождения.*

Разведка начинается с момента составления проекта на производство геологоразведочных работ. Обычно эти работы включают: геологическое картирование площади рудного поля и месторождения; выявление и оценку выходов рудных тел; проходку горных выработок и скважин, их документацию и опробование; проведение комплекса геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических исследований; геодезическую съёмку. По результатам геологоразведочных работ составляют геологические разрезы, планы, проекции. Они отражают размеры, условия залегания и строение тел полезных ископаемых. Дается характеристика полезного ископаемого, подсчитываются его запасы. На основе полученных данных проводится геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождения, обосновываются выводы о его промышленном значении. Все сказанное позволяет отметить, что разведка как прикладная геологическая наука находится на стыке областей знаний, включающих: накопленные сведения о геологическом строении месторождения, его сопоставление с определенным геолого-промышленным типом; вопросы горного дела (в связи с обоснованием способа разработки месторождения); определение потенциальной ценности объекта, рентабельности его разработки; обоснованность задействованных технических средств разведки, влияющих на надежность получаемых результатов; обработку полученных результатов с использованных современных компьютерных технологий (рис. 1).

Основной *целью* выполняемых геологоразведочных работ является *получение информации,* необходимой и достаточной для: проектирования предприятия по добыче полезного ископаемого и переработке минерального сырья, реконструкции действующего рудника, определения путей его дальнейшего развития, оценки перспектив выявления новых тел полезных ископаемых на площади рудного поля. Собранная и качественно обработанная информация должна обеспечить *решение основной задачи* разведочных работ – подготовку месторождения к промышленному освоению.

Успешному решению сформированных задач должно способствовать: построение цифровых моделей месторождений с использований IT технологий; реализация разведочных систем, соответствующих природным особенностям объекта и обеспечивающим надежное локальное прогнозирование геолого-промышленных параметров.

Сущность разведки сводится к оконтуриванию, прослеживанию промышленно ценных участков природных скоплений полезного ископаемого путем выборочного пересечения минерализованного объема недр разведочными выработками (скважинами, горными выработками) с последующим геологическим и геофизическим их изучением (документацией) и опробованием. Таким образом, информацию, необходимую для принятия проектных решений по разработке и переработке добываемого минерального сырья, получают на весьма скудном материале. Разведка обычно не позволяет раскрыть все детали строения минерализованных пород. Отчасти эти задачи решаются при использовании геофизических методов (в том числе, зондирования межскважинного пространства), а также на стадии эксплуатационной разведки. Материалы разведки позволяют сконструировать *модель месторождения,* которая по своим параметрам должна быть максимально приближена к истинному объекту (рис. 2). Возможность разработки технических проектов на основе обобщения ограниченной разведочной информации подтверждена практикой разведки и освоения месторождений. Здесь работает известный в математической статистике выборочный метод исследования оцениваемых свойств (в разведке – геолого-промышленных параметров) на основе обобщения данных лишь части свойств, вошедших в изучаемую выборку (Петруха, 2003). На каждой последующей стадии геологоразведочных работ формируемая выборка свойств становится более представительной. На современном этапе изучения недр все недропользователи обязаны выполнить необходимые расчеты по геолого-экономической оценке (ГЭО) обосновываемых запасов и прогнозных ресурсов. Оценка является исследовательским процессом, связанным с выявлением возможных конкурентоспособных вариантов оконтуривания и промышленного освоения запасов месторождения и выбором среди них рационального с позиций максимальной доходности предприятия. Наиболее полная ГЭО осуществляется по результатам разведки месторождения. Оценка по результатам поисков базируется на тех же единых методологических принципах, но из-за ограниченности имеющихся материалов является малодостоверной (Шевелев, 2004).

При проведения ГЭО учитываются следующие положения:

1. Обоснование рационального и комплексного использования недр, включающее основные и попутные компоненты, отходы добычи и переработки сырья.
2. Определение показателей эффективности освоения месторождения (ЧДД – чистый дисконтированный доход, ИД – индекс доходности, ВНД – внутренняя норма доходности, Р – рентабельность разработки, Т – срок окупаемости капвложений).
3. Учет обязательных платежей и налогов, плата за кредит (необходимый для организации работ по разработке месторождения).
4. Учет фактора времени и риска при оценке месторождения.
5. Оценка экологических и социальных последствий разработки месторождения.
6. Выбор оптимального варианта освоения месторождения.
7. Обоснование кондиций на минеральное сырье.

Важнейшие результирующие показатели ГЭО, установленные параметры кондиций, подсчитанные с их использованием балансовые и забалансовые запасы вносятся в Государственный кадастр месторождений полезных ископаемых. При этом необходимо

отражать в кадастре два подхода к оценке объекта – базовый и коммерческий, чтобы при необходимости оперативно осуществлять переоценку месторождения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ СТАНОВЛЕНИЯ УЧЕНИЯ О РАЗВЕДКЕ НЕДР

Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых пришло из потребностей горного дела. Долгие годы работы по поиску и добыче руд велись на основе опыта многих поколений рудознатцев. Разработки в этой области знаний методического и организационного характера появились значительно позже. Первые труды принадлежат Г. Агриколе (1530), И. А. Шлаттеру (1760), М. В. Ломоносову (1763). Целая эпоха в развитии горного промысла и геологии связана с именем Петра I. Им был организован «Приказ рудокопных дел», реорганизованный в 1719 г. в Берг-коллегию. Коллегия взяла на себя руководство горнозаводской промышленностью Российской империи.

В XIX веке разведка месторождений не проводилась. Открытые месторождения сразу же вовлекались в разработку. Разведочные методы начинают развиваться и совершенствоваться в конце XIX века и позднее. Первыми в этом направлении были работы проф. Войслова (1899), проф. Корзухина (1908), В. С. Реутовского, Б. И. Бокия (1914).

Методологические основы разведки складывались и совершенствовались по мере расширения сырьевой базы страны, развития горнорудной промышленности. Однако в начале XX века разведочное дело ещё не имело самостоятельного развития и рассматривалось как один из разделов учения о полезных ископаемых. Первая работа по экспертизе и оценке рудных месторождений была опубликована Н. И. Трушковым в 1922 г. В 1924 г. в Петроградском горном институте К. П. Марковым прочитан курс разведочного дела. Начиная с 1927 г. этот курс читал И. С. Васильев, впервые изложивший важнейшие методические положения разведки.

Основоположником учения о поисках и разведке полезных ископаемых по праву считается В. М. Крейтер. Им были организованы кафедры поисков и разведки МПИ в Московском геологоразведочном институте и Институте цветных металлов и золота. Его фундаментальный труд «Поиски и разведка полезных ископаемых», изданный в 1940 г., несколько раз переиздавался и стал настольной книгой геологов-разведчиков нескольких поколений.

В 1922 г. кафедра поисков и разведки МПИ была организована в Уральском (Свердловском) горном институте. Её первым заведующим был назначен руководитель геологической службы Урала Б. В. Дидковский. В последующие годы кафедру возглавляли А. П. Смолин, В. П. Любимов, П. И. Кутюхин, М. Н. Альбов, И. И. Бугаев, В. Ф. Мягков, А. Г. Баранников. В 1999 г. произошло объединение ряда кафедр геологического факультета. Объединенную кафедру геологии, поисков и разведки МПИ возглавил проф. В. А. Душин.

Большой вклад в развитие теории и практики разведочного дела, опробования и подсчета запасов полезных ископаемых внесли исследования М. Н. Альбова, Н. В. Барышева, И. Д. Когана, А. П. Прокофьева, В. И. Смирнова, Е. О. Погребицкого, Г. С. Поротова и др. Научные основы геометризации недр заложены исследованиями П. К. Соболевского (1926-1932). Он рассматривал тела полезных ископаемых как совокупность

взаимно связанных геохимических полей и на этой основе сформулировал принципы геометрического моделирования.

В середине XX века во все отрасли геологии, включая вопросы оценки месторождений, проникли математические методы обработки информации. Этому способствовало появление и развитие электронно-вычислительной техники, а позднее – IT технологий. Кроме теории вероятности и математической статистики случайных величин, в теорию и практику исследований стали проникать методы многомерного статистического анализа, теории случайных функций и гармонического анализа, теории множеств, линейной алгебры, распознавания образов и других разделов математики.

При рассмотрении теоретических вопросов методики разведки месторождений и опробования акцент был сделан на изучении изменчивости свойств полезных ископаемых. А. С. Власов, Д. А. Казаковский и др. исследователи предложили использовать первые и вторые последовательные разности значений исследуемых показателей изменчивости по смежным точкам. При обобщении результатов статистической обработки данных П. Л. Каллистов (1956) обратил внимание на то, что любой статистический показатель отражает лишь средний уровень изменчивости изучаемого свойства и не учитывает влияния пространственного расположения точек наблюдений. Им было предложено учитывать случайные и закономерные изменения наблюдаемых признаков. При этом дисперсию случайных отклонений следовало определять не от генеральной средней, а с учетом рассчитанной кривой регрессии, отстраиваемой с использованием процедуры сглаживания совокупности прилегающих к конкретной точке проб. Дальнейшее развитие этот подход при изучении изменчивости свойств залежей получил в работах В. Ф. Мягкова (1984). Он предложил исследовать закономерности распределения компонентов в рудных полях с использованием *геометро-статистической модели*. При отстройке одномерных графиков изменчивости геологических параметров по разным направлениям рудных залежей с использованием интерполяционного полинома удается выявлять уровненное строение геологических полей и на этой основе решать целый ряд практических вопросов разведки: оптимальный шаг опробования; зональность строения залежей, их анизотропию и др.

Начиная с шестидесятых годов XX века, появилось много публикаций по исследованию изменчивости оруденения с использованием *методов теории случайных функций* и *гармонического анализа* (работы А. Б. Каждана, З. Д. Низгурецкого, А. М. Марголина и др.). Изменчивость изучаемых признаков рассматривается как функция расстояния между смежными пунктами наблюдений. При этом необходим учет влияния формы и размера проб, отражающих неоднородность строения недр. В это же время при изучении изменчивости и оценке запасов руд зарубежными геологами (Ж. Матерон, М. Давид, Э. Карлье, Д. Криге и др.) было предложено задействовать *геостатистические модели.* В основе данной модели лежит предположение, что получаемые результаты зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдения результаты измерений меняются, и поэтому их следует рассматривать как случайные величины. Рассчитанный средний квадрат разности измеренных значений при этом зависит от расстояния между пунктами. Важной характеристикой геостатистических

моделей служит вариограмма, отражающая функцию среднего квадрата разности от расстояния между пунктами наблюдений. Для отдельных объектов установлено присутствие нескольких типов вариограмм: с регулярной пространственной переменной, с эффектом самородков, сферической и др. На отстроенных вариограммах возможно определение порогового значения, отражающего зону влияния между соседними пробами.

На современном этапе при обобщении результатов геологоразведочных работ все чаще задействуют геостатистические методы с использованием IT технологий (программы “Micromine”, “Datamine”, “Surpac” и др.).

ОСНОВЫ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О НЕДРАХ

Основным законом, регламентирующим недропользование в РФ, является Федеральный закон «О недрах», принятый в 1992 г. Закон неоднократно дополнялся и редактировался, его последняя редакция принята в 2015 г. (Закон РФ «О недрах»).

Согласно тексту закона недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже поверхности Земли и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубины, доступной для геологического изучения и освоения.

Основные положения горного права

К основным положениям Горного права относятся:

- право собственности на недра как один из элементов природной среды;
- право собственности на извлеченные из недр полезные ископаемые и используемые полезные свойства недр;
- право собственности на имущество и геологическую информацию, создаваемые в процессе пользования недрами.

Право собственности на недра в России действующими правовыми актами определяется следующим образом:

- недра находятся в государственной собственности;
- владение, пользование и распоряжение недрами в пределах государственной границы находится в совместном ведении Российской Федерации и ее субъектов (так называемое «правило двух ключей»), а за пределами границы (в морской экономической зоне и на континентальном шельфе) – в исключительном ведении Российской Федерации;
- владение, пользование и распоряжение недрами осуществляется в интересах всех народов, проживающих на соответствующей территории, и всех народов Российской Федерации.

Недра предоставляются в пользование субъектам предпринимательской деятельности для изучения, добычи полезных ископаемых, строительства подземных сооружений, организации особо охраняемых геологических объектов или сбора минералогических коллекций на определенный срок или без ограничения срока.

Участки недр с находящимися в них минеральными ресурсами не могут быть предметом купли-продажи, дарения, наследования, вклада, залога или отчуждения в иной форме. Права пользования недрами могут отчуждаться или переходить от одного лица к другому в той мере, в какой их оборот допускается федеральными законами.

Право собственности на минеральное сырье, добытое из недр, появляется в процессе добычи полезных ископаемых. Добытые из недр полезные ископаемые могут находиться в федеральной собственности, собственности субъектов Федерации, муниципальной, частной и иных формах собственности. Вопрос о форме собственности на добытое полезное ископаемое определяется условиями лицензионного соглашения.

Право собственности на горное имущество и геологическую информацию определяется принципом: объект является собственностью того, кто оплатил его создание или приобретение. Однако, геологическая информация, являющаяся собственностью пользователя, должна представляться им по установленной форме в федеральный и территориальный фонды геологической информации (ВГФ, ТГФ). Собственник может лишь оговорить условия конфиденциальности пользования этой информацией в фондах, с учетом собственных интересов.

Система пользования недрами

Недра Российской Федерации могут быть использованы недропользователями для следующих целей.

1. Регионального геологического изучения и иных общих геологических работ без нарушения целостности недр.

2. Геологического изучения, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, а также оценки пригодности недр для строительства подземных сооружений.

3. Разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе отходов горных предприятий.

4. Строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

5. Образования особо охраняемых геологических объектов.

6. Сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекций. Недра могут предоставляться в пользование одновременно для геологического изучения (поиски, разведка) и добычи полезных ископаемых. В этом случае добыча может производиться как в процессе изучения, так и после его завершения.

Пользование недрами в Российской Федерации, за исключением работ по региональному геологическому изучению и созданию особо охраняемых объектов, является платным.

Недра предоставляются в пользование на определенный срок или без ограничения срока.

Порядок пользования недрами включает три самостоятельных подсистемы:

- предоставление участков недр в пользование;
- пользование недрами в соответствии с установленным видом пользования;
- контроль и надзор за соблюдением установленных требований и ограничений при пользовании недрами.

Предоставление недр в пользование осуществляется на основе лицензирования. Государство, осуществляющее суверенное право на недра, определяет программу освоения недр, участки недр, которые предполагаются предоставить в пользование, и выбор конкретного недропользователя.

Государство определяет условия, на которых предполагается передача недр в пользование. Недропользователь может вести переговоры об изменении этих условий. При достижении согласования, недропользователю оформляется лицензия на право пользования недрами. Лицензия предоставляется совместно органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации и Федеральным органом управления фондом недр.

Работы по *региональному геологическому изучению недр*, выполняемые за счет средств госбюджета, осуществляются без оформления лицензий, но с обязательной регистрацией в территориальных геологических организациях Министерства природных ресурсов. Лицензия на *поиски и оценку* месторождений полезных ископаемых удостоверяет право проведения таких работ только на вид сырья, указанный в лицензии. Лицензия на *добычу* полезного ископаемого может выдаваться на всё месторождение или его часть. Допускается также одновременное предоставление одному пользователю нескольких лицензий на право добычи по группе близко расположенных месторождений, если экономически рентабельной является только совместная их разработка. Лицензия на *разведку* месторождения отдельно не предоставляется и право разведки предусматривается в лицензии на добычу.

Законодательством устанавливается два статуса участков недр, на которые выдается лицензия: геологический отвод и горный отвод. Статус *геологического отвода* предоставляется участкам, предоставляемым для геологического изучения недр без существенного нарушения их целостности. В пределах одного геологического отвода могут быть выданы несколько лицензий на разные виды деятельности, включая, например, поиски и оценку разных полезных ископаемых. В границах геологического отвода могут одновременно проводить работы несколько пользователей недр.

В пределах одного *горного отвода* может быть выдана только одна лицензия одному пользователю, получающему по ней исключительное право деятельности в этих пределах в соответствии с лицензией.

Предоставление недр в пользование осуществляется по результатам конкурсов или аукционов, либо в специальных случаях на основе согласованных решений федеральных органов государственной власти и органов государственной власти субъектов Федерации на бесконкурсной основе. Определение порядка проведения и условий конкурсов и аукционов по каждому объекту или группе объектов осуществляется органами, предоставляющими лицензии. Наименования объектов, выставляемых на конкурсы или аукционы, и их условия публикуются в печати.

Предприниматель, желающий принять участие в конкурсе, подает по установленной форме соответствующую заявку. После официального принятия заявки и уплаты соответствующих взносов заявитель может получить пакет геологической и технико-экономической информации по интересующему его участку недр. Проанализировав эту информацию, заявитель прежде всего решает для себя вопрос о продолжении участия в конкурсе (аукционе) и, при положительном решении, представляет приемлемый для него вариант технико-экономических показателей (ТЭП) ведения работ по намечаемому виду пользования недрами. Указанные ТЭП представляют собой комплекс материалов, обосновывающих принципиальные решения и ожидаемые технико-экономические

показатели по всем вопросам. После приобретения лицензии ее владелец имеет право получения в фондах полного объема геологической информации по предоставленному ему согласно лицензии участку недр (геологическому или горному отводу).

Условия ***пользования недрами*** определяются соглашением собственника недр (государства) в лице его уполномоченных органов и недропользователя. В практике недропользования известны три типа договорных отношений:

- недропользователь вносит плану за пользование недрами и уплачивает другие установленные налоги, но полностью распоряжается всей произведенной продукцией;
- недропользователь и собственник недр заключают соглашение о разделе производимой продукции;
- недропользователь заключает с собственником контракт на предоставление определенных услуг (субподрядные работы).

В первом случае недропользователь осуществляет все работы по реализации предоставленных лицензией прав за счет собственных средств, принимая на себя все риски. Добытая продукция полностью принадлежит ему, хотя условиями договора может определяться реализация части продукции на внутреннем рынке. Недропользователь вносит все установленные платежи, налоги, связанные с его деятельностью. Все сооружения и оборудование, используемые при работах, являются его собственностью.

Во втором случае недропользователь также несет все расходы и принимает на себя риски, связанные с ведением работ, а произведенная продукция делится между ним и собственником (государством) в виде трех частей: компенсационной продукции, предназначенной для возмещения затрат недропользователю, и двух долей прибыльной продукции, разделенных между государством и недропользователем в установленном соотношении. Реализация своих долей продукции осуществляется недропользователем и собственником самостоятельно. Сооружения и оборудование, связанные с недропользованием, переходят в собственность государства либо с момента их создания или приобретения, либо по мере амортизации. Привлекательной стороной соглашения о разделе продукции является иммунитет от новых изменений налогового законодательства, которые не должны ухудшать экономическое положение инвестора, имевшееся на момент составления соглашения.

В третьем случае, недропользователь, также неся все затраты, связанные с проведением работ, либо получает возможность их возмещения при коммерческом результате (например, открытии месторождения при поисках), либо получает заранее оговоренное вознаграждение (оплату) за произведенные работы, но не приобретает никаких прав на добытую продукцию, если таковая будет получена в течение срока действия лицензии или после его истечения.

Контроль и надзор за пользованием недрами осуществляют органы государственного геологического контроля и Федерального горного и промышленного надзора России, а также другие контрольные органы, в соответствии с компетенцией (природоохранные органы, налоговая инспекция, таможенная служба и т. д.) и органы государственной власти.

Государственный геологический контроль включает контроль за геологическим изучением недр и их рациональным использованием и охраной. Органы госконтроля входят в структуру Министерства природных ресурсов и его территориальных подразделений.

Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор) выполняет в качестве основной контрольной функции надзор за безопасным ведением работ, включая вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации горных предприятий.

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых производится для создания условий комплексного использования недр, определения платы за использование недр и уточнения границ горного отвода. Государственная экспертиза может проводиться на любой стадии геологического изучения недр, но предоставление участков недр для целей добычи разрешается только после их госэкспертизы.

Система платежей при пользовании недрами

Плата за пользование недрами включает разовые и регулярные платежи.

Минимальные (стартовые) разовые платежи за пользование недрами устанавливаются в размере не менее 10 % от величины суммы налога на добычу полезных ископаемых в расчете на среднегодовую проектную мощность добывающей организации. Размеры регулярных платежей определяются в зависимости от экономико-географических условий, размера участка недр, вида полезного ископаемого, продолжительности работ, степени геологической изученности и степени риска. Регулярный платеж взимается за площадь лицензионного участка, предоставленного недропользователю. Ставка регулярного платежа за 1 кв. км участка недр при поисковых и оценочных работах составляет от 27-90 рублей для неметаллических полезных ископаемых до 120-360 рублей для углеводородного сырья; при разведочных работах ставка меняется от 800-1650 рублей для подземных вод до 5000-20000 рублей для углеводородного сырья.

Регулярные платежи не взимаются с недропользователей, осуществляющих:

- пользование недрами для регионального геологического изучения;
- пользование недрами для образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение;
- пользование недрами для сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов;
- разведку полезных ископаемых на месторождениях, введенных в промышленную эксплуатацию, в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этих полезных ископаемых.

Кроме разовых и регулярных платежей, законодательством предусмотрены две группы налогов и отчислений. Первая группа учитывается в себестоимости товарной продукции, вторая относится на финансовый результат.

В себестоимость включается налог на добычу полезных ископаемых, дорожный налог, плата за воду, землю, загрязнение окружающей среды и др. Налог на добычу составляет основную часть налоговой суммы первой группы. Ставка налога меняется от 3,8 % для калийных солей до 16,5 % для углеводородного сырья. Налогоплательщики, осуществившие за счет собственных средств поиски и разведку разрабатываемых месторождений или полностью возместившие все расходы на поиски и разведку,

уплачивают налог на добычу с коэффициентом 0,7. При выполнении соглашений о разделе продукции налоговые ставки на добычу применяются с коэффициентом 0,5. Не облагаются налогом полезные ископаемые, остающиеся во вскрышных, вмещающих (разубоживающих) породах, в отвалах или отходах перерабатывающих производств. Дорожный налог взимается в размере 2,5 % от годовой стоимости товарной продукции.

На финансовый результат горного предприятия относят налог на прибыль, налог на имущество, целевые сборы на содержание милиции и благоустройство территории. Налог на прибыль составляет 24 % от годовой прибыли предприятия, налог на имущество – 2 % от его среднегодовой стоимости. Остальные платежи определяются прямыми расчетами.

Горные предприятия также облагаются косвенными налогами, вычисляемыми сверх цены предприятия – налогом на добавленную стоимость (НДС), создаваемую в процессе производства товарной продукции, и таможенными пошлинами, взимаемыми с товарной продукции, вывозимой за пределы Российской Федерации.

Контрольные вопросы к теме 1

1. Что является целью разведки? Какие задачи решает разведка?
2. С какими областями знаний и смежных дисциплин разведка связана?
3. С какими именами известных и выдающихся российских ученых следует связывать становление учения о разведке месторождений?
4. Кто из российских и зарубежных ученых внес значимый вклад в разработку проблем количественной обработки геологической информации (геолого-математического моделирования)?
5. В чем заключаются основные положения законодатедьства РФ о недрах?
6. В каких целях могут быть использованы недра в РФ?
7. Как осуществляется предоставление недр в пользование?
8. Что такое горный и геологический отводы? Чем они различаются?
9. Какие типы договорных отношений установлены между государством и недропользователем?
10. Как осуществляется контроль за пользованием недрами?
11. Какая система платежей установлена за недропользование?

Тема 2
Геологические основы разведки

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ ЗНАЧИМОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минеральные скопления в земной коре приобретают статус месторождения по результатам их разведки и при условии обоснования экономической целесообразности промышленного освоения. Основным критерием для промышленного освоения месторождения является размер прибыли, которую предприниматель собирается получить за весь период его эксплуатации.

На экономику промышленного освоения месторождения оказывает влияние совокупность факторов: количество запасов в месторождении (их масштаб), качество минерального сырья, технологические свойства, горно-геологические условия эксплуатации, географо-экономические условия района нахождения месторождения, экологические условия эксплуатации и др. (Каждан, 1977, 1984; Ясковский, 2001, 2010; Шевелев, 2004; Поротов,2004).

Количество запасов в месторождении определяется величиной запасов, оцененных по результатам геологоразведочных работ. Достоверность подсчитанных запасов зависит от степени их изученности (разведанности).

Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в единицах массы (тонн); сыпучих полезных ископаемых (песков, гравия), строительного и облицовочного камня – в единицах объема (кубические метры). Запасы золота измеряются в килограммах, тоннах, а в некоторых зарубежных странах используют тройную унцию (31,103 грамма). Запасы алмазов и драгоценных камней измеряют в каратах (0,200 грамма).

Запасы полезного ископаемого, ценность которого определяется содержанием химического элемента (оксида) или минерала (алмаз, слюда, асбест и др.), оцениваются с определением количества руды и количества металла (минерала). В России запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в недрах, а запасы нефти и газа оцениваются как извлекаемые, так и в недрах.

По величине запасов различают месторождения *уникальные* (их в мире единицы), *крупные* (их десятки), *средние* (их сотни) и *мелкие* (их тысячи). На базе уникальных месторождений создаются ведущие горнодобывающие предприятия. Они во многом определяют состояние минерально-сырьевой базы и сырьевого рынка страны, мира. Крупные месторождения определяют экономику отрасли или крупного региона страны. Средние месторождения имеют значение в пределах отдельных экономических районов, а мелкие – в отдельных случаях. Для каждого вида полезного ископаемого наблюдаются значительные (в десятки раз) изменения запасов при переходе от мелких месторождений к крупным и очень крупным, что обусловлено разнообразием геологических условий образования руд (табл….).

Следует отметить, что отраженные в таблице размеры запасов не являются общепризнанными. В литературных источниках приведены и другие цифры градации запасов, определяющие масштаб оцениваемых объектов. В. И. Краснико (1965) подметил

закономерность, получившую в литературе название «декадной». В 7 % месторождений сосредоточено ~ 65 % запасов, а запасы мелких, средних, крупных и уникальных месторождений отличаются друг от друга примерно на порядок. Мелкие месторождения встречаются часто, а очень крупные редко. Основные запасы сосредоточены в крупных и очень крупных месторождениях. Обобщение данных по России за 1994-1997 гг. свидетельствует, что среди девятнадцати видов полезных ископаемых общее количество мелких объектов составило 723, средних – 184, крупных – 107, очень крупных – 30 (Ясковский, 2001). Распределение суммарных запасов для коренных месторождений страны: на долю мелких объектов приходится 14 %, средних – 30 % и крупных 56 %.

От масштаба месторождений зависят ожидаемые показатели экономической эффективности вовлекаемых в эксплуатацию объектов. С учетом величины запасов можно определить ценность месторождения (потенциальную в недрах или товарную на сырьевом рынке). Полученные значения следует учитывать при определении инвестиционной привлекательности объектов. Другой расчетный экономический показатель – необходимый объем капитальных вложений. Чем больше запасы, тем больше затраты на строительство горнодобывающего предприятия. При этом появляется возможность определить производительность будущего рудника, срок его существования и ориентировочно подсчитать приведенные затраты на освоение месторождения.

Качество минерального сырья – это совокупность природных свойств, определяемых минеральным и химическим составом, структурными и текстурными особенностями сырья, технологическими и физическими свойствами. Высокое качество полезного ископаемого влияет на эффективность переработки руд, способствует улучшению готовой продукции. В геологоразведке и горной промышленности давно используются понятия – «богатые», «бедные», и «убогие» руды. С позиций оценки качества все твердые полезные ископаемые могут быть разделены на *три группы.* Ценность в них может представлять: химический элемент (или химическое соединение, чаще оксид); минерал, обладающий особыми свойствами; вся добываемая горная масса (Шевелев, 2004).

К *первой группе* относятся все руды металлов и горно-химическое сырье (фосфориты, бор, сера). Основным показателем качества сырья является содержание ценного компонента. Содержание оценивается в массовых процентах элемента (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, S, V, As) или оксидов (Cr_2O_3, TiO_2, WO_3, Nb_2O_3, BeO, Be_2O_3, P_2O_5).

В месторождениях комплексных руд (свинцово-цинковых, медно-молибденовых, медно-никелевых и др.) качество определяется с помощью условного содержания главного компонента. В расчетных формулах учитывается: содержание главного компонента, формирующего основную ценность руд; содержание второстепенных компонентов; переводные коэффициенты для перерасчета содержаний второстепенных компонентов в главный компонент.

Содержание в рудах благородных металлов (золота, серебра, платиноидов) из-за низких их концентраций выражается в граммах на тонну руды; в россыпных месторождениях – в г (мг) /$м^3$. Чем большее значение элемента в рудах, тем выше качество полезного ископаемого.

В зависимости от содержания основного ценного компонента руды подразделяются на богатые, рядовые и бедные. Для разных полезных ископаемых конкретные сорта руд отличаются друг от друга (табл.).

При исследовании уровня концентраций полезных компонентов в объеме рудных тел может быть задействован *коэффициент богатства* – отношение среднего содержания к минимально промышленному (Бирюков, Денисов, 1978). Богатыми считаются руды, в которых содержание полезного компонента в 1,5-3,5 раза выше, чем минимальное промышленное; к бедным – менее 1,1-1,2. Какое значение при разведке имеет оконтуривание богатых руд? Во-первых, богатые и очень богатые руды используются при получении концентратов или в металлургии без предварительного обогащения. Во-вторых, высокое качество руд нередко отмечается в локальных участках месторождения. Эти участки называют рудными столбами, кустами, гнездами, карманами, бонанцами (для месторождений золота и серебра). На стадии разведки локальные участки должны быть оконтурены, а подсчет запасов выполнен без ограничения выявленных «ураганных проб».

Ко *второй группе* относятся алмазы, пьезооптическое сырье, слюда, тальк, асбест и др. Качество сырья регламентируется уровнем содержания ценного минерала, размерностью и особенностями кристаллосырья: для асбеста – прочность, гибкость, длина волокна, кислоторастворимость; для слюд – размер пластинок, их ровность, термостойкость; для пьезооптического сырья – масса кристалла, размер бездефектной области моноблока, выход моноблока, степень проявленности дефектов (газово-жидкие включения, трещины, двойники и др.); для алмаза – масса, форма, характер поверхности, цвет, дефектность, наличие сростков (Ясковский, 2001).

К *третьей группе* относятся стройматериалы, твердое топливо, керамическое сырье, огнеупоры, тальк, пирофиллит, минеральные пигменты, цеолиты, бокситы и хромиты. Качество сырья оценивается соответствием его определенных свойств требованиям технических условий (ТУ), отраслевых стандартов (ОСТ), государственных стандартов (ГОСТ) и соглашений с потребителями (Шевелев, 2004). Иногда требуется подразделение сырья на ряд сортов и марок. С учетом целевого использования оцениваемое полезное ископаемое должно удовлетворять конкретным сортовым требованиям.

Итак, количество и качество минерального сырья являются важнейшими факторами оценки разведуемых объектов. Они являются определяющими показателями при геолого-экономической оценке месторождений.

Технологические свойства сырья определяют возможность и экономическую целесообразность переработки минерального сырья с целью получения товарного продукта. Основными показателями, определяющими технологические свойства руд, являются: величина извлечения полезного компонента, содержание полезного компонента в концентрате, выход концентрата.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных ископаемых и вредных примесей первостепенное значение имеют (Каждан, 1977; Шевелев, 2004):

- минеральный состав полезного ископаемого и разубоживающей руды горной массы; распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам;

- форма и размеры полезных минералов, характер их срастаний, текстуры и структуры минеральных агрегатов;
- физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельная плотность;
- химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Технологические исследования, проводимые в процессе разведки, должны установить возможность извлечения ценных компонентов из руд и обеспечить выбор схемы передела руд, которая может быть использована в промышленных условиях с приемлемыми технико-экономическими показателями. Наличие в сырье попутных компонентов повышает экономическую значимость сырья. Однако ценность попутного компонента всегда следует соотносить с дополнительными расходами на его выделение и учитывать возможность реализации дополнительной продукции.

Рассмотрим примеры, раскрывающие технологические свойства руд и их влияние на переработку минерального сырья (Ясковский, 2001).

Минеральный состав руд определяется присутствием полезных и породообразующих минералов, их количественными соотношениями, формами нахождения, характером парагенетических ассоциаций. Проблемы возникают, когда для выделения основных минералов приходится использовать разные обогатительные процессы. Например: для руд олова основными минералами являются касситерит, станнин, варламовит, гидростаннаты. Эффективно по гравитационной схеме обогащаются касситеритовые руды (плотность 7,0 г/см^3). Другие типы руд с минералами олова (плотность 3,8-4,7 г/см^3) относятся к группе труднообогатимых. Они требуют кроме гравитационного обогащения и других методов: флотации, магнитного и электрического обогащения, пирометаллургии.

Минеральный состав оказывает большое влияние на эффективность флотационного процесса. Хорошо обогащаются сульфиды Pb, Zn, Cu, Mo и плохо – их окисленные формы. Для молибденовых руд основным гипогенным минералом является молибденит – MoS_2, обладающий природными гидрофобными свойствами; но окисленные руды, представленные повеллитом – $CaMoO_4$, ферримолибдитом – $Fe_2O_3{\cdot}3MoO_3{\cdot}8H_2O$ и др., обогащаются с трудом. При этом получаются концентраты невысокого качества из-за легкой шламуемости гипергенных молибденовых минералов в процессе измельчения руды, близости флотационных свойств молибденовых и породообразующих минералов.

Химический состав руд определяется наличием полезных, вредных, петрогенных элементов (оксидов), их содержанием и соотношением, присутствием особенно химически активных форм. Для ряда месторождений схемы и показатели обогащения определяются содержанием элементов и их соотношением. Например, при переработке бокситовых руд для получения глинозема важнейшим является гидрохимический метод Байера. Его использование эффективно для высококачественных руд с кремниевым модулем $M_{si} = Al_2O_3 / SiO_2$ более 5-7. При низком значении M_{si} (высоком содержании SiO_2) руды перерабатываются по более дорогостоящей технологии методом спекания.

При добыче урана методом подземного выщелачивания используют в качестве растворителя кислоты (H_2SO_4). Чем больше карбонатность среды, тем значительней расход

кислоты, сильнее проявляется явление кальматации, тем меньше извлечение урана в продуктивные растворы. Поэтому при существенной карбонатности пород (более 2,0-2,5 % CO_2) извлечение урана с помощью кислоты неэффективно. Нужно переходить на другие схемы.

При характеристике технологических свойств минерального сырья необходим учет *текстурных особенностей руд.* Эти особенности обусловлены размером, формой и характером срастаний минеральных агрегатов. По признаку влияния текстур на процессы переработки минерального сырья их можно подразделить на благоприятные и неблагоприятные. *Благоприятные текстуры* характеризуются крупными размерами скоплений, однородным строением, простыми границами между агрегатами. Для таких руд наиболее эффективны процессы рудоподготовки. Обогащение не вызывает больших затруднений и позволяет получать высококачественные концентраты. *Неблагоприятные для обогащения текстуры* имеют небольшие размеры минеральных скоплений, неоднородное строение агрегатов, сложные и постепенно изменяющиеся границы между ними. Подобные руды требуют сложных, многостадийных процессов рудоподготовки и обогащения.

При изучении технологических свойств полезного ископаемого возможно выделение природных и технологических типов руд. В результате специальных исследований анализируется пространственное распределение этих типов, их геометризация в рамках *геолого-технологического картирования.*

Горно-геологические условия эксплуатации определяют возможность и экономическую целесообразность отработки месторождения с учетом современного состояния горной техники. Каждый выбранный способ разработки месторождения предъявляет свои требования к условиям залегания полезного ископаемого, крепости и устойчивости пород и руд, гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям месторождения.

Среди *способов разработки* месторождений выделяют геотехнологии (Ясковский, 2001): физико-техническая открытая, физико-техническая подземная, физико-химическая скважинная, комбинированная. В процессе эксплуатационных работ из-за неоднородности горно-геологической среды (извилистость границ рудного поля, прерывистости внутреннего строения, изменчивости свойств вмещающих пород) возникают эффекты разубоживания и потерь.

Разубоживание связано с примешиванием пустых пород к извлекаемой рудной массе. В результате засорения среднее содержание в добываемой рудной массе становится ниже, чем содержание в балансовых запасах. Отмеченный процесс характеризуется коэффициентом разубоживания: $Р = (С_н-С_д) / С_н \cdot 100$ %, где $С_н$ – содержание полезного компонента в балансовых рудах, $С_д$ – содержание в добытой рудной массе.

Потери возникают в процессе разработки месторождения потому, что извлечь полезное ископаемое удается не полностью. Часть запасов остается за контуром отработки. Величина потерь оценивается коэффициентом разубоживания: $П = (З_т-З_д) / 100$ %, где $З_т$ – запасы теряемые, $З_д$ – запасы добытые.

Каждый способ разработки имеет достоинства и недостатки. По данным П. П. Ясковского к ним относятся:

- открытая геотехнология – высокая производительность, но небольшие глубины отработки и существенный экономический ущерб;
- подземная геотехнология – отработка на больших глубинах, но значительные потери полезного ископаемого в недрах и тяжелые условия труда;
- скважинная геотехнология – возможность извлечения полезных компонентов в сложных горно-геологических условиях, но необходимы особые предпосылки для создания подвижных флюидов.

Достоинства и недостатки разных способов разработки тесно связаны с определенными горнотехническими условиями. К ним относятся:

а) *Глубина залегания* – один из важнейших горнотехнических показателей, определяющих способ добычи.

При малой глубине залегания применяется открытый способ добычи. Он позволяет развить большую производительность, обеспечить высокую эффективность, низкую себестоимость и более безопасные условия ведения горных работ. Экономическая эффективность добычи определяется коэффициентом вскрыши – отношением объемов (или масс) вскрыши и полезного ископаемого. Предельный коэффициент вскрыши и, соответственно, предельная глубина открытой разработки находится технико-экономическими расчетами. Максимально допустимый коэффициент вскрыши зависит от ценности полезного ископаемого и ориентировочно составляет: для строительных материалов 3 $м^3/м^3$, для углей 6 $м^3/м^3$, для черных металлов 10 $м^3/м^3$, для цветных металлов до 40 $м^3/м^3$. Глубина карьеров открытой добычи не превышает 500 м, но есть проекты глубиной до 700-800 м.

При глубоком залегании полезного ископаемого применяется подземный (шахтный) способ добычи. Он менее производительный и более дорогой по сравнению с открытым способом. Глубина работ колеблется от десятков метров до первых километров. К глубоким относятся шахты, отрабатывающие рудные тела на отметках от 600 (700) до 1000 (1200) м, к весьма глубоким – с глубиной от 1000 (1200) до 2500 м. С глубины 2500 м начинаются сверхглубокие шахты. Они достигнуты при эксплуатации золоторудных месторождений: Морроу-Велью (Бразилия, более 2500 м), Колар (Индия, более 3300 м), Витватерсранд (ЮАР, около 4000 м).

При проходке подземных горных выработок с глубиной увеличивается горное давление (в среднем 2,5 МПа на 100 м) и температура (в среднем 3 ^{0}С на 100 м). При подземной геотехнологии горное давление может проявляться в виде сдвижения, пучения. стреляния пород вплоть до горных ударов. С целью предотвращения горных ударов применяются специальные технологии выемки массива горных пород.

Условия залегания во многом определяют систему разработки месторождений (в первую очередь, подземной). По значению угла падения различают залегания горизонтальные и весьма пологие (0-5^0), пологие (5-25^0), наклонные (25-45^0), весьма крутые (60-90^0). Имеет значение и выдержанность угла падения в пределах блоков добычи

руды. Если угол падения устойчивый, то независимо от его значения ($0\text{-}90^0$) залежь считается выдержанной.

Высокая степень тектонической нарушенности усложняет ведение горных работ. Наибольшие неприятности доставляют малоамплитудные разрывные нарушения, которые не удается надежно выявлять в процессе разведки. Они приводят к повышению потерь и разубоживания руды при добыче, служат причиной неустойчивости и обрушения кровли, прорывов воды и т. д.

Более надежно при разведке выявляются крупные разрывные нарушения с амплитудой в десятки-сотни метров. Они служат естественными границами шахтных полей, участков, блоков добычи.

Мощность залежей является параметром, определяющим технологию добычи. В горном деле выделяются пять классов залежей: 1) тонкие 1,0-1,5 м; 2) средние от 1,0-1,5 до 3-4 м; 3) мощные от 3-4 до 8-10 м; 4) весьма мощные 10-50 м; 5) сверхмощные более 50 м. При изменении класса мощности возможно изменение системы разработки. Поэтому при разведке необходимо выделение геологически однородных блоков (ГОБов), которые заслуживают применения единой технологии добычи. ГОБы при этом приобретают статус технологически однородных блоков (ТОБов).

Кондиционным требованием, предъявляемым к залежам полезных ископаемых, является минимальная промышленная мощность. Она представляет собой минимальную мощность тела полезного ископаемого, при которой его разработка экономически выгодна. Выше этого значения мощность считается рабочей (или кондиционной), ниже – нерабочей (некондиционной). Так как мощность залежей меняется в пространстве, то внутри них могут появляться некондиционные участки или блоки, создавая прерывистость оруденения.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия играют существенную роль при проектировании и ведении горных работ (Поротов, 2004).

Физические свойства (скальные или слабосвязанные грунты), трещиноватость, расслоенность, наличие зон дробления, проявленная анизотропия свойств определяют устойчивость горных пород и руд при добыче сырья, а также размеры эксплуатационных блоков, значение углов откоса бортов карьера и т. д.

Обводненность месторождения определяется насыщенностью горных пород и руд подземными водами и зависит от совокупности факторов. К гидрогеологическим факторам относятся: количество водоносных горизонтов, условия их питания, фильтрационные свойства пород, оценка возможного водопритока в эксплуатационные выработки, состав и агрессивность подземных вод.

Инженерно-геологические факторы включают: проницаемость, набухаемость, размокаемость, коэффициент размягчения и др.

На месторождениях, где развиты карстовые процессы, существенную роль играют глубина и интенсивность развития карста. Выявляются зоны обводнения и поглощения воды, рассматривается возможность обрушения горных пород в зоны карста.

По результатам выполненных исследований должен быть сделан прогноз *экологических последствий* ведения горных работ, решен вопрос о необходимости и объеме природоохранных мероприятий.

Необходимо учитывать, что при ведении горных работ значительную площадь занимают отвалы или отходы горного предприятия. При необходимости следует предусматривать комплекс работ по укреплению отвалов, их рекультивации, очистке рудничных вод от вредных примесей и создании водохранилищ для их накопления. Должны быть оценены последствия осушения окружающей территории вследствие понижения уровня подземных вод.

ФОРМЫ РУДНЫХ ТЕЛ

Форма рудных тел является одним из ведущих факторов, определяющих методику проектируемых разведочных работ.

По своей сути, форма рудных тел определяется соотношением трех параметров: длины по простиранию, длины по падению и мощности.

Обозначим длину по простиранию Дпр, длину по падению Дпад, мощность М. Тогда формы рудных тел при всем своем многообразии могут быть сведены к трем основным группам (рис. 6).

1. *Изометричные*, Дпр ≈ Дпад ≈ М. В эту группу относятся штоки и гнезда.

Штоки – рудные тела средних и мелких размеров, по форме близкие к цилиндру: изометричные или эллипсовидные в плане и столбообразные в разрезе.

Гнезда – небольшие изометричные тела, характерные для камнесамоцветного сырья, редких и благородных металлов.

2. *Плоские*, Дпр ≈ Дпад >> М. К плоским, или плитообразным телам относятся, в первую очередь, пласты и жилы.

Пласты – это согласные плитообразные тела. Залегают согласно, то есть параллельно вмещающим породам. Пласт соответствует осадочному слою. Выделяются также *пластообразные залежи,* которые отличаются от пластов меньшими размерами, а также меньшей выдержанностью.

Жилы – секущие плитообразные тела. Их границы пересекают контакты вмещающих пород. Жилы, как и магматические дайки, –тела выполнения трещин. Жилы могут быть простыми, а также сложными, ветвящимися и т. п.

3. *Линейные*, Дпр >> Дпад ≈ М или Дпад >> Дпр ≈ М. Эта группа объединяет рудные тела, вытянутые в одном направлении. Если преобладающим размером является длина по простиранию, образуются *рудные ленты*, типичные для речных (аллювиальных) россыпей. Если наибольший размер отвечает длине по падению, то рудные тела имеют столбообразную или трубообразную форму. *Рудные столбы и трубы* приурочены обычно к пересечениям разломов или к вулканическим жерлам.

Широким распространением для обозначения формы рудных тел пользуются в геологии термины «штокверк» и «линза».

Штокверк представляет собой минерализованный объем горных пород. Обычно это массивы магматических пород или их части, насыщенные многочисленными разноориентированными прожилками и вкрапленностью рудных минералов. Такие рудные тела не имеют естественных природных границ и оконтуриваются по данным опробования. Обычно штокверки имеют форму, близкую к изометричной. Однако нередко

минерализованные зоны штокверкового типа, приуроченные к разрывным нарушениям (*линейный штокверк*; тогда их форма будет плоской или линейной.

Термин «*линза*» также не имеет однозначного морфологического содержания. Короткую и толстую линзу можно отождествить с гнездом. Плоские линзы соответствуют плоским рудным телам: согласным, если линза расположена параллельно контактам вмещающих пород, и секущим, если линза залегает косо. Наконец, линзы могут вытягиваться в одном направлении, образуя линейные рудные тела.

Кроме того, нередко встречаются рудные тела сложной, или комбинированной формы. Обычно они представляют собой сочетания или комбинации тел, принадлежащих к разным группам. Наиболее распространены крестообразные, грибообразные, седловидные и пр.

ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАЗВЕДКИ

Установление принадлежности изучаемого месторождения к конкретному промышленному типу способствует выбору системы его разведки. Уже на стадии оценочных работ эта задача должна решаться. В то же время месторождения одного и того же промышленного типа нередко характеризуются разными размерами, формой рудных тел, разной сложностью внутреннего строения (минеральным составом, текстурно-структурными особенностями, типами и сортами руд, содержанием полезных и вредных компонентов). Для обоснования системы разведки, технических средств и методических приемов большое значение приобретает *группировка месторождений* по сложности геологического строения для целей разведки, учитывающая накопленный опыт их разведки и разработки (Комплексная …, 1990).

Впервые на необходимость группировки месторождений полезных ископаемых по сложности строения в зависимости от вычисленных значений коэффициентов вариации мощности и содержания полезных компонентов указано в работах В. М. Крейтера, Д. А. Зенкова, Н. В. Барышева, В. И. Красникова и др. В обобщенном виде группировка была предложена В. М. Крейтером в 1940 г. Все месторождения, исходя из учета формы и размеров рудных тел, разделены на пять групп (Крейтер, 1961): 1) пластовые и пластообразные тела, занимающие стратиграфический горизонт (или к нему приуроченные), и россыпи; 2) очень крупные залежи, неправильные тела и минерализованные массивы штокверкового и гнездового распределения, залегающие в разных крепких породах; 3) жило- и линзообразные тела в разных породах; 4) трубчатые и ветвящиеся залежи небольшого масштаба; 5) мелкие гнезда, штокверки, линзы, карманы и трубки в разных породах.

Разработанные В. М. Крейтером принципы группировки месторождений по факторам, определяющим методику их разведки, были положены в основу большинства последующих группировок и учитывались во всех поколениях инструкций ГКЗ СССР по применению классификации запасов. Они нашли отражение и в последнем опубликованном варианте группировок месторождений различных полезных ископаемых для целей разведки (Методические рекомендации…, 2007).

Многими авторами отмечалось, что принятые группировки базируются на качественных признаках, исходя из опыта разведки и разработки объектов. Например, геологическое строение простое, сложное, очень сложное; распределение полезных компонентов равномерное, неравномерное, крайне неравномерное. Поэтому установление группы сложности месторождения, основанное только на качественных критериях, во многих случаях оказывается спорным.

Группировку месторождений (или отдельных тел) полезных ископаемых по сложности геологического строения, основывающуюся на исследовании изменчивости их основных свойств, предложили В. И. Бирюков и М. Н. Денисов (1985). При этом рекомендуется использовать количественные показатели (табл.). Подобный подход отражен в последних вариантах группировки месторождений, предлагаемых ГКЗ в подготовленных Методических рекомендациях (2007). Так, при группировке месторождений железных руд рекомендуется использовать количественные характеристики основных свойств оруденения (табл.). Однако следует отметить, что значения таблиц характеризуют наибольшую степень разведанности месторождения или их частей перед началом эксплуатации. С уменьшением детальности изучения числовые значения признаков могут изменяться: q уменьшается с уменьшением числа наблюдений на прерывистых объектах; K_ρ и V меняются непредсказуемо: то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения. В этом проявляется слабость классификационных числовых признаков. Совершенствование подобных группировок должно основываться на учете особенностей отдельных видов минерального сырья; внедрении геофизических методов исследований, учитывающих контрастность физических свойств рудных тел и вмещающих пород (Шевелев, 2004). Помимо этого, разрабатываемые группировки месторождений должны способствовать рациональному проведению всего геологоразведочного процесса – от проектирования работ до их завершения. Первый тип группировок – морфологический, его следует использовать при проектировании и производстве ранних стадий разведочного процесса. Второй тип, содержащийся в Методических рекомендациях ГКЗ, позволяет относить объект к определенной группе и определять необходимое соотношение разных категорий подсчитываемых запасов с учетом критерия предпринимательского риска.

На практике используется группировка месторождений по сложности геологического строения, предусмотренная Классификацией запасов…(2007). Согласно этому документу необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности геологического строения месторождений. По данному признаку месторождения подразделяются на следующие группы.

1-я группа. Месторождения (участки недр) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабо нарушенным залеганием. Характеризуются устойчивой мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *A, B,* C_1 и C_2. Примеры месторождений:

Джезказганское и Коунрадское меднорудные; Талнахское медно-никелевое; Никопольское и Чиатурское марганцевых руд; Лисаковское и Аятское железорудные и др.

2-я группа. Месторождения (участки недр) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко 2-ой группе также относятся месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными горно-геологическими условиями разработки. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *B, C_1* и C_2. Примеры месторождений: Гайское, Сибайское, Учалинское меднорудные; Кальинское и Черемуховское бокситов; Гусевогорское и Качканарское титано-магнетитовых руд и др.

3-я группа. Месторождения (участки недр) очень сложного строения со средними и мелкими по размерам телами полезного ископаемого с интенсивно нарушенным залеганием, изменчивыми мощностью и внутренним строением, невыдержанным качеством и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются по категориям C_1 и C_2. Примеры месторождений: Красногвардейское, Октябрьское, Тарньерское медных руд; Мугайское, Аятское бокситов; Садовское, Рубцовское свинцово-цинковых руд; Удерейское сурьмяное; большинство золоторудных месторождений.

4-я группа. Месторождения (участки недр) с мелкими, средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием и резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого, прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются преимущественно по категории C_2. Примеры: месторождения пьезооптического кварца, оптического кальцита; камнесамоцветного сырья; Ховуаксинское кобальтовое; Актайское ртутное; Шахтаминское молибденовых руд, Чорух-Дайронское вольфрамовых руд и др.

Согласно утвержденной Классификации (2007) регламентированное соотношение запасов разных категорий на разведанных месторождениях полезных ископаемых в настоящее время не требуется: это соотношение определяет владелец лицензий самостоятельно с учетом планируемого предпринимательского риска.

По степени изученности месторождения подразделяются на разведанные и оцененные.

К разведанным относятся месторождения (участки недр), запасы которых, качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования их вовлечения в промышленное освоение в установленном порядке. Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;
- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, достаточной для проектирования

рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов (имеющих промышленное значение) и определения направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;

- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (породы вскрыши, подземные воды, отнесенные на основании кондиций к балансовым), изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;
- гидрогеологические и инженерно-геологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности горных работ;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве и количестве запасов подтверждены на представительных для месторождения участках детализации;
- подсчетные параметры кондиций установлены на основании ТЭР, позволяющих определить масштаб и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности;
- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду; даны рекомендации по снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий.

К оцененным относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки. По степени изученности они должны удовлетворять следующим требованиям:
- обеспечивается возможность квалификации всех или большей части запасов по категории C_2;
- вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого оценены с полнотой, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное использование полезного ископаемого;
- гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждена на участках детализации; подсчетные параметры кондиций установлены на основании укрупненных ТЭР или приняты по аналогии с месторождениями, находящимися в сходных горно-геологических условиях;
- оценено возможное влияние отработки месторождения на окружающую среду.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ НЕДР, ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗУЧЕНИЯ

Исследование неоднородности скоплений полезных ископаемых

При изучении минерализованных участков недр как объектов разведки используется *концепция относительной элементарности.* В соответствие с этой концепцией объект исследования рассматривается в качестве сложной системы, состоящей из множества условно неделимых элементов и объединенных между собой совокупностью условно неделимых связей (Каждан, 1979). Выяснение взаимосвязи и пространственных взаимоотношений элементов неоднородности системы обеспечивает понимание ее структуры.

В изучаемой системе каждый элемент представляет условно неделимую структурную единицу. Однако абсолютно неделимых структурных элементов в действительности нет. Концепция относительной элементарности приводит к представлению о строении материального мира, в том числе, геологических объектов, как об иерархии структурных уровней материи с наличием множества дискретных, условно неделимых структурных единиц в пределах каждого из них.

При детализации наблюдений выявляется неоднородность ранее выделенных условно неделимых структурных элементов и появляется возможность расчленения их на более мелкие единицы. Они характеризуют неоднородность изучаемого объекта уже на более детальном структурном уровне.

При решении геологоразведочных проблем задача сводится к изучению неоднородности природных скоплений полезных ископаемых, их структуры и анизотропии строения как основы для выяснения *изменчивости важнейших свойств полезного ископаемого в недрах.* Познание изменчивости геологических, технологических и горнотехнических свойств определяет обоснование методики разведочных работ, влияет на их последовательность, геолого-экономическую оценку месторождений, эффективность технологии разработки и переработки минерального сырья.

А. Б. Каждан (1974) предлагает при изучении рудоносных территорий выделять шесть последовательных структурных уровней строения минерализованных недр:
- минерализованной зоны (толщи);
- тела полезного ископаемого;
- морфологически обособленного участка тела полезного ископаемого;
- локального обособления участка тела полезного ископаемого (рудного гнезда);
- минерального агрегата;
- минерального зерна или кристалла полезного минерала.

На рис. 7 показана модель одного из флюоритовых месторождений, где отражены разные природно-структурные уровни проявленной минерализации (Каждан, 1977).

Позднее при рассмотрении вопроса о *системном подходе к изучению недр* А. Б. Каждан (1984) предложил задействовать в практике прогнозно-металлогенических исследований развернутую иерархию структурных уровней минерализованных участков недр, включающую большее количество структурно-однородных единиц (от региональных к локальным). Эта систематика призвана обеспечить возможность создания геологических моделей развития рудообразующих процессов при любых масштабах исследования территорий. Выделены следующие уровни строения:
- металлогеническая провинция;

- металлогеническая область;
- рудный район;
- рудный узел;
- рудное поле;
- месторождение полезного ископаемого;
- продуктивная (минерализованная) зона (толща) полезного ископаемого;
- продуктивная залежь (тело) полезного ископаемого;
- морфологически обособленный участок (блок) залежи полезного ископаемого;
- локальное скопление полезного ископаемого (объем селекции или добычи);
- минеральный агрегат, состоящий из зерен полезного минерала;
- зерно, кристалл или обломок полезного минерала.

Отмечено, что количество выделяемых в процессе разведки последовательных уровней может быть изменено в зависимости от целей и задач исследований и от совокупности изучаемых свойств полезного ископаемого.

При обосновании шага опробования, размеров отбираемых проб и расстояний между пунктами наблюдений определяющее значение приобретает исследование соотношений линейных элементов неоднородности (Каждан, 1977; Четвериков, 1984; Шевелев, 2004). Смысл этого утверждения заключается в том, что строение одного и того же природного скопления полезного ископаемого может быть оценено как *однородное* при достаточно больших размерах проб и как *неоднородное* при размерах проб, уменьшенных до определенного предела (рис. 8). При изучении штокверка «длинными» пробами строение штокверка представляется как однородное. Если же уменьшить длину пробы, то строение штокверка следует признать неоднородным.

Учитывая соотношение размеров элементов неоднородности и линейных размеров проб предлагается выделять *три типа неоднородности:*
- неоднородность высшего порядка – линейные размеры элементов неоднородности во много раз меньше линейных размеров проб, а общее их число в каждой пробе очень велико;
- эффективную неоднородность – линейные размеры элементов неоднородности примерно на порядок меньше линейных размеров проб, а их число в объеме пробы сравнительно невелико (последние десятки – первые сотни);
- неоднородность низкого порядка – линейные размеры элементов неоднородности превосходят размеры проб.

Изменчивость свойств полезных ископаемых

Неоднородность природных скоплений полезных ископаемых проявляется в *изменчивости их свойств.* Под изменчивостью понимается непостоянство значений признаков в разных точках пространства. На основе количественных характеристик изменчивости свойств полезных ископаемых решаются основные методические вопросы поисков, разведки, опробования и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых (Каждан, 1977, 1984). Если бы изменчивость себя не проявляла, то одно единственное наблюдение в любой точке (например, разведочное пересечение) давало бы полное и точное представление обо всем изученном объекте.

При дискретной сети наблюдений геологическая неоднородность низшего порядка проявляется как случайная, так и как неслучайная пространственная изменчивость изучаемого свойства, но чаще всего – как сумма обеих составляющих изменчивости.

Для *случайной изменчивости* характерна независимость друг от друга значений признака, наблюдаемого в разных точках залежи (в том числе и смежных). Они не зависят от расстояния между пунктами наблюдений и имеют по всем направлениям характер случайных беспорядочных колебаний (рис. 9 б). Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована методами вариационной статистики случайных величин.

Под неслучайной изменчивостью (закономерной) понимают характеристику закономерностей пространственного размещения изучаемого свойства в некотором объеме недр. Определяющим свойством неслучайной изменчивости является наличие плавных колебаний значений признаки и постоянство знака приращения на протяжении изучаемого отрезка недр. Поскольку закономерная изменчивость связана с пространственным положением пунктов наблюдения, то её называют *координированной* (рис. 9а).

В реальных условиях всегда наблюдается сочетание случайной и закономерной изменчивости в разных пропорциях. В зависимости от их сочетаний предложено выделять три градации изменчивости (Поротов, 2004): простая – преобладает закономерная изменчивость на фоне случайных колебаний; сложная – закономерная и случайная изменчивость присутствуют приблизительно в равных отношениях; весьма сложная – преобладает случайная изменчивость, а закономерная составляющая проявлена лишь в виде тенденции. Составляющая случайной изменчивости оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок. Однако в практике разведки в первую очередь геологов интересует пространственная изменчивость важнейших свойств, которая может быть выражена только ее неслучайной составляющей. Неслучайная изменчивость позволяет оценить характер *анизотропии свойств* полезного ископаемого и выдержанность его строения по разным направлениям в пространстве. Направление, по которому устанавливается максимальная или минимальная скорость изменения изучаемых свойств, носит название *оси анизотропии.*

Анизотропия проявляется в результате упорядоченности пространственного размещения геолого-структурных элементов – зерен, минералов, минеральных агрегатов, располагающихся по слоистости, сланцеватости, зон трещиноватости и т. д. Характеристика анизотропии служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

Мерой анизотропии I служит отношение среднего числа n элементов неоднородности, пересекаемых линиями, проведенными в заданном направлении, к длинам этих линий l в пределах изучаемого объема полезного ископаемого: $I = n / l$ (Каждан, 1984). Наиболее широко распространены скопления полезных ископаемых, имеющих три взаимно ортогональных направления анизотропии: жилы, россыпи, многие пластовые и пластообразные тела и залежи. В них направление максимальной изменчивости свойств совпадает с направлением мощности, а направление минимальной изменчивости – с их

вытянутостью. Промежуточное по значению направление изменчивости совпадает с шириной залежей.

Реже встречаются трубообразные и изометричные линзообразные скопления полезных ископаемых, имеющих два направления анизотропии. В них выделяется круговое сечение, перпендикулярное к длинной или к короткой оси. В плоскости кругового сечения изучаемые свойства близки к изотропным. Второе направление анизотропии совпадает с направлением оси.

Примерами изотропных скоплений полезных ископаемых являются изометрические штокверки цветных и редких металлов.

Таким образом, анизотропия и неоднородность строения природных объектов тесно взаимосвязаны и представляют собой разные формы проявления структуры изучаемых геологических образований. В то же время анизотропия любого порядка может быть выявлена в том случае, если совокупность элементов, создающих анизотропию, укладывается в размеры пробы. Большое значение имеет также учет пространственного расположения пунктов наблюдений. Чем выше природная неоднородность строения и изменчивость полезных ископаемых, тем более локальной должна быть система наблюдений при их разведке и более значительными размеры или объем отбираемых проб.

Природная изменчивость свойств полезных ископаемых представляет явление сложного и многопланового характера. Задача полного количественного описания ее практически не выполнима. Поэтому следует отличать понятие *природной изменчивости* свойств полезных ископаемых от понятия их *наблюдаемой изменчивости* по результатам геологоразведочных работ (Каждан, 1984).

Завершая обзор подходов к изучению изменчивости, приведем высказывание (Шевелев, 2004): «Как бы детально и технически качественно не производилась разведка, создаваемая на ее основе эмпирическая модель разведуемых объектов недр, является приближенным отражением действительности. Если методика разведки выбрана несоответствующей особенностям разведуемого объекта, то никакими формальными приемами и способами последующего анализа и обработки (включая применение математики и ЭВМ) нельзя исправить или уменьшить возникающие ошибки».

Способы изучения изменчивости

Способы анализа выявленной изменчивости разнообразны. Их условно можно объединить в две группы – геологические и математические. В основе каждой группы лежит выбранный тип моделей, используемых для отображения изменчивости параметров объекта.

Геологические способы.

Для отражения геологических представлений изучаемых объектов и наблюдаемых признаков используют разные виды графических (геометрических) моделей (Каждан, 1974, 1984; Поротов, 2004). Эти модели являются плоскостными графическими материалами или объемно-макетными (скульптурного, рельефного, скелетного и др. типов). Примерами плоскостных моделей являются планы в изолиниях (мощности, содержаний, метропроцентов и др.), гипсометрические и погоризонтальные планы, разного вида графики по направлениям, проекции рудных скоплений на вертикальные или

горизонтальные плоскости и т. д. На графических материалах отображаются степень, характер и структура изменчивости параметров месторождения или их совокупность по определенным сочетаниям, площадям. Надежная геологическая обоснованность и наглядность моделей делают их незаменимыми при изучении и прогнозировании изменчивости геологических объектов. Они остаются ведущим способом обоснования системы разведки месторождений. Одной из разновидностей графических моделей являются блок-диаграммы, обеспечивающие наглядное пространственное представление о геологическом строении рудных полей, месторождений, участков (рис. 10).

Геологическое моделирование представляет сложную творческую задачу, допускающую порой несколько разных решений (Поротов, 2004). Причины этого – сложность геологических процессов, которые чаще всего остаются не познанными; дискретность сети наблюдений. Изученные объемы руд и горных пород малы по сравнению с объектами, на которые распространяются результаты наблюдений. Поэтому неизбежно возникают проблемы разработки более достоверных геологических моделей.

Графические модели обеспечивают лишь качественную оценку условий залегания, формы, строения природных скоплений полезных ископаемых и отражают упрощенное представление о характере и пространственной изменчивости свойств. Поэтому математическое обоснование геологических моделей, математический анализ изменчивости геолого-промышленных параметров выбранной модели становится необходимым. Приступить к математическому моделированию можно только создав удовлетворительную геологическую модель объекта. Геологическая модель должна отражать разделение объекта на блоки с разными типами изменчивости, тектонические смещения рудных тел, первичную и вторичную зональность и иные особенности. Игнорирование этих признаков объекта делает последующую математическую оценку изменчивости не корректной.

Математические способы

Математические методы, применяемые для изучения и прогноза изменчивости параметров геологических объектов, многочисленны и разнообразны. Задачей настоящего обзора является: дать общее представление об основных направлениях математического моделирования в рамках рассматриваемой проблемы; кратко охарактеризовать наиболее распространенные математические способы изучения изменчивости; указать области их применения и практическую значимость получаемых результатов (Поротов, 2004).

Вопросы математического моделирования широко освещены в многочисленных научных публикациях и учебной литературе. Эта информация отражена в учебниках и учебных пособиях (Каждан, 1974, 1984, 1990; Погребицкий и др., 1977; Поротов, 2004; Волков, 2006 др.). Более подробно проблемы изучения изменчивости параметров месторождений рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Геометризация и анализ геологических полей», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Считается, что геологические объекты относятся к «плохо организованным природным системам». Они не поддаются точному количественному описанию и, как правило, взаимосвязь между их параметрами не может быть выражена строгими законами.

Приходится создавать модель, дающую лишь приближенное представление о строении объекта и протекавших в объеме залежей рудообразующих процессах. Чем более точные представления будут получены исследователями об изучаемом объекте, тем объективнее будет подобрана соответствующая его особенностям цифровая модель, более надежные и представительные результаты получены при анализе материалов.

На базе геологических моделей созданы разные математические модели. Кратко охарактеризуем лишь некоторых из них:

- статистическая модель;
- геостатистическая модель;
- модели на основе случайной функции;
- разностные модели;
- геометро-статистическая модель.

Статистические модели. Их использование целесообразно, если в наблюдаемой изменчивости признака практически отсутствует закономерная составляющая и, следовательно, геометризация признака в изучаемом объеме недр практически невозможна.

Применение одномерной статистической модели основано на предположении о независимости значений изучаемого признака. В общем случае можно лишь считать, что чем выше степень изменчивости признака, тем полученные результаты ближе к статистической совокупности. Опыт показывает, что формулы математической статистики дают достаточно достоверные результаты при изучении изменчивости месторождений золота, платины, алмазов, редких и отчасти цветных металлов, мусковита и др., но оказываются ненадежными при оценке изменчивости залежей многих осадочных полезных ископаемых.

В практике разведочных работ одномерные статистические модели используются, главным образом, для численной оценки степени изменчивости геолого-промышленных параметров тел полезных ископаемых и месторождений, а также оценки точности полученных результатов. Важнейшими характеристиками таких моделей являются среднее значение изучаемого параметра $x_{ср}$, дисперсия s^2, среднеквадратичное отклонение s и коэффициент вариации V.

Поскольку у реальных геологических объектов обычно проявлено сочетание случайной и закономерной составляющих изменчивости, статистические модели, считающие все изменения случайными, показывают завышенную оценку. Во избежание этого необходимо выделять и исключать закономерную составляющую и рассчитывать коэффициент вариации только по данным выделенной случайной составляющей изменчивости.

При разведке месторождений выборки чаще всего характеризуются небольшими объемами. Поэтому оценку среднего значения оцениваемого параметра можно рассматривать как случайную величину, не соответствующую математическому ожиданию. Последнее и представляет собой истинное среднее значение этого параметра для генеральной совокупности – геологического объекта в целом. Поэтому одной из решаемых задач является выбор лучшего способа вычисления этой оценки и определение степени ее точности.

Статистические оценки могут быть точечными (выражены определенным числом) и интервальными (указывается интервал значений, в пределах которого находится истинное значение величины при заданной вероятности этого события) (Каждан, 1984).

При сравнении изменчивости параметров разной размерности наряду с абсолютной используют относительную величину (коэффициент вариации), обычно выражаемую в процентах:

$$V = (\frac{\sigma}{x_{\text{ср}}}) \cdot 100$$

Использование коэффициента вариации при оценке изменчивости имеет смысл в тех случаях, когда необходимо рассчитать средние значения геолого-промышленных параметров и погрешности их определения. Поэтому статистическая модель обычно применяется для изучения изменчивости содержания компонентов в рудах и мощностей тел полезных ископаемых, но она не эффективна при анализе условий залегания этих тел, их внутреннего строения и изменчивости качества нерудных полезных ископаемых (известняк, доломит, гипс и др.).

Геостатистическая модель. Предложена Ж. Матероном (Матерон, 1968) в шестидесятых годах прошлого столетия. Основана на предположении, что результаты наблюдений зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдений результаты измерений меняются. По этой причине их рассматривают как случайные величины. При этом средний квадрат разности измеренных значений зависит только от расстояния между пунктами наблюдений.

Основной инструмент геостатистики – вариограмма – используется для анализа и описания пространственной корреляционной структуры между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными параметрами (рис. 11).

- *Эффект самородка* – это случайная составляющая дисперсии проб, которая показывает насколько велико различие содержаний в очень близко расположенных образцах. Величина эффекта самородка зависит от сети опробования месторождения и степени ее изменчивости. Название этого параметра введено при оценке месторождений золота, где часто встречаются непредсказуемые «ураганные» содержания металла.
- *Порог вариограммы* – это величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается и больше не растет.
- *Зона влияния* – это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. На меньших расстояниях (с определенной долей вероятности) можно предсказать содержание в точке массива по данным опробования, а на больших дистанциях – не имеем права. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния. На графике – это расстояние по оси абсцисс от начала координат до точки пересечения теоретической вариограммы с линий порога.

Вариограмма рассчитывается как сумма квадратов разности содержаний между пробами, отстоящими друг от друга на расстоянии h, отнесенная к удвоенному числу пар проб. Функция экспериментальной вариограммы имеет следующий вид:

$$\gamma(h) = \frac{\sum\left(C_i - C_{(i+h)}\right)^2}{2N},$$

где C_i – содержание элемента в точке i,

$C_{(i+h)}$ – содержание элемента в точке, отстоящей на расстояние h от «i» пробы.

Анализ вариограмм необходим для изучения пространственной неоднородности минерализации и расчета исходных параметров для оценки содержаний с помощью кригинга. Выполнение подобных исследований оправдано в тех случаях, когда предполагается наличие на месторождении жильных тел или рудных зон, прослеженных на значительные расстояния, а также если месторождение характеризуется рассеянной минерализацией с неопределенным типом анизотропии. В прикладном плане знание параметров пространственной изменчивости рудной минерализации дает возможность существенно сэкономить средства на разведочные работы, так как наличие вариограмм позволяет уверенно рассчитывать уровень содержаний между буровыми скважинами без дополнительного сгущения буровой сети, а также обосновывать оптимальную густоту разведочной сети. Выявленные закономерности распределения полезных компонентов в пространстве позволяют более надежно интерполировать значения содержаний, оценивать достоверность запасов.

Расстояние, на котором достигается порог (зона влияния), может меняться в зависимости от направления, вдоль которого оценивалась вариограмма. Например, в случае пластовой залежи изменчивость содержаний по простиранию пласта будет меньше, нежели вкрест простирания. Этот феномен называется геометрической (или дирекционной) анизотропией минерализации (Поротов, 2004). В случае если в разных направлениях вариограммы имеют разный порог, анизотропия называется зональной.

При моделировании вариограммы необходимо выбрать соответствующий тип модели. Существуют следующие основные типы вариограммы: линейная, общая линейная (линейные графики), сферическая, экспоненциальная, гауссова, с дырочным эффектом (криволинейные графики). Чаще всего используют сферическую или экспоненциальную модели (рис. 12).

Исследование пространственной изменчивости содержаний полезного компонента с помощью геостатистической модели проведено на одном из золоторудных месторождений Казахстана. Работа выполнена студентом-дипломником М. А. Дресвянниковым (2017). При обобщении материала за основу взята концепция, что традиционными рудоконтролирующими для золотого оруденения считаются структуры северо-восточного направления. Поэтому все первичные геохимические ореолы привязывались к ним, в том числе и ореолы золота.

Для анализа пространственного распределения золота с помощью программы LeapFrogGeo построены 3D модели, отражающие пространственное распределение содержаний золота. В результате на месторождении выделено 6 зон по преобладающему направлению простирания минерализованных зон (рис. 13).

По каждой выделенной зоне рассчитывались экспериментальные вариограммы. Для более наглядного представления построены поверхности вариограмм, представляющие собой розы-диаграммы, на которых в зависимости от направления и расстояния вынесены

значения функции вариограммы (γ). На рис.14-16 интенсивность закраски отражает изменение значений дисперсии, приведенные к шкале; стрелками показаны направления минимальной изменчивости золота. В первой зоне (рис. 13) северо-восточное направление минимальной изменчивости соответствует вытянутости рудоносной зоны. Зона 2, находящаяся в центральной части месторождения, уже имеет изотропное строение (рис. 15), которое может быть объяснено пересечением двух преобладающих на месторождении направлений распространения золоторудной минерализации (северо-западного и северо-восточного). В третьей зоне (рис. 16) направление изменчивости изменяется на противоположное, характерное для дисперсии первого участка. В целом, горизонтальные вариограммы подтверждают данные, полученные при моделировании рудной зоны. Зоны 1, 4 и 5 имеют минимальные значения дисперсии в северо-восточном направлении, зоны 3 и 6 – северо-западное, 2-ая зона – изотропна по значениям изменчивости.

Выявление в результате геостатистического моделирования «нового» структурного направления (северо-западного) (рис. 16) позволило запроектировать золотодобывающей компании в этой зоне продолжение геологоразведочных работ (в рамках доразведки северо-западного фланга месторождения).

Модели на основе случайных функций могут быть использованы для количественного описания изменчивости признака (пространственной переменной) в зависимости от местоположения пунктов наблюдений. В основе модели лежит гипотеза, что значение признака является случайной функцией координат.

$$\varphi(x) = m(x) + \delta(x).$$

Случайная функция состоит из двух частей: закономерной $m(x)$ и случайной $\delta(x)$ составляющих (рис. 17).

Закономерную часть называют математическим ожиданием случайной функции. Значения случайной функции, получаемые в результате эксперимента и заранее неизвестные, называются ее реализацией. Основными характеристиками случайной функции $j(x)$ являются ее математическое ожидание, дисперсия случайной составляющей, автоковариационная и автокорреляционная функции.

Математическое ожидание $m(x)$ представляет собой наиболее вероятное значение случайной функции в точках x. Дисперсия случайной составляющей D выражается формулой:

$$D = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta(x_i)$$

Автоковариационная функция $K(h)$ представляет собой среднее произведение соседних отклонений на расстоянии h:

$$K(h) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[\delta(x_i + h)\delta(x_i)]^2 ,$$

где n – количество наблюдений; m – количество пар соседних отклонений.

Автокорреляционная функция $r(h)$ представляет собой отношение автоковариационной функции к дисперсии:

$$r(h) = K(h)/D.$$

Сложность применения случайных функций состоит в том, что результаты геологических наблюдений представляют собой, как правило, лишь одну ее реализацию. Характеристики случайной функции можно найти либо тогда, когда она является стационарной и эргодичной, либо при введении дополнительных гипотез.

Стационарной называют случайную функцию, у которой характеристики не меняются при сдвиге сети наблюдений. Она имеет постоянные математическое ожидание и дисперсию, а корреляционная функция ее зависит лишь от расстояния h между соседними пунктами наблюдения, т. е. по существу является функцией одного аргумента. *Эргодичной* именуют стационарную случайную функцию, одна реализация которой на большом интервале эквивалентна большому числу реализаций на малом интервале.

Модель на основе стационарной случайной функции предполагает, что математическое ожидание – величина постоянная, т. е. закономерные изменения признака в пространстве отсутствуют. Тогда математическое ожидание (оценка математического ожидания) равно среднему значению признака: $m(x) = j_{ср}$, а случайные отклонения находят по формуле $d(x) = j(x) – j_{ср}$. Дисперсия, автоковариационная и автокорреляционная функции вычисляются по формулам, приведенным выше.

Из перечисленных характеристик наибольший интерес представляет *автокорреляционная функция* $r(h)$, которая показывает степень связи соседних значений признака в зависимости от шага наблюдений h. При $h = 0$ корреляционная функция $r = 1$; с увеличением шага наблюдений значение r убывает и стремится к нулю. Предельный шаг наблюдений, при котором коэффициент автокорреляции становится неотличимым от нуля, называется радиусом автокорреляции R. Он соответствует максимальному расстоянию, на котором еще обнаруживается взаимосвязь соседних наблюдений (рис. 18).

На практике автокорреляционная функция вычисляется по дискретным данным и изображается ломаной линией. За радиус автокорреляции обычно принимают тот шаг, при котором линия автокорреляции первый раз пересекает линию абсцисс.

Автокорреляционная функция зависит от направлений изучения изменчивости параметров и поэтому дает представление об анизотропии залежей. Чем больше радиус автокорреляции в заданном направлении, тем медленнее меняется значение параметра и меньше его изменчивость. Если значение радиуса автокорреляции одинаково по всем направлениям, то геологический объект является изотропным.

Радиус автокорреляции характеризует средний размер области влияния одного наблюдения, что используется при обосновании плотности разведочной сети. Для надежного установления поведения параметра между пунктами наблюдений необходимо, чтобы расстояние между ними не превышало двух радиусов, т. е. области влияния соседних наблюдений перекрывались.

Отметим, что характеристики стационарной случайной функции отражают достоверную картину лишь при отсутствии периодичности в изменении признаков. Они должны быть согласованы с периодами, сопоставимыми с размерами изучаемого объекта. В противном случае (ритмичность разреза, периодичность появления рудных столбов или разрывных нарушений и т. д.) требуется выявление периодов и амплитуд периодической

изменчивости и вычитание ее из реализации случайной функции, чтобы значения параметра привести к стационарному виду.

Различия между геостатистической моделью и моделями типа случайных функций заключается в том, что предметом изучения геостатистики служит исследование расхождений между оцениваемой величиной Q и ее оценкой q. Сама пространственная переменная рассматривается как детерминированная функция, а вероятностный подход проявляется только при оценке расхождения $\varepsilon = Q - q$.

При использовании моделей типа случайных функций предметом исследования являются природные скопления полезных ископаемых и их свойства в недрах, а в качестве случайных величин рассматриваются не дисперсии оценок, а значения всех наблюдаемых свойств. В строении полезных ископаемых выявляются элементы их неоднородности, а характеристики изменчивости изучаемых свойств оцениваются не в заведомо заданных объемах недр, а на том структурном уровне, который выявляется принятой сетью наблюдений.

Разностные модели изменчивости основаны на изучении приращений значений признака между соседними точками наблюдения и имеют целью исключение влияния закономерной составляющей изменчивости для более правильной характеристики случайной изменчивости.

Модель со вторыми разностями впервые предложена Д. А. Казаковским (Казаковский, 1948) и нашла широкое практическое применение. Метод Д. А. Казаковского разработан для правильных квадратных сетей и позволяет оценивать изменчивость геолого-промышленных параметров, которые могут быть изображены в виде топографических поверхностей, главным образом для изучения изменчивости мощности тел полезных ископаемых. Сначала вычисляют первые разности значений признака по соседним точкам:

$$\Delta'_t = \varphi_{i+1} - \varphi_i$$

а затем находят вторые разности как приращения соседних первых разностей:

$$\Delta'_t = \Delta'_{i+1} - \Delta' = \varphi_{i+1} + \varphi_{i+2} \ .$$

Абсолютной мерой изменчивости является показатель сложности топографической поверхности μ_a, который представляет собой среднее значение абсолютной величины вторых разностей:

$$\mu_a = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} |\Delta_t^m| \ ,$$

где k – количество вторых разностей.

Относительная изменчивость признака оценивается с помощью показателя изменчивости m, который представляет собой выраженное в долях единицы отношение показателя сложности поверхности m к среднему значению изучаемого параметра $j_{ср}$.

Геометро-статистическая модель. Основоположником горно-геометрического моделирования является П. К. Соболевский. В основе созданной им модели лежит представление о функциональных связях наблюдаемых свойств с пространственными координатами. Позже его идеи нашли отражение в геометро-статистической модели, разработанной В. Ф. Мягковым (Мягков и др., 1986).

Частные значения характеристик реального поля в точках пространства неоднородны по своему составу. Они представляют собой алгебраическую сумму двух величин, называемых регулярной и случайной составляющими (компонентами) поля $U_i = f(x_i) + \delta_i$ (одномерный вариант), где *Ui* – значение переменной в *i*-той точке пространства с координатами x_i; $f(x_i)$ – значение регулярной (или закономерной) составляющей; δ_i – значение случайной составляющей (рис. 19).

Регулярной (или закономерной) составляющей поля называется детерминированная компонента, фиксирующая направленность изменения изучаемого свойства в пространстве геологического объекта. Например, закономерность выклинивания линзообразного рудного тела от центра к периферии залежи.

Случайной компонентной поля называется составляющая, обусловливающая флуктуацию ее значений относительно детерминированной переменной. Ее наличие определяется влиянием как геологических, так и технологических факторов. Например, флуктуация мощности относительно генеральной тенденции к выклиниванию линзовидного тела от центра к периферии в случае экзогенного месторождения обусловлена не только неровностями дна бассейна седиментации, но и погрешностями принятого способа измерений.

Количественное описание наблюдаемой изменчивости поля заключается в разделении ее на две составляющие, определении амплитуды каждой из них и уровней изменчивости. Закономерная изменчивость определяется построением аппроксимирующей функции, получаемой аппроксимацией исходных значений параметра, а случайная изменчивость оценивается среднеквадратичным отклонением исходных наблюдений от графика аппроксимирующей функции.

Построение начальной аппроксимирующей поле функции на каждом одномерном сечении осуществляется по данным регуляризации измерений в соответствии с формулой, выведенной при условии четырехкратного последовательного сглаживания по двум точкам (Мягков, 1984):

$$U_j = 0{,}0625\,(U_i + 4U_{i+1} + 6U_{i+2} + 4\,U_{i+3} + U_{i+4}),$$

где U_j – значение регулярной составляющей поля, U_i – частные значения, полученные в результате измерений или опробования по совокупности пространственно сближенных точек. При этом координаты x_j определяются либо по аналогичной приведенной зависимости (вместо U_i в формулу подставляются значения x_i), либо по упрощенной формуле:

$x_j = x_i + (j + 1) + \Delta x$, если шаг наблюдений принят в качестве постоянной величины ($j = i$+2...).

С помощью геометро-статистической модели можно выразить основные особенности пространственной изменчивости свойств геологических объектов, установить примерные числовые значения изучаемого свойства в любой точке исследуемого объекта, получить представление о его морфологии и внутреннем строении. В то же время геометро-статистические модели не обеспечивают объективную количественную оценку изменчивости изучаемых свойств. Если статистические методы не учитывают влияния

плавных, закономерных изменений, то методы геометризации игнорируют влияние многочисленных случайных отклонений по отдельным пунктам наблюдений.

Контрольные вопросы к теме 2

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте факторы, определяющие промышленную значимость месторождений.
2. Как делятся месторождения по масштабу, качеству полезных ископаемых?
3. На что влияют глубина и условия залегания тел полезных ископаемых?
4. Зачем необходимо изучать инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений?
5. Как можно подразделить месторождения по форме залежей? Как влияет форма рудных тел на разведку и разработку месторождений?
6. Какие факторы положены в основу группировки месторождений для целей разведки?
7. Какие группы месторождений фигурируют в Методических указаниях ГКЗ? Как их учитывают при разведке?
8. Неоднородность строения минерализованных недр. Как она учитывается при разведке?
9. Изменчивость свойств полезных ископаемых, виды ее проявления.
10. Какие геологические способы изучения изменчивости известны?
11. Какие математические способы исследования изменчивости используют в последнее время при разведке месторождений?
12. Какие основные характеристики фигурируют при использовании геостатистической модели изменчивости?

Тема 3
Методологические основы разведки недр

ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДКИ НЕДР

Земные недра обычно недоступны для непосредственных наблюдений. Они познаются преимущественно выборочным методом по сети пространственно разобщенных искусственных или естественных обнажений (Каждан, 1984). При этом полнота и достоверность полученных представлений о строении и составе недр зависит от густоты сети наблюдений, характера и степени неоднородности изучаемых объектов, прерывистости изучаемых свойств. Это побудило исследователей (Крейтер В. М., Каждан А. Б., Четвериков Л. И. и др.) сформулировать принципы, определяющие методологические подходы к изучению и оценке недр.

Принцип последовательных приближений предусматривает необходимость соблюдения правила: «от общего к частному». Геологические исследования начинаются с выявления крупных потенциально рудоносных площадей и отбраковки заведомо неперспективных территорий. После этого целесообразно перейти к более детальному изучению потенциально рудоносных площадей с последовательной ее разбраковкой на перспективные и неперспективные участки. В рамках реализации принципа весь геологоразведочный процесс подразделяется на три этапа и пять стадий (см. главу 5). Предложенная стадийность отражает рациональную последовательность проведения геологоразведочных работ, когда изучение недр проводится с возрастающей детальностью. Сначала выделяются общие геологические закономерности, а затем исследуются детали строения. По мере накопления разведочных данных возрастает полнота и надежность оценки объекта. Появляется возможность пространственного обособления внутри ранее выделенных условно однородных элементов геологического строения ещё более мелких структурных элементов. Вследствие ограниченности выборочных данных для суждения о свойствах и степени изученности объекта необходимо привлечение дополнительной информации, которую можно получить по принципу аналогии.

Принцип аналогии основан на положении о том, что геологические структуры и заключенные в них полезные ископаемые формировались в близких условиях. Они обладают чертами сходства условий залегания, строения и состава. Именно это обстоятельство обеспечивает подобие свойств объекта-эталона и изучаемого объекта. Степень подобия минерализованных участков недр зависит от пространственной близости и масштабов сравниваемых объектов: чем меньше их размеры и меньше расстояния между ними, тем больше проявляется сходство.

На стадии разведки можно выделить два подхода при принятии решений по аналогии: а) внутриобъектная; б) межобъектная. *Первый подход* – параметры разведочной сети принимаются близкими к изученным (и даже уже освоенным) участкам недр. Подобный подход возможен при разведке (доразведке) глубоких горизонтов месторождения, его флангов. *Второй подход* – использование данных по другим детально изученным объектам, используется при обосновании параметров разведочной сети на вновь вовлекаемых в разведку месторождениях. Этот принцип, основанный на типизации

месторождений, изложен в «Методических указаниях…», подготовленных ГКЗ при МПР РФ для отдельных типов полезных ископаемых.

Принцип максимальной эффективности является объединяющим ранее сформулированные В. М. Крейтером принципы наименьших трудовых и материальных затрат и полноты исследования (Петруха, 2003). Сущность принципа заключается в том, что в каждый момент выполнения геологоразведочных работ затраты на получение дополнительной информации не должны превышать экономических потерь, вызванных возможными просчетами в работе будущего предприятия. Полнота информации, необходимой и достаточной для строительства горнодобывающего предприятия, определяет подготовленность месторождения для промышленного освоения. Эта информация должна обеспечить достоверную характеристику разведуемого месторождения.

Достижение полноты необходимой информации осложнено крайне ограниченным объемом получаемых геологоразведочных данных по сети редких разведочных пересечений. В то же время собранная информация должна быть достаточной для принятия проектных решений по разработке месторождения и переработке добываемого минерального сырья. Здесь работает известный в математической статистике метод изучения свойств объектов на основе ограниченной по объему выборки. На каждой последовательно сменяющейся стадии изучения объекта выборка становится более представительной. В то же время из-за ограниченности геологических наблюдений, их неполноты любое проектное решение по освоению месторождения сопровождается риском, обусловленным возможными просчетами из-за неполноты собранных данных. Задача разведки – минимизировать эти риски до экономически рациональных размеров. Это возможно за счет выборочной детализации сети наблюдений на отдельных локальных участках.

Принцип выборочной детализации заключается в том, что проведение геологоразведочных работ в пределах всего объекта изучения должно сочетаться с более детальными работами на отдельных его участках (Каждан, 1984). При этом необходимо определиться с позицией эталонного участка, определить оптимальную детальность наблюдений в его пределах. Эталоны-аналоги детализационных работ должны быть представительными по отношению ко всему изучаемому объему недр. Чем типичнее окажутся эти участки, тем полнее будут критерии подобия и меньше погрешности распространения эталонных данных на весь оцениваемый объем. Рассмотрим примеры.

Согласно «Методическим рекомендациям по применению классификации запасов… (2007)» детализационные работы на стадии оценочных работ должны предусматривать обоснование в пределах локальных участков запасов категории C_1. С учетом полученных данных на этих участках следует предусмотреть опытно-промышленную разработку (ОПР) минерального сырья. В условиях действующих горных предприятий в качестве эталонов-аналогов следует использовать уже отработанные участки месторождения.

СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Изучение недр с целью выявления и промышленной оценки месторождений полезных ископаемых осуществляется последовательно по стадиям, по мере отбраковки неперспективных площадей и более детальном исследовании заслуживающих внимания объектов. Стадийность охватывает все виды геологоразведочных работ и отражает рациональный порядок последовательности их проведения (Положение…, 1999). Выделяется три этапа и пять стадий геологоразведочных работ (табл. 1). Составители «Положения…» отмечают, что границы между стадиями условны и определяются масштабами ведущихся работ. Информация, получаемая на каждой стадии, по полноте и достоверности должна быть достаточной для геологического и технико-экономического обоснования геологоразведочных работ последующей стадии, либо освоения и проектирования разработки месторождения. «Положение…» носит рекомендательный характер и устанавливает общие для всех видов полезных ископаемых требования к содержанию и результатам геологоразведочных работ для отдельных стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых

Производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей основу геологического изучения территории и оценки ее минерагенического потенциала. Призвано обеспечить выявление закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых. Основным результатом регионального геологического изучения недр является моделирование и ранжирование по экономической значимости структурно-вещественных и минерагенических комплексов, локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья. Основными видами работ являются площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки, наземные и аэрогеофизические работы, широкий комплекс специализированных исследований: космоструктурные, геолого-минерагенические, геохимическое картирование и другие виды изучения недр. Площадные картографические работы проводятся в масштабах: 1:15000000 и мельче – сводное и обзорное; 1:1000000 (1:500000) – мелкомасштабное; 1:200000 (1:100000) – среднемасштабное; 1:50000 (1:25000) – крупномасштабное. Для развития минерально-сырьевой базы главное значение имеют средне-крупномасштабные виды картографирования. По результатам выполненных работ выявляются и оконтуриваются прогнозные площади (минерагенические зоны, рудные районы, узлы и поля) с оценкой прогнозных ресурсов по категориям P_3, P_2, (P_1).

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы

Объектами исследований являются рудные районы, узлы и поля или их части, выявленные в процессе предшествующей стадии регионального геологического изучения недр, по которым имеются оцененные прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_3. Работы могут производиться и на ранее опоискованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении перспективных площадей, изменением

конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследования недр. Поиски могут проводиться в разных масштабах (обычно в пределах 1:50000-1:10000). Включают комплекс геолого-минерагенических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных объектов используется глубокое бурение в сочетании со скважинными геофизическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий проведения работ, накопленного в отрасли опыта. По совокупности полученной информации, ее комплексной интерпретации выделяются перспективные аномалии, участки. Проверка природы аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяются основные и попутные компоненты, а в необходимых случаях – технологические свойства руд. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1. На основе полученных данных выполняется геолого-экономическая оценка выявленных объектов по укрупненным показателям. Положительно оцененные проявления включаются в фонд объектов, рекомендуемых к постановке оценочных работ с выдачей соответствующих лицензий.

Стадия 3. Оценочные работы

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади, изучения геолого-структурных условий локализации оруденения проводится геологическая съемка в масштабе 1:25000-1:10000 и крупнее (для сложных и небольших объектов). Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями, вскрытием и прослеживанием тел полезных ископаемых поверхностными горными выработками (канавы, шурфы, картировочные скважины). Все вскрытые выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты.

Технологические свойства полезного ископаемого определяются по лабораторным пробам, а в необходимых случаях – по малым и большим технологическим пробам. По этим результатам намечается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого.

Во всех разведочных выработках осуществляется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических исследований, достаточных для обоснования вскрытия и разработки месторождения. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду.

Материалы, полученные при производстве оценочных работ, должны обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом большей части запасов по категории C_2. По менее детально изученной части месторождения количественно оцениваются прогнозные ресурсы категории P_1. Достоверность данных о геологическом строении, условиям залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории C_1.

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в Методических рекомендациях по применению классификации запасов… (2007), на завершающем этапе оценки целесообразно выполнение на участках детализации отдельных месторождений специализированных работ – «Опытно промышленной разработки» (ОПР) в пределах локального объема минерализованных недр.

Геолого-экономическая оценка объектов осуществляется в процессе проведения работ и по их завершению. В начальный период оценочных работ проводится *оперативная геолого-экономическая оценка* прямым расчетом по укрупненным показателям. По результатам ее принимаются решения о целесообразности продолжения работ или их прекращении. После завершения стадии «Оценочные работы» разрабатываются *временные кондиции* и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяющая целесообразность передачи объекта в разведку с последующим его освоением. *Месторождения,* получившие положительную экономическую оценку на оценочной стадии, *называются оцененными*.

Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование «временных» кондиций и ТЭД, представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Заключение экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождений

Объектом разведки является закрепленная лицензией в виде горного отвода часть недр, включающая полностью или частично месторождение полезного ископаемого. Разведочные работы осуществляются с целью получения информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия. В «Положении…(1999)» отмечается, что в *процессе освоения месторождения* с целью расширения и укрепления минерально-сырьевой базы действующего или реконструированного горного предприятия возможно проведение *доразведки месторождения.* Эти работы предусматривают в каждом отдельном случае решение конкретных геологических задач. Например, дополнительное изучение флангов или глубоких горизонтов месторождения, уточнение технологических свойств полезного ископаемого и т. д.

При разведке завершается изучение строения месторождения с поверхности с составлением геологической карты на инструментальной основе. В зависимости от размеров, сложности геологического строения, изменчивости тел полезных ископаемых съемка проводится в масштабе 1:10000-1:1000 с применением геохимических, геофизических методов, проходкой горных выработок (канавы, шурфы, траншеи), мелких скважин. Все выходы полезных ископаемых прослеживаются, опробуются с детальностью, позволяющей выявить форму, строение, условия залегания, интенсивность и глубину проявления зоны окисления.

Разведка на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. Расположение горных

выработок (в случае отработки объекта подземным способом) должно обеспечить максимально возможное их дальнейшее использование при эксплуатации.

Последовательность и объемы разведочных работ, соотношение горных и буровых выработок, форма и плотность разведочной сети, методы и способы отбора проб (рядовых, групповых, технологических) определяются, исходя из геологических особенностей разведуемого месторождения. Вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучаются с детальностью, достаточной для проектирования рациональной технологии их переработки.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, горно-геологические условия изучаются с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения. В процессе разведки дается оценка возможных источников питьевого и технического водоснабжения, проводятся работы по выявлению местных строительных материалов, разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения, обеспечиваются природоохранные мероприятия.

Разведка завершается разработкой технико-экономического обоснования (ТЭО) *постоянных разведочных кондиций*. Производится подсчет запасов основных и попутных компонентов по категориям в соответствии с группой месторождений по сложности строения, дается детальная экономическая оценка промышленной ценности месторождения. Пространственное размещение запасов, их соотношение по категориям устанавливается недропользователем. По завершению работ *месторождение называется разведанным.*

Материалы подсчета запасов, результаты ТЭО и обоснование постоянных разведочных кондиций подлежат государственной экспертизе (геологической, экономической, экологической).

Стадия 5. Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка проводится регулярно на эксплуатируемых месторождениях с целью получения достоверных данных для безопасного ведения работ, оперативного планирования добычи, обеспечения наиболее полного извлечения из недр полезных ископаемых. Объектами изучения и оценки являются эксплуатационные этажи, блоки, уступы. Основными задачами при этом являются: уточнение контуров, вещественного состава, внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества запасов по технологическим типам и сорта руд (с их геометризацией), уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным горизонтам, блокам и т. д. Подсчитываются запасы подготовленных к отработке блоков, запасы готовые к выемке.

Для обеспечения рационального использования недр ведется учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Определяются показатели извлечения количества полезного ископаемого и изменения его качества.

В процессе разработки месторождения при резком отклонении в отдельных его частях геологических, горнотехнических и иных условий разработки, а также при изменении экологической конъюнктуры, недропользователь имеет право разработать ТЭО

эксплуатационных кондиций. Они разрабатываются на ограниченный временной период и должны быть привязаны к конкретным участкам эксплуатации.

На протяжении разведки и эксплуатации месторождения ведется учет движения запасов в результате их прироста, добычи, переработки или списания с баланса горнодобывающего предприятия. Информация по движению запасов, добыче, потерях и обеспеченности предприятия разведанными запасами передается в федеральные и территориальные фонды геологической информации.

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для сравнения запасов месторождений одного и того же ископаемого, учета минеральных ресурсов разной изученности в пределах страны и регионов необходимо располагать стандартизующей системой. Такой системой является *классификация запасов.*

В нашей стране классификация месторождений полезных ископаемых утверждалась многократно (1933, 1941, 1953, 1984, 1997, 2007 гг.). Последняя классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливает единые для Российской Федерации принципы их обоснования (Классификация…, 2007). Запасы полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе из изучения и промышленного освоения. Качество полезных ископаемых изучается с учетом необходимости их комплексного использования, технологии переработки на основе определенных требований к качеству полезных ископаемых и технических условий. При этом определяются содержания основных и попутных ценных, токсичных и вредных компонентов, формы их нахождения и особенности распределения в продуктах обогащения и переработки. Объектом подсчета запасов полезных ископаемых является месторождение (или часть месторождения) твердых полезных ископаемых.

Подсчет и учет запасов по месторождению производится в единицах массы или объема в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций без учета потерь и разубоживания при добыче и переработке полезных ископаемых.

По экономическому значению запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них попутных компонентов подразделяются на две группы: балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические); они подлежат раздельному подсчету и учету.

К *балансовым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам (ТЭР) экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

К *забаланцевым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно ТЭР экономически не эффективна (убыточна) из-за низких технико-экономических показаний, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на полезные ископаемые, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в случае, если ТЭР установлена возможность их последующего извлечения или складирования для использования в будущем.

Оценка балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых производится на основании технико-экономического обоснования (ТЭО), подтвержденного государственной экспертизой. В рамках этой оценки должны быть предусмотрены наиболее эффективные способы разработки месторождений, предложены параметры кондиций, обеспечивающие максимально полное и комплексное использование запасов с учетом требований законодательства РФ.

Запасы полезных ископаемых по *степени геологической изученности* подразделяются на категории *A, B,* C_1 и C_2. Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых категорий P_1, P_2 и P_3 в настоящем учебном пособии не рассматриваются. Критерии их выделения в пределах минерализованных участков недр разобраны в учебных пособиях (Баранников, 2011, 2013; Коробейников, 2009; Поротов, 2012 и др.).

Запасы категории A выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й группы сложности геологического и должны удовлетворять требованиям: установлены размеры, форма и условия залегания тел полезных ископаемых; изучен характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения; выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки; установлено наличие разрывных нарушений; выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлен их состав, свойства, охарактеризовано качество сортов; изучены распределение и формы нахождения ценных и вредных компонентов в минералах и продуктах переработки; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по горным выработкам и скважинам на основе результатов их детального опробования.

Запасы категории B выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й и 2-й групп сложности строения и должны удовлетворять следующим требованиям: установлены размеры, основные особенности и изменчивость внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений установлено их положение и амплитуды смещения; определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественное соотношение промышленных типов и сортов полезного ископаемого; определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок.

Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й, 2-й и 3-й групп сложности геологического строения. Также эти запасы могут выделяться на участках детализации месторождений 4-й группы. Они должны удовлетворять следующим требованиям: выяснены размеры и характерные

формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения; оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, наличие площадей развития мелко амплитудных нарушений; определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; установлены общие закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных типов и сортов, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок с учетом данных геофизических и геохимических исследований.

Запасы категории C_2 выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, а на месторождениях 4-й группы сложности геологического строения составляют основную часть запасов, вовлекаемых в разработку. Они должны удовлетворять следующим требованиям: размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим, геофизическим и геохимическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций на основании опробования ограниченного количества скважин, горных выработок, естественных обнажений с учетом данных геофизических и геохимических исследований, геологических построений.

Учитывая определенную «монотонность» в изложении вопроса категоризации запасов и, в известной степени, повторяемость предъявляемых требований к обоснованию отдельных категорий запасов, отразим этот материал в таблице 2, приведенной в учебном пособии (Шевелев, 2004). В ней наглядно *отражены особенности* требований к запасам разных категорий.

На разрабатываемых месторождениях *вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы* полезных ископаемых, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, *подсчитываются отдельно* по категориям в соответствии со степенью их геологической изученностью.

При квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классифицированного показателя должны (или могут) использоваться количественные и вероятностные оценки *точности и достоверности* определения основных параметров. Однако конкретных количественных показателей для отдельных категорий запасов до сих пор не разработано. Свой подход в решении этого непростого вопроса рассмотрен А. Б. Кажданом (Каждан, 1977, 1984).

Нет сомнения в том (отмечает этот автор), что категория запасов определяется *густотой сети наблюдений.* В то же время *точность подсчета запасов зависит, прежде всего, от количества наблюдений в пределах разведанного участка* и в меньшей степени – от густоты сети наблюдений. При разной густоте сети, но при сопоставимом числе наблюдений в блоках различных размеров, *погрешности вычисления* среднеблочных оценок могут быть *примерно одинаковыми,* в то время как разведанность блоков будет резко различаться.

Понятия разведанность и точность подсчета запасов могли бы рассматриваться как взаимозависимые только при условии последовательной детализации разведочных данных в блоке установленного размера, когда с уменьшением расстояний между смежными точками наблюдений их количество в блоке закономерно возрастает. В практике разведки это условие обычно не выполняется. При детализации разведочных данных подсчетные блоки категории C_1 разделяются на более мелкие блоки категории *B*, а те в свою очередь на еще более мелкие блоки категории *A*. Поэтому связи между числом наблюдений и густотой разведочной сети не возникает.

Таким образом, при *оценке достоверности* результатов геологоразведочных работ необходимо различать степень разведанности запасов и точность их подсчета в заданных объемах недр (Каждан, 1977).

Степень разведанности запасов характеризуется детальностью выявления условий залегания, форм и строения полезного ископаемого, условий пространственного размещения в недрах. Количественно она может быть оценена *погрешностями геометризации* разведанных скоплений полезного ископаемого в недрах для заданной сети наблюдений.

Точность подсчета запасов может быть охарактеризована *погрешностями оценок их качества и количества* в оконтуренных объемах недр.

Из определения сформулированных понятий вытекает вывод, что при переводе запасов из более низких категорий в более высокие повышается не столько точность ранее подсчитанных запасов, сколько выявляются детали их пространственного размещения в пределах более мелких участков и блоков месторождения. Таким образом, точность подсчета запасов оценивается для категорий *A, B* и C_1 примерно одной и той же погрешностью. Но в зависимости от степени детальности наблюдений эта погрешность относится к разным по величине объемам недр.

На невозможность оценки степени изученности в виде цифровых показателей обращает внимание И. Д. Коган (Коган, 1974). Сказанное он мотивирует тем, что при подсчете запасов невозможно обеспечить заранее заданную величину погрешности для отдельных категорий, так как достоверность всех исходных данных остается практически неименной для разных категорий запасов. Категория запасов может быть понижена в силу иных причин. Например, при низком выходе керна, незавершенности технологических исследований, при ошибках геологической интерпретации.

Специального рассмотрения заслуживают классификации запасов твердых полезных ископаемых, применяемые в основных горнодобывающих странах (Австралии, США, Великобритании, Канаде и др.). Сопоставление отечественной квалификации с зарубежными, описание признаков их сходства и различия необходимо при обосновании инвестиционной привлекательности выставляемых на конкурс отечественных месторождений, а также решения ряда иных вопросов.

Обычно в зарубежных классификациях используются не более трех категорий ресурсов (resourses): измеренные (measured), исчисленные (indicated) и предполагаемые (inferred), а для оценки изученности запасов – даже двух: доказанные (proved) и вероятные (probable).

Несколько иной является классификация МАГАТЭ, используемая для отражения сырьевой обеспеченности атомной отрасли. Все учитываемые количества сырья квалифицируются как ресурсы (recourses). Для характеристики их изученности (достоверности) используются две категории: достоверно установленные (Reasonably Assured Resources – RAR) и дополнительные (Inferred Resources). Сумма оценок по этим категориям рассматривается как установленные ресурсы (Identified). Для оценок ресурсов, связанных с ещё не открытыми месторождениями (Indiscovered), используются категории прогнозные (Prognosticated) и умозрительные, рискованные (Speculative).

Разное целевое назначение российских и зарубежных классификаций затрудняет их однозначное сопоставление. Точного сопоставления между отдельными категориями не может быть в принципе. В то же время при задействовании классификации МАГАТЭ условно можно считать, что категория RAR примерно соответствует категории C_1, Inferred – C_2, Prognosticated – P_1, а Speculative – P_2+P_3.

В 90-х годах ООН был разработан специальный документ, получивший название «рамочный» (frame word) классификатор ООН. Подготовленная основа классификации представляет универсальную трехмерную матрицу, являющуюся ключом-дешифратором. Она позволяет осуществлять переход от одной классификационной системы к другой (рис. 3). В представленной классификации запасы и ресурсы оцениваются с трех позиций:

- геологическая изученность, определяемая стадией выполнения работ – детальная разведка (разведка), предварительная разведка (оценка), поиски, рекогносцировочные геологические наблюдения;
- экономико-технологическая изученность, определяемая стадией технико-экономической оценки (ТЭО постоянных и временных кондиций, оценка по аналогии и т. д.).
- экономичность освоения запасов, определяемая как достаточная или низкая рентабельность.

Каждая из ячеек матрицы имеет цифровую кодировку. В системе этих координат запасы, отвечающие той или иной степени изученности, выделяются как трехмерные тела. Например, запасы, выявленные на стадии разведки (A+B+C_1 по отечественной классификации) и имеющие положительную экономическую оценку на уровне ТЭО постоянных кондиций, получают кодировку 1.1.1.

С 90-х годов XX века в промышленных странах разработан еще один путь согласованного подхода к оценке запасов, определяемый сводами правил («кодексами отчетности»). Одним из таких кодексов, принятых в 2006 г, в ЮАР, Канаде и США, является CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards). Согласно стандарту CRIRSCO эксперты в заключениях должны руководствоваться определенной схемой классификации ресурсов (рис. 4). Стрелками на схеме показаны возможные переходы ресурсов в запасы при осуществлении экономической оценки объекта и обратно (например, при снижении цен), а также вероятные (probable) через измеренные, подсчитанные (measured) в доказанных (proven) при доразведке. Ресурсы предполагаемые (inferred) экономического значения не имеют.

Системы стандартов (CRIRSCO, YORK и др.) успешно задействованы за рубежом. Однако при попытках трансформировать оценки ресурсов в таксоны отечественной

классификации следует иметь в виду, что строго формальные соотношения здесь невозможны.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ

Обоснование оптимального комплекса технических средств – кардинальный вопрос разведки месторождений. На выбор технических средств разведки оказывают влияние геологические, горнотехнические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений, техника проходки разведочных выработок (Каждан, 1977, 1985).

Геологические факторы отражают условия формирования, состав и строение полезных ископаемых, закономерности их локализации в геологических структурах, уровень эрозионного среза месторождений. Определяющее значение при этом имеют: характер связи полезных ископаемых с элементами геологического строения; условия залегания и морфология скоплений полезных ископаемых, их размеры; строение и состав залежей полезных ископаемых.

При анализе влияния *горнотехнических факторов* на выбор технических средств разведки должны быть учтены: предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения; гидрогеологические условия, горнотехнические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

Геолого-экономические факторы также могут оказывать влияние. В зависимости от уровня экономической освоенности, климата, ландшафтных особенностей рельефа, энергообеспеченности территории, наличия трудовых ресурсов, дорог и т. д. приходится решать вопросы рационального соотношения горноразведочных, буровых работ и геофизических исследований.

Технические средства геологоразведочных работ различаются по своим возможностям, информативности, стоимости (Шевелев, 2004, Петруха, 2003). Они включают: горные разведочные выработки, буровые скважины, геофизические исследования.

А. *Горные выработки* подразделяются на поверхностные и подземные. К поверхностным относятся канавы и траншеи (магистральные и прослеживающие), мелкие шурфы и дудки, расчистки; к подземным – глубокие шурфы, штольни и шахты с комплексом развиваемых из них горизонтальных выработок (квершлаги, штреки, орты, рассечки), а также наклонных и вертикальных (восстающие, гезенки).

Поверхностные горные выработки используются для вскрытия полезного ископаемого и вмещающих пород в коренном залегании, изучения зоны окисления рудных тел. Проведение этих выработок не требует больших затрат и поэтому широко используется на ранних стадиях изучения месторождений. Ведущее значение имеет проходка *канав.* Обычно их проходят на глубину 2-3 м, реже до 6 м уступами с высотой не более 2 м. При малом объеме работ и их рассредоточенности проходка канав осуществляется вручную. В стадию разведки канавы проходят с применением буровзрывных работ (рыхление, на выброс) и экскаваторами, бульдозерами, канавокопателями, скреперными установками. Те же геологические задачи (вскрытие рудных тел, их документация, опробование) решает

проходка *траншей.* От канав они отличаются большим поперечным сечением и глубиной проходки (до 5 м). Используются современные технические средства – бульдозеры, скреперы, роторные установки. При изучении месторождений, представленных жильными зонами (в том числе, камнесамоцветного сырья) и для отбора технологических проб, возможна проходка *разведочных карьеров* (Петруха, 2003). Форма карьеров в плане, их размеры и глубина определяются целевым заданием. Используются карьеры для разведки полезных ископаемых, выходящих на дневную поверхность или находящихся на небольшой глубине. Глубина карьеров может достигать 50 м, а объем – десятков кубических метров. При проходке применяют разные технические средства.

Для прослеживания и оконтуривания залежей по простиранию при мощности рыхлых отложений более 5 м, а также вскрытия предполагаемых под наносами новых тел полезных ископаемых, предусматривается проходка разведочных *шурфов.* Они подразделяются на мелкие (до 10 м) и глубокие (до 40 м). Площадь сечения шурфов 1,25; 1,5; 2,0; 4,0 м^2. Глубокие шурфы проходят для изучения условий залегания рудных тел, отбора проб монолитов. При необходимости из шурфов проходят рассечки сечением 1,8, 2,7 или 3,6 м^2. Многие годы шурфы служили основным техническим средством при разведке россыпей и других приповерхностных месторождений. Неглубокие шурфы круглого сечения называются *дудками.* Шурфы, проходимые в неустойчивых и рыхлых породах, крепят, а глубиной более 10 м вентилируют.

Механизированная проходка шурфов осуществляется с использованием специализированных технических средств, предназначенных только для бурения (КШК-30А, УБСР-25), или комбинированных, используемых для проходки шурфов и скважин (ЛБУ-50, КБУ-15, УКС-22М).

Подземные горные выработки по целевому назначению подразделяются на подходные (вскрывающие) и собственно разведочные (Шевелев, 2004). К подходным относятся шахты, подходные штольни и квершлаги; к основным – штреки, орты, рассечки и восстающие.

Стволы *разведочных шахт* используются как вскрывающие выработки при разведке месторождений. Сечение разведочных стволов колеблется от 6 до 12 м^2, а глубина – до нескольких сотен метров. *Разведочные штольни* служат горизонтальными вскрывающими выработками при разведке месторождений, залегающих в условиях пересеченного рельефа. Поперечное сечение штолен колеблется в пределах от 6 до 9 м^2. *Квершлаг* также является горизонтальной вскрывающей подземной выработкой и проходится из ствола шахты. Разведочным квершлаг является только в той части, где выработка пересекает залежь полезного ископаемого. *Разведочные штреки* представляют горизонтальные горные выработки, пройденные по простиранию залежей. Их целью является прослеживание по простиранию строения рудных тел, сплошности оруденения. Штрек может быть пройден по полезному ископаемому (*рудный штрек*) или по вмещающим породам (*полевой штрек*). Если тела полезных ископаемых обладают значительной мощностью, то от полевого или рудного штрека через определенные интервалы проходят *орты* (рассечки) или *скважины* с выходом во вмещающие породы для вскрытия продуктивных зон на полную мощность. Эти выработки выполняют роль разведочных пересечений. *Разведочные гезенки* проходят из

квершлагов вверх или вниз, пересекая пологопадающие тела полезного ископаемого по их мощности. *Разведочные восстающие* проходят из штреков по восстанию залежей полезного ископаемого. Проходят восстающие с целью прослеживания залежей полезного ископаемого между основными горизонтами горных работ. При этом появляется возможность изучения сплошности оруденения по восстанию, изменчивости мощности и качества минерального сырья по вертикали.

Площади поперечного сечения в проходке квершлагов и штреков колеблется в пределах 3,6-5,8 м^2, ортов – 2,7-3,6 м^2, восстающих и гезенков – до 4 м^2.

При проходке разведочных выработок используются разнообразные технические средства, осуществляющие буровзрывные, погрузочные, откаточные, подъемные и иные виды работ.

Применение горных работ в качестве технического средства рекомендуется осуществлять с учетом следующих требований (Петруха, 2003):

- при заложении дорогостоящих горных выработок необходимо учитывать геологические особенности объекта (условия залегания, размеры, форма залежей), полученные во многих случаях путем разведочного бурения;
- преобладающая часть горных выработок должна приходиться на вскрытое полезное ископаемое с целью его изучения и опробования;
- горные выработки следует проходить с учетом их дальнейшего использования при эксплуатации месторождения; например: использования разведочных шахт в ранге вентиляционных.

Горные выработки позволяют детально изучить изменчивость параметров оцениваемых объектов (по форме, качеству сырья, сплошности оруденения и т. д.), учет которых крайне необходим при разведке месторождений 3-й и 4-й групп по сложности геологического строения. Примеры размещения горных выработок при вскрытии и разведке тел полезных ископаемых отражены на рисунках, приведенных в учебных пособиях (Петруха, 2003; Шевелев, 2004).

Б. *Буровые разведочные скважины* – наиболее широко применяемые технические средства разведки. Для большинства полезных ископаемых они являются главным и даже единственным техническим средством. Следует учитывать, что скважины дают менее полные сведения об оцениваемом полезном ископаемом, но буровые работы нашли широкое применение благодаря мобильности, скорости проходки скважин, относительной легкости оборудования, меньшим расходом средств на метр проходки (Шевелев, 2004). При всех очевидных преимуществах буровые скважины имеют и недостатки: они вскрывают небольшие участки недр; дают менее точные сведения о составе и строении полезного ископаемого по сравнению с горными выработками; повторное контрольное опробование и отбор проб разного назначения ограничен из-за малого количества получаемого каменного материала; при бурении скважин наблюдается их искривление, что усложняет геометризацию разведанных объемов недр; при бурении по рудоносным интервалам возникают осложнения и отмечается недостаточный выход каменного материала с ненарушенной структурой. Но буровые скважины незаменимы при разведке глубоко

залегающих месторождений. Месторождения 1-ой и 2-ой групп по сложности геологического строения в основном разведуются только бурением.

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых скважины бурятся с поверхности и из подземных горных выработок. Для поверхностного бурения используются неглубокие ударно-вращательные, вибрационные скважины и более глубокие ударно-канатные, пневмоударные и гидроударные. При оценке глубоких горизонтов задействуют бурение колонковых скважин и бескерновых скважин вращательного бурения. Из подземных горных выработок бурятся колонковые, шарошечные и перфораторные скважины.

Приповерхностные скважины глубиной до нескольких десятков метров используются для геологического изучения рудовмещающих структур, прослеживания, опробования и оконтуривания приповерхностных участков месторождений (Шевелев, 2004). Возможно использование разного типа буровых установок: УПБ-25 и УБР-2, БУУ-2, УКБ 12/25, БУ-20-2УШ и др.

Колонковое бурение глубиной от десятков метров до 150-200 м осуществляется агрегатами, смонтированными на автомашинах (УКБ-2, БСК, КГК-100 и др.). Более глубокие скважины бурятся агрегатами УКБ-3, УКБ-4, УКБ-5 и станками ЗИФ-650, СБА-500, СБА-800, ЗИФ-1200 и др. В последнее время в практике геологоразведочных работ нашли применение станки, разработанные зарубежными фирмами. Наиболее широко применяются буровые установки компаний Boart Longyear, Atlas Copco, Sandvik, SCHRAMM и их аналогов, произведенных, как правило, в КНР. Известные в нашей стране установки алмазного бурения серии Boart Longyear включают станки LM30, LM45, LM55, LM75. Размещенные на них манипуляторы позволяют ориентировать направление бурения скважины в любую заданную сторону.

Создание новой техники направленного бурения позволило проводить разведку по более рациональным схемам при проходке многоствольных скважин и за счет этого – многократного увеличения массы опробуемого рудного материала (без бурения дополнительных скважин). При этом дополнительные стволы могут располагаться как в одной вертикальной плоскости, искривления в одну сторону, так и задаваться в разных азимутальных направлениях (рис. 5).

Скважины подземного бурения могут являться частью разведочной системы или решать частные задачи, возникающие при геологическом изучении месторождения (прослеживание локальных рудоконтролирующих структур, апофиз, поисков смещенных частей рудных тел и т. д.). Бурение колонковых горизонтальных, наклонных и вертикальный скважин до 100 м осуществляется станками БСК-2М-100, а бескерновое – станками НКР-100. Неглубокие подземные скважины могут буриться с помощью колонковых или телескопных перфораторов без отбора керна глубиной 15-20 м.

В. *Геофизические исследования* играют большую роль в изучении земных недр, в том числе, на стадии разведки месторождений. Несмотря на то, что непосредственной геологической информации эти исследования не дают, геофизика как метод во многих случаях позволяет сократить количество необходимых разведочных пересечений, получить дополнительную ценную информацию. При обосновании и своевременном проведении

комплекса геофизических исследований появляется возможность пересмотра рекомендуемых методик и технических средств разведки. Последние могут меняться в зависимости от конкретной геологической обстановки и разрешающей способности геофизических средств разведки (Шевелев, 2003).

Как основные технические средства, геофизические методы могут применяться для исследования недр в промежутке между разведочными сечениями и при задействовании операций геофизического опробования.

Комплекс геофизических методов для решения основных задач разведки выбирается на основе учета совокупности факторов, определяющих возможную эффективность раздельного и совместного их применения. К таким факторам относятся (Комплексная …, 1990):

- степень дифференциации пород и руд по физическим свойствам, определяющая возможность использования данных каротажа для петрографической характеристики объектов;
- размеры, форма, элементы залегания, число рудных тел, текстурно-структурные особенности руд и их вещественный состав;
- присутствие в разрезе пород, близких по физическим свойствам к рудным образованиям;
- методика ведения горных и буровых работ, техническое состояние скважин.

При обосновании методики разведочных работ в рациональный комплекс необходимо включать минимальное и достаточное число геофизических методов, обеспечивающих получение достоверной информации с наименьшими затратами труда и времени. При задействовании нескольких методов следует предусмотреть последовательную их реализацию, скорректированную в зависимости от результатов каждого предыдущего метода.

Представления о возможностях геофизических методах формируются на основе *физико-геологической модели* (ФГМ) *объекта.* ФГМ включает геологическую модель, сведения о физических свойствах структурных элементов геологической модели, ожидаемые геофизические поля и аномалии на площади или по отдельным профилям (Сапожников, 2012).

В комплекс *наземных геофизических работ* при разведке месторождений входит широкий перечень методов: электроразведки, магниторазведки, радиометрии и др. Геофизические съемки в масштабе 1:2000-1:1000 позволяют более надежно оконтурить площади развития рудной минерализации, поля измененных околорудных пород, проследить выходы рудных тел, установить элементы их залегания, определить мощность рыхлых отложений и границу коры выветривания. Рассмотрим лишь ведущие из перечисленных методов.

Электроразведка включает группу методов, основанных на изучении естественных или искусственно возбужденных в земной коре электромагнитных полей. Электромагнитное поле зависит от свойств горных пород (удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, электрохимической активности). Это позволяет по изменению параметров поля изучать геологическое строение

площади и выявлять залежи полезных ископаемых. Используются следующие основные группы методов.

Электропрофилирование (ЭП) является одним из самых распространенных методов электроразведки и применяется для изучения крутопадающих слоистых толщ при некоторой постоянной глубинности изучения разреза по профилю (Сапожников, 2012). Геологическими предпосылками для применения метода является присутствие в рудах сульфидов, минералов железа и других, обусловливающих их низкое электросопротивление по сравнению с вмещающими породами. Распространенным является вариант ЭП, получивший название срединный градиент (СГ). В этом варианте токовые электроды разносятся на большое расстояние (1-3 км) и остаются неподвижными в процессе измерения удельного электрического сопротивления ρ_k при перемещении приемной установки *MN* постоянного тока и постоянного размера между электродами *AB*. В горизонтальной однородной среде градиент электрического поля ($\Delta U/MN$) практически постоянен и на его фоне заметны проявления неоднородности разреза в виде локальных тел, крутопадающих пластов с аномальными электрическими свойствами (например, зон окварцевания).

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) – метод электроразведки, применяемый для изучения изменения удельного сопротивления по глубине для некоторой вертикальной трассы. Основан метод на постепенном увеличении размеров установки *AB* с общей центральной точкой (точкой зондирования), при котором увеличивается глубина проникновения тока и, соответственно, глубинность исследований. Метод ВЭЗ используется для изучения пространственного положения, морфологии и элементов залегания рудных тел в вертикальном разрезе. Широко задействуют его при геоморфологических исследованиях, для определения позиции и состава кор выветривания, мощности и строения рыхлого покрова, при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

Метод вызванной поляризации (ВП) основан на изучении электрохимических процессов, возникающих на границе пород с ионной проводимостью (электронных проводников) и окружающей их жидкостью (электролитом) под воздействием пропускаемого тока. После выключения тока некоторое время в цепи возникает вторичная ЭДС – гальванический источник тока, создающий нестандартное поле вторичной поляризуемости. Метод ВП широко используется при разведке месторождений сульфидных, магнетитовых, редкометалльных и иных руд, при оценке ореолов с рассеянной рудной минерализацией.

Метод естественного поля (ЕП) основан на изучении естественных электрических полей, обусловленных разными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Метод эффективен при разведке рудных тел близповерхностного залегания, являющихся электронными проводниками. Используется при разведке сульфидных, магнетитовых, марганцевых и графитовых месторождений.

Метод переходных процессов (МПП) основан на изучении низкочастотного электромагнитного поля. В МПП изучается неустановившееся поле вихревых токов,

возникающих в породах и рудах при ступенеобразном изменении тока в контуре, который может быть расположен как на наземной поверхности, так и в воздухе (Горбунова, 1982).

Магниторазведка основана на изучении пространственных изменений геомагнитного поля, возникающих вследствие неодинаковой намагниченности горных пород и руд. Магнитное поле измеряют с помощью магнитометров, предназначенных для измерения полного вектора напряженности Т и его вертикальной составляющей. Обычно выполняют относительные измерения, находя приращения значений поля между двумя пунктами наблюдений. Интерпретация магнитных аномалий начинается с анализа карт изолиний магнитного поля, по которым судят о морфологии, размерах и природе возмущающих объектов (Сапожников, 2012). Количественную интерпретацию аномалий осуществляют, используя графики по профилям, проходящим крест простирания геологических объектов. Магнитные съемки с высокой детальностью и точностью 1-2 нТл включаются в разведочный комплекс для решения широкого круга вопросов. В том числе: расчленения пород по литологическому составу; выявления локальных структурных элементов (даек, жил, жерловых построек и т. д.); обоснования зональности размещения разных типов метасоматических пород; выявления магнитных руд черных металлов и слабомагнитных – цветных, благородных, редкометалльных; изучения рудных тел в морфоструктурах месторождения; изучения инженерно-геологических условий и т. д.

Гравитационная разведка основана на изучении пространственного распределения плотности в земной коре с помощью измерения силы тяжести σ (в г/см^3). При интерпретации полей силы тяжести используется характеристика избыточной плотности $\Delta\sigma$, представляющая разность плотностей отдельного геологического тела $\sigma_т$ и вмещающих пород $\sigma_{вм}$. Она может быть положительной или отрицательной. Единицей измерения силы тяжести является Галл (см/с^2). Но обычно пользуются более мелкой единицей – миллигалом (1 мГал =10^{-3} Гала). В разведочной геофизике относительные измерения гравитационного поля g выполняются с помощью гравиметров. Прибор позволяет измерять приращение g от точки к точке, т. е. Δg. На этой основе вычисляются аномальные поля Δg, по которым судят о неоднородностях по плотности в земной коре.

Гравиразведка применяется при структурно-геологическом изучении земной коры, разведке разных полезных ископаемых. Наиболее эффективно гравиметровой съемкой выявляются залежи железорудных и хромитовых месторождений, интенсивность аномалий силы тяжести над которыми может достигать 0,4-0,5 мГал. При увеличении детальности съемки возможно обнаружение рудных тел сульфидных месторождений размером 0,1-0,2 км^2, с интенсивностью аномалий 0,2-0,5 мГал (Шевелев, 2004).

Радиометрические методы основаны на изучении радиоактивности руд и горных пород с целью решения поисково-картировочных и разведочных задач, опробования. Наибольшее применение получила *гамма-съемка*, дающая положительные результаты для обнаружения радиоактивных руд и расчленения горных пород. Съемка проводится в аэро-, пешеходном, автомобильном вариантах. Радиоактивность выражается через мощность дозы излучения за единицу времени в А/кг (в системе СИ) или в микрорентгенах в час (1 мкР/час=10^{-12} А/кг). Изменения выполняют с использованием спектрометрической

аппаратуры, позволяющей выделять урановую и калиевую составляющую радиоактивного поля.

Повышенной радиоактивностью обладают породы, в которых в рассеянном состоянии находятся элементы урана, тория. Также повышенная радиоактивность свойственна породам, содержащим изотоп Калий-40. Он присутствует в кварц-серицитовых сланцах, нередко несущих золоторудную минерализацию, полевошпатовых породах, калийных солях.

Геофизические исследования скважин (ГИС) – это отрасль разведочной геофизики, отличающаяся от других методов только по методике исследований. Основные положения теории физических полей, измеряемых в скважинах, остаются теми же, что и в полевой геофизике (Сковородников, 2009, 2016). Роль и значение ГИС постоянно возрастает. В перспективе ГИС открывает путь к бескерновому изучению скважин. В настоящее время в скважинах регистрируется большое количество разных параметров (около 40). При этом стоимость ГИС составляет незначительную часть от общей стоимости сооружения и оборудования скважины.

В ГИС выделяют три больших раздела: каротаж, операции в скважинах и скважинную геофизику.

Каротаж – это геофизические методы изучения геологического строения разрезов скважин. В каротаже исследуются очень небольшие объемы горных пород, прилегающие к стенкам скважины. Отличительная особенность каротажа – высокая детальность и точность исследований. Результаты фиксируются в виде непрерывных диаграмм по стволу скважины или в виде числовых значений с шагом порядка 10-20 см. Каротаж позволяет выполнять литологическое расчленение разрезов скважин, выделять в них интервалы полезного ископаемого, определять физические свойства горных пород и полезных ископаемых in situ. Именно на основании данных каротажа производится интерпретация полевых геофизических методов: электроразведки – по данным об удельном электрическом сопротивлении (УЭС) пород; магниторазведки – по значениям магнитной восприимчивости пород: гравиразведки – по их плотности. Каротаж дает сведения, необходимые для подсчета запасов месторождения – данные о мощности залежей, содержанию полезного компонента и т. д. Изучение скважин подразделяется по природе изучаемых полей на методы электрического, радиоактивного каротажа и прочие методы (Сковородников, 2009, 2016).

Методы электрического каротажа включают:

а) Группу методов кажущегося сопротивления (КС). В эту группу входят: метод КС – наиболее распространенный; резистометрия – метод определения удельного сопротивления жидкости; метод БКЗ (боковых каротажных зондирований) – скважинный аналог метода ВЭЗ; БК – боковой каротаж и др.

б) Методы токового каротажа: метод скользящих контактов (МСК) – при исследовании рудных скважин; метод бокового токового каротажа (БТК) – для исследования углеразведочных скважин.

в) Группа электромагнитных методов: ИК – индукционный каротаж, использующий поля низких частот; ВМП – высокочастотный волновой метод проводимости и др.

г) Группа методов электрохимической активности: ПС – метод потенциалов самопроизвольной поляризации (аналог метода естественного поля); метод электродных потенциалов (МЭП). Методы ПС и ПК стали применяться совместно, получив название стандартного электрического каротажа.

Методы радиоактивного каротажа (РК) включают: ГК – гамма каротаж – регистрация естественного гамма-излучения горных пород; ГГК – гамма-гамма каротаж, имеющий две разновидности – плотностной (ПГГК) и селективный (СГГК); РРК – рентгенорадиометрический каротаж; НГК – нейтронный гамма-каротаж и другие методы.

Скважинная геофизика – это геофизические методы изучения геологического строения межскважинного, околоскважинного и призабойного пространства. В отличие от каротажа, скважинная геофизика отличается большими объемами исследуемых горных пород. Это позволяет увеличить действующую зону влияния скважин, пройденных по разряженной сети, обеспечить получение дополнительной геологической информации о межскважинном пространстве.

Методы скважинной и полевой геофизики подразделяются по природе исследуемых физических полей. Широкое использование в практике разведочных работ получили методы скважинной разведки. Выделены методы, основанные на использовании тока разной природы.

На постоянном токе: метод ЕП-С (естественного поля, скважинный вариант), МЗТ – метод заряженного тела, МЭК – метод электрической корреляции разрезов, ЧИМ – метод частичного извлечения металла.

На переменном токе: метод радиоволнового просвечивания, ДЭМПС – дипольного электромагнитного профилирования скважин, ННП-С – наземной незаземленной петли, скважинный вариант.

На импульсном токе: СП-С – метод вызванной поляризации, скважинный вариант; МПП-С – метод переходных процессов, скважинный вариант.

Задачи геофизических исследований в *горных выработках* во многом близки к тем, что уже были сформулированы выше. В том числе: корреляция рудных подсечений; оконтуривание и оценка размеров рудных тел; поиски пропущенных при разведке рудных тел в межвыработанном, межскважинном и околоскважинном пространстве; оценка положения выработок относительно рудных тел; внедрение в практику геофизического опробования.

Геофизическое опробование дополняет геологическое и во многих случаях его заменяет. Оно осуществляется в скважинах и шурфах, на стенках горных выработок. Также опробуется отбитая рудная масса в вагонетках и на транспортерах. Особенности геометрии среды измерений и условий их проведения отражаются в специфичности аппаратуры, в конструкции датчиков.

При измерении в горных выработках основными методами электроразведки являются (Рудничная…, 1986): метод ПС, электропрофилирование, метод электрической корреляции (МЭК), методы грави- и магниторазведки. С их помощью решаются горнотехнические задачи: определяется плотность горных пород и руд, выявляются подземные полости и зоны обрушения, форма карстовых полостей, коэффициенты

фильтрации подземных вод и другие вопросы геологического обеспечения добычных работ.

СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Метод локальных геологических наблюдений реализуется в разведке посредством *разведочной сети* (РС). Разведочная сеть – это методическое обоснование разведки месторождений полезных ископаемых. Она непосредственно влияет на получаемую разведочную информацию об оцениваемом объекте. От влияния собранной при разведке информации позднее невозможно избавиться никакой последующей обработкой данных (включая математическое и иное моделирование). Обоснование рациональной РС, отвечающей геологическим особенностям оцениваемого объекта, является кардинальным вопросом разведки месторождений.

Обоснование РС опирается на ряд понятий.

Любая разведочная выработка, пересекающая природное скопление полезного ископаемого, представляет искусственное обнажение и в случае выполнения определенных условий может рассматриваться как *единичное разведочное пересечение.* Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует *разведочное сечение*, а совокупность разведочных сечений в пространстве – *разведочную систему.* Таким образом, *под разведочной системой понимается совокупность разведочных сечений (разрезов), определенным образом ориентированных в пространстве по отношению к рудному телу, позволяющих решать стоящие перед разведкой задачи* (Каждан, 1977; Рудничная…, 1986; Шевелев, 2004). Прослеживание объектов разведки в заданном направлении осуществляется с помощью разведочных пересечений, в заданной плоскости – с помощью разведочных сечений (разрезов), в заданном объеме – с помощью разведочных систем.

Разведочное пересечение должно удовлетворять ряду требований. Главные из них (Шевелев, 2004):

а) должно быть ориентировано в направлении близком к направлению максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах (чаще – по линии мощности);

б) вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность с выходом во вмещающие породы.

Разведочное пересечение может быть выполнено с применением разных технических средств: скважин, шурфов, подземных горных выработок и др. Их выбор зависит от задач разведки, природных особенностей объекта, технико-экономических соображений. Чем сложнее строение полезного ископаемого, тем в большей степени должно быть вскрыто тело оцениваемой залежи. Оптимальным при этом является использование разведочных горных выработок.

Разведочное пересечение должно быть сплошным, что обеспечивает полную информацию по изучаемому направлению. Вычисленные по нему средние значения свойств наиболее близки к действительным. Они расходятся только на величину технических погрешностей экспериментальных наблюдений.

Разведочные сечения (разрезы) могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к телам полезных ископаемых, а также горизонтальными или вертикальными. Разведочные пересечения в пределах разрезов могут располагаться параллельно под разными углами или пересекая друг друга. Если сведения о строении и свойствах полезного ископаемого накапливаются по линиям на основе данных разведочных пересечений, то площади (объемы) между смежными разведочными разрезами остаются неосвещенными. Чтобы иметь сведения о свойствах полезного ископаемого в пределах этих площадей, необходимо располагать характеристикой изменчивости залежи и геологической информацией, которая может быть получена только по принципу аналогии.

Несколько иной смысл вкладывал в понятие разведочной системы основоположник учения о поисках и разведке МПИ В. М. Крейтер (1961). В основе предложенной им систематики предлагалось брать необходимый комплекс технических средств разведки. Под системой разведки он понимал «такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и произвести необходимое опробование для подсчета промышленных запасов полезного ископаемого». Все разведочные системы В. М. Крейтер объединил в три группы, взяв за основу технические средства разведки: группы буровых, горных и горно-буровых систем. Позднее в развитие представлений о разведочных системах уже иными авторами были положены такие базовые понятия как характер изменчивости свойств полезных ископаемых, особенность анизотропии в строении залежей, возможности их изучения на основе комплекса технических средств. Так, А. Б. Каждан (1984) предложил классификацию разведочных систем, разделив их на три класса: системы вертикальных, горизонтальных и продольных разрезов, а также входящих в них ряда групп и видов (табл.).

РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ, ЕЁ ТИПЫ, ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

Типы разведочных сетей

Обоснованность запланированной в проекте разведочной системы раскрывает выбранная разведочная сеть. Под *разведочной сетью* (РЗС) следует понимать взаиморасположение в объекте разведки локальных наблюдений и измерений разведочных параметров (Шевелев, 2004). Практика показала, что при одной и той же разведочной системе могут быть реализованы разные РЗС и, наоборот, разными разведочными системами могут быть созданы одинаковые разведочные сети.

Разведочную сеть характеризуют ряд показателей.

Анизотропия РЗС – это различие в размещении наблюдений и замеров по разным направлениям пространства. Анизотропия проявляется в форме и ориентировке ее ячеек. Если форма ячеек изометричная (квадратная, треугольная), то сеть изотропна. Если ячейка сети обладает удлиненной формой (прямоугольной, ромбической) с одинаковой ориентировкой, то сеть анизотропна.

Геометрия сети может быть разной. Выделяют правильные, неправильные и линейные сети.

Правильные сети – расположение разведочных пересечений подчиняется строгому геометрическому порядку (квадратная, прямоугольная, ромбическая).

Неправильные сети – отсутствует общая геометрическая упорядоченность в расположении разведочных пересечений.

В *линейных сетях* – разведочные пересечения располагаются в плоскости разведочных сечений и образуют отдельные линии на плоскости проекции; они могут быть параллельными или пересекающимися.

РЗС формирует представление об объекте разведки, соответствие которого в действительности можно проверить только в процессе отработки месторождения. Поэтому следует стремиться к обоснованию и реализации на практике «оптимальной» разведочной сети. По мнению В. В. Шевелева (2004) для этого необходимо выполнение ряда условий.

Первое: при ограниченных ассигнованиях на разведку оптимальная РЗС должна быть обеспечена лимитированным количеством разведочных пересечений, позволяющим выполнить разведку с наибольшей точностью и детальностью.

Второе (дополняющее первое): требования по точности и детальности разведки (категоризации запасов) следует реализовать наименьшим количеством разведочных пересечений.

Третье: у разведочной сети должна быть «оптимальная геометрия», отвечающая структурно-морфологическим особенностям объекта.

На примере четырех ведущих морфологических типов полезных ископаемых ниже рассмотрены условия выбора разведочных сетей (Волков, 2006).

1. Горизонтальные пластовые, пластообразные и линзообразные залежи, имеющие в плане изометричную или близкую к ней форму. Элементы анизотропии свойств не выражены. К этой группе следует отнести месторождения осадочного генезиса и кор выветривания: часть месторождений железных руд, марганца, никеля, бокситов, углей, фосфоритов. Если залежь должна быть изучена с одинаковой точностью по всей площади, то для достижения этой цели наиболее эффективна *квадратная сеть* разведочных пересечений (рис. 20). Она дает возможность получить серии взаимно пересекающихся разрезов. Подобная сеть позволяет на отдельных участках более сложного строения дальнейшее развитие РЗС путем проходки детализационных профилей (рис. 21).

При разведке рассматриваемого типа залежей возможны и другие варианты сетей, отвечающих тем же условиям равномерности расположения точек наблюдений. К ним можно отнести *треугольную сеть,* позволяющую построить равноточные разрезы по трем направлениям. При одинаковом расстоянии между точками пересечения у треугольной сети есть преимущество – расстояние до центра ячейки оказывается меньшим (рис. 22). Но треугольная сеть в практике разведок почти не используется (возможности ее дальнейшего развития отсутствуют).

2. Горизонтальные пластовые и пластообразные залежи, обладающие заметно выраженной в плане протяженностью в одном направлении – более распространенный в природе класс залежей по сравнению с предыдущим, шире охватывающий те же типы осадочных и экзогенных месторождений. Наличие у тел длины и ширины определяет анизотропию их строения. Поперек вытянутости залежей изменчивость выше, вдоль тел – меньше. Условию получения равномерной изученности залежей в данном случае наиболее соответствует *прямоугольная сеть,* стороны которой ориентированы по направлению

длины и ширины тела. Короткая сторона ячейки располагается по ширине, а длинная – вдоль вытянутости объекта (рис. 23). Прямоугольная сеть обладает возможностями ее развития – сгущение на отдельных участках, проходка детализационных профилей.

Примером рассматриваемой группы залежей служат сильно вытянутые извилистые в плане тела лентообразной формы с резко выраженной анизотропией свойств (рис. 24). Геометрически правильная прямоугольная сеть при этом нарушается, и она становится близкой к сети следующего типа.

3. Наклонные залежи с отчетливо выраженными элементами залегания являются наиболее распространенным типом объектов разведки. Их морфология соответствует пластам, пластообразным залежам. Залежи такого типа обладают анизотропией морфологии, условий залегания и внутреннего строения. Разведочная сеть подчинена этим признакам. Применяется система параллельных вертикальных сечений (при выдержанном простирании) или непараллельных (при изменчивом простирании), располагающихся на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 25). Способы развития сети точек наблюдений близки к описанным выше. Например, детализация имеющихся профилей, проходка промежуточных линий и выработок.

4. Для крутопадающих залежей, имеющих облик штоков, характерны сложные виды анизотропии (состава, свойств). В этом случае используется комбинированный способ разведки с применением горных выработок и буровых скважин. В одном из вариантов разведки крутопадающее рудное тело рассекается горными выработками по нескольким горизонтальным сечениям. В каждом сечении проходятся поперечные горные выработки и горизонтальные скважины с целью оконтуривания и изучения залежи (рис. 26).

В учебном пособии (Рудничная…, 1986) приведена более лаконичная систематика разведочных сетей. Выделены две системы разведки – по сетке и параллельным сечениям.

В системе разведки по сетке задействованы правильные разведочные сети – квадратная, прямоугольная, ромбическая. Эти РС применяются для крупных по размерам, простых по морфологии и внутреннему строению рудных тел, залегающих горизонтально или слабо наклонно – пластов, пластообразных тел, штокверков, плащеобразных залежей (рис. 27).

В системе разведки по параллельным сечениям следует выделять: а) горизонтальные сечения для крутопадающих тел сложной формы и строения (трубообразных, линейных оруденелых зон); б) вертикальные сечения для любых по форме тел с переменными углами падения, сложным внутренним строением и глубокозалегающим. Иногда системы горизонтальных и вертикальных сечений могут применяться на одной и той же залежи. Здесь верхняя часть разведуется горизонтальными сечениями (горными выработками в комбинации с подземными скважинами), а глубокие горизонты – скважинами с поверхности и подземным бурением, создающими вертикальные сечения.

Принципиальная схема разведки рудных тел линзообразной формы с использованием горноразведочных работ и буровых скважин отражена на рисунке 28.

Плотность разведочной сети, её обоснование

Обсуждение вопроса о плотности разведочной сети имеет высокую актуальность. С одной стороны, этот вопрос касается детальности изучения объекта, а с другой – связан с

затратами средств и времени. Выбор плотности сети ориентируется на изучение *наиболее изменчивых параметров залежей.* В одних случаях для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежей; в других – для оценки качества минерального сырья результаты исследования изменчивости линейных запасов или содержаний.

Разведочная сеть создается в плоскости залежей. Плотность (густота) разведочной сети определяется площадью, приходящей на одно разведочное пересечение. Плотность разведочной сети (R) есть безразмерный показатель – отношение объёма залежи (Q) к объему разведочной ячейки (q), т. е. $R=Q/q$. Однако в практике разведки практически всегда используют параметры, характеризующие расстояние между разведочными пересечениями, как в плоскости разведочных сечений, так и между ними.

Плотность разведочной сети зависит от размеров скоплений полезных ископаемых, сложности их геологического строения, целей разведочных работ, размеров оцениваемых (подсчетных) блоков. Чем гуще РЗС, чем меньше размер ее ячейки, тем большей разрешающей способностью она обладает и тем более глубокий уровень в строении оцениваемых объектов она вскрывает. По мере сгущения РЗС у наблюдаемой изменчивости разведочных параметров меняется соотношение между ее случайной и закономерной составляющими в сторону увеличения последней. Суммарная изменчивость остается постоянной, что выражается в постоянстве величины ее дисперсии при разной густоте РЗС (Шевелев, 2004).

Мерой, определяющей степень сгущения разведочной сети, служит выявляемая доля координированной изменчивости свойств залежей полезных ископаемых. Только при ее наличии правомерна геометризация параметров залежей. Составляющая неслучайной (координированной) изменчивости может быть выявлена и оценена горно-геометрическими и математическими методами.

В практике геологоразведочных работ при оптимизации РЗС задействуют следующие методы (способы):

- аналогии;
- разрежения (сгущения) разведочной сети;
- сравнения данных разведки с данными эксплуатации;
- геометро-статистический;
- совокупность математических методов

и ряд других способов.

Способ аналогии применяется в соответствии с принципом аналогии. Первоначально разведочная сеть принимается по аналогии с другими близкими по геологическому строению объектами. Месторождения должны относиться к одному геолого-промышленному типу. В данном случае задействуется *межобъектная аналогия.* Наибольшее значение способ приобретает на стадии оценочных работ в связи с недостатком сведений о геологическом строении оцениваемого объекта.

Способ базируется на отнесении разведуемого объекта к определенной группе сложности строения и выборе плотности РЗС на основе обобщения данных разведки многочисленных месторождений, приведенных в «Методических указаниях по

применению классификации запасов…», МПР РФ, 2007. Накопленный опыт указывает на определенную условность отнесения объектов к той или иной группе. Индивидуальность объектов является основной причиной ошибок при использовании метода. Чем необычней по строению, составу оцениваемые недра, тем ниже оказывается возможность использования способа аналогии.

В пределах месторождения возможно применение *внутриобъектной аналогии* – использование апробированных разведочных сетей на участках выборочной детализации или в пределах отработанных частей залежей. Способ аналогии является наиболее используемым. Однако в рекомендациях ГКЗ подчеркивается, что он является приближенным и обязательно требует заверки соответствующими экспериментами и расчетами.

Способ разрежения относится к категории экспериментальных. Основан на предположении, что достигнутая на объекте густота сети наблюдений заведомо обеспечивает требуемую точность результатов, что чаще не является бесспорным. Способ сводится к последовательному разрежению исходной разведочной сети в 2, 3, 4 и т. д. раз. По разреженной РС определяются средние параметры разведочного участка, сосредоточенные в них запасы, строятся геологические разрезы. Затем производится их сравнение с «истинными» характеристиками, полученными на основе всех разведочных данных по исходной сети. Обнаруживающиеся различия рассматриваются как погрешности, к которым приводит конкретное разрежение сети. Задавая допустимый уровень погрешности, можно установить минимальную густоту сети, при которой во всех вариантах пространственного расположения точек наблюдений погрешности оценки параметра не превысят допустимого значения. Изменение наблюдаемого облика залежи полезного ископаемого при последовательном разрежении сети точек наблюдений отражено на рисунке 29. В тоже время следует отметить, что способ разрежения, как метод сравнения, следует применять в качестве общетеоретического исследования, а не оперативного средства для оценки сети разведуемого объекта (Шевелев, 2004).

Способ сгущения разведочной сети – экспериментальный способ, имеющий конкретную прикладную направленность. Он применяется в тех случаях, когда имеющаяся сеть точек наблюдений признана недостаточно густой или необходим контроль правильности представлений о геологической модели объекта. При последовательном сгущении сети следует постоянно анализировать изменение представлений о морфологии рудных тел, условиях их залегания и иных геологоразведочных параметров. Одним из показателей достаточности РЗС является однозначная увязка геологических элементов и рудных тел на планах и разрезах.

Следует учитывать, что при каждом сгущении сети имеется только один вариант пространственного положения начального пункта сети. Для этого варианта определяется среднее значение исследуемого параметра и вероятная погрешность его оценки. Достаточной признается такая густота сети, которая обеспечивает погрешности ниже допустимой, а увязка данных по соседним разведочным выработкам становится однозначной.

Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации заключается в сравнении разведочной модели недр с наиболее достоверной, основанной на наиболее детальном изучении недр в процессе эксплуатационных работ. Различие, которое при этом фиксируется, рассматривается как показатель, оценивающий правильность и точность разведки (Комплексная ГЭО…, 1990; Сборник нормативно-методических документов…, 1998, Шевелев, 2004). Данные разведки и отработки сопоставляются в контурах запасов, ранее прошедших экспертизу в ГКЗ РФ, с учетом отработки запасов за пределами этих контуров

Сравнению подлежат запасы полезного ископаемого и их компонентов, все подсчетные параметры (мощность тел полезных ископаемых, содержание полезных и вредных компонентов, объемная масса, площадь тела полезного ископаемого, коэффициент рудоносности и т. д.).

При сопоставлении должны анализироваться не только параметры и общие цифры запасов, но и выявленные изменения в представлениях об особенностях геологического строения месторождения; анализируется их влияние на количество и качество запасов полезного ископаемого. Должны вскрываться причины расхождений сопоставляемых данных разведки и отработки. Должна быть доказана достоверность данных эксплуатационной разведки, эксплуатационного опробования очистных выработок, геолого-маркшейдерского и фабричного учета, достоверность учета потерь и разубоживания (рис. 2, 30, 31).

Необходимо отметить, что результаты эксплуатации месторождения нельзя рассматривать как безошибочные. При разработке месторождения не всегда полностью учитываются потери и разубоживание минерального сырья, а это искажает представление о морфологии и качестве тел полезных ископаемых. Подготовительные и очистные работы часто не проводятся в тектонически сложных зонах, на участках размыва залежей, их расщепления или выклинивания, что снижает достоверность собранных сведений. Поэтому на практике применение способа чаще ведется путем сравнения не с данными добычи, а с результатами эксплуатационного опробования.

В результате сопоставления данных разведки и разработки даются рекомендации, направленные на повышение достоверности исходных разведочных данных, методики разведки, оконтуривания и подсчета запасов.

Геометро-статистический способ имеет достаточно надежный и относительно простой математический аппарат, широкий диапазон применения. Возможности использования метода для решения комплекса горно-геологических задач рассмотрены ранее (см. раздел 11.3). Здесь приведена методика решения лишь одной задачи – определения рациональной плотности разведочной сети.

Для решения прикладных геологоразведочных задач обычно используют данные эксплуатационной разведки. Подбор данных проводится на профилях, ориентированных по простиранию и падению рудных тел. Размеры между точками наблюдений соответствуют расстояниям между точками отбора проб в горных выработках или скважинах. Длина профилей соответствует параметрам рудных тел по исследуемым направлениям. Обработка материалов заключается в построении одномерных графиков изменчивости геологических

параметров в системе координат: содержание полезного компонента (мощность залежи) – расстояние. Затем проводится выравнивание (сглаживание) исходных данных, оценка уровненного строения, частотных и амплитудных характеристик изучаемых полей (геохимических, морфометрических).

Для обоснования плотности и геометрии разведочной сети применяется *способ геометрической автокорреляции,* соответствующий геометро-статистической модели (Рудничная…, 1986; Петруха, 2003). Способ позволяет вычислять значение радиуса геометрической автокорреляции (R_q, м) после выравнивания исходных данных по формуле: $R_q=L(1+2K_q)^{-1}$, *где* L – длина участка аппроксимации (исследуемого профиля), м; K_q – количество экстремальных значений аппроксимирующей поле функции на профиле; q – структурный уровень. Оптимальный шаг разведки принимается равным среднему значению радиуса геометрической автокорреляции, вычисленному по сечениям рудного тела (по простиранию и падению).

Геометро-статистическая модель используется для установления связи между уровнями частотной изменчивости параметра (R_q) и категориями разведанных запасов. Применение модели оправдано при преобладании закономерной составляющей изменчивости признака над случайной составляющей или при их равных соотношениях.

Обоснование оптимальной плотности разведочной сети для медноколчеданных месторождений Урала, выполненное Л. М. Петрухой (1991), позволило установить, что распределение меди, цинка, серы в рудных телах месторождений в основном изометричное. Оценка анизотропии (A) изменчивости геологоразведочных параметров, определенной как соотношение значений (R_q) по простиранию и падению рудных тел ($A=R_{q1} / R_{q2}$), показала, что среднее значение A=1,1, т. е. близко к единице. В связи с этим разведочная сеть на медноколчеданных месторождениях должна быть квадратной, а не прямоугольной (как это отражено в Методических рекомендациях ГКЗ).

Обоснование плотности разведочной сети с использованием аппарата стационарной случайной функции и геостатистической модели рассмотрены ранее (см. раздел 11.3).

Контрольные вопросы к теме 3

1. Принципы разведки. Для чего они разработаны?
2. В чем заключается принцип последовательных приближений?
3. Как реализуется принцип аналогии?
4. В чем заключается принцип максимальной эффективности?
5. На какие этапы и стадии подразделяется процесс геологического изучения недр?
6. На какой стадии геологоразведочных работ рудопроявление переходит в разряд месторождений?
7. Что такое – месторождение оценённое, месторождение разведанное?
8. Какой документ подготавливается по результатам разведки месторождения? Каково его содержание?
9. Какие виды горных выработок применяются при разведке? Охарактеризуйте условия их применения.
10. Перечислите преимущества и недостатки применения при разведке буровых скважин.

11. Какие геофизические методы применяются при изучении поверхности месторождений?
12. Какие задачи при разведке позволяет решать каротаж скважин?
13. Какие данные позволяют получить применение геофизических методов при изучении межскважинного пространства?
14. Что такое система разведки?
15. Типы разведочных сетей.
16. Плотность разведочной сети; какие факторы определяют ее обоснование?
17. В чем сущность способов аналогии и разрежения при обосновании плотности разведочной сети?
18. Как осуществляется сопоставление данных разведки и эксплуатации при обосновании плотности сети наблюдений?
19. Что лежит в основе математических методов обоснования плотности разведочной сети (статистического, геометро-статистического, геостатистического и др.)?

Тема 4
Подсчет запасов полезных ископаемых

КОНДИЦИИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Кондиции на минеральное сырье представляют собой совокупность требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям их разработки, обеспечивающим наиболее полное комплексное и безопасное использование недр на рациональной экономической основе с учетом экологических последствий эксплуатации месторождения (Методические рекомендации…, 2007; Временное руководство…, 1997). Кондиции – это основной инструмент геолого-экономической оценки месторождений. Они разрабатываются и уточняются в процессе геолого-экономической оценки месторождений по материалам их разведки и эксплуатации на основе специального технико-экономического обоснования (ТЭО).

Для подсчета запасов рудных месторождений, а также отдельных видов нерудного сырья (горно-химического, плавикового шпата, барита, графита, талька, асбеста, слюды), кондиции могут включать следующие параметры:

- бортовое содержание компонента в пробе или условия оконтуривания рудных тел в геологических границах;
- минимальное содержание компонента в краевой выработке;
- минимальное промышленное содержание компонента в подсчетном блоке, запасы которого относятся к балансовым;
- коэффициенты приведения содержания попутных компонентов к основному в комплексных рудах и минимальное их содержание, учитываемое при приведении;
- максимально допустимое содержание вредных примесей в краевой пробе, оконтуривающей выработке и по месторождению;
- минимальная мощность тел полезного ископаемого или минимальный метропроцент (метрограмм);
- максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;
- минимальный коэффициент рудоносности для месторождений с прерывистым и гнездовым распределением полезных компонентов;
- минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым.

По остальным типам месторождений полезных ископаемых (карбонатные породы, магнезиты, дуниты, цементное сырье и другие) кондиции для подсчета запасов включают:

- требования к качеству полезного ископаемого (или получаемой из него продукции) в соответствии с действующими стандартами и техническими условиями или обусловленными результатами технологических испытаний;
- условия подсчета запасов по сортам (классам, маркам) конечной продукции;
- минимальную мощность тела полезного ископаемого;
- максимально допустимую мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;

- минимальный выход конечной продукции.

Для каждого месторождения, в зависимости от геологического строения, горно-технических условий разработки и требований промышленности к качеству минерального сырья, учитывают только те их перечисленных параметров, которые необходимы для геолого-экономической оценки его промышленного назначения.

Рассмотрим важнейшие кондиционные показатели.

Бортовое содержание – это наименьшее содержание полезных компонентов в пробах, включенных в подсчет запасов, при оконтуривании по мощности тела полезного ископаемого в случае отсутствия четких геологических границ. Оно должно отвечать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. В комплексных месторождениях бортовое содержание выражается суммой содержаний полезных компонентов, имеющих промышленное значение. Эта сумма должна быть приведена к содержанию условного основного компонента, имеющего максимальную извлекаемую стоимость. Примеры оконтуривания месторождений при различных вариантах бортового содержания приведены на рисунках (рис. 32, 33).

Бортовое содержание определяется на основе повариантных подсчетов запасов. В качестве исходного варианта целесообразно применять бортовое содержание месторождения, аналогичного оцениваемому (по типу оруденения, размерам, морфологии рудных тел, вещественному составу руд, условиям разработки). Варианты с более высокими или низкими бортовыми содержаниями следует подбирать таким образом, чтобы разница в запасах руды, подсчитываемых при снижении (повышении) бортовых содержаний, составляла, как правило, не менее 10 % от общих запасов ближайшего варианта. Количество вариантов обычно не превышает 5 и чаще всего ограничивается значением 3. В случаях, когда сведения о бортовом содержании на аналогичном месторождении отсутствуют, первоначальную ориентировочную величину этого параметра в качестве исходного варианта определяют аналитическим путем, исходя из цены полезного компонента, коэффициента сквозного извлечения, разубоживания при добыче, удельных затрат на добычу и переработку. Последние определяются, исходя из укрупненных показателей намеченных систем добычи и переработки полезных ископаемых и предполагаемого масштаба месторождения. Для аналитического выражения бортового содержания применяются следующие формулы:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{борт} = [(З_д + З_о) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_д$ и $З_о$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $Ц_к$ – цена 1 т полезного компонента в концентрате без налога на добавленную стоимость (НДС), руб.; $И_о$ – коэффициент извлечения при обогащении, доли ед.; р – разубоживание при добыче, доли ед.;

б) при ценах на товарные концентраты ($Ц_к$) с установленным в них содержанием ($С_к$) полезного компонента:

$$С_{борт} = [((З_д + З_о) \cdot С_к) / (Ц_к \cdot И_о \text{ x } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Оконтуривание рудных тел в соответствии с вычисленной величиной бортового содержания и подсчет запасов позволяют установить, какова будет экономическая

эффективность разработки месторождения, а также наметить величину прочих вариантов бортового содержания. При этом верхний предел бортового содержания не должен быть выше минимального промышленного содержания, подсчитанного с учетом налогов, платежей и отчислений; нижний предел бортового содержания не должен быть ниже уровня содержаний, при которых полезный компонент не извлекается в товарную продукцию.

Минимальное содержание компонента в краевой выработке устанавливается в тех случаях, когда выявлено закономерное снижение содержаний полезных компонентов в краевых частях рудного тела. Оконтуривание рудных тел в соответствии с минимальным содержанием в краевых выработках должно соответствовать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. Это минимальное содержание определяется вариантным способом.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке – это содержание, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат и получение минимальной установленной прибыли.

Минимальное промышленное содержание без учета налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_у$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $К_у$ – удельные капитальные вложения в строительство горнопромышленного предприятия, руб.; Е – учетная ставка банка, доли ед.; при отсутствии инфляции принимается 5-6 %;

б) при ценах на товарные концентраты:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) \cdot С_к] / [(Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Минимальное промышленное содержание с учетом налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) / (Ц_к \cdot И_о \text{ х } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%\ ,$$

где $З_{ун}$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды с учетом налогов, которые входят в структуру эксплуатационных затрат; $Н_у$ – налоги, платежи, отчисления на прибыль в расчете на 1 т годовой добычи руды;

б) при ценах на товарные концентраты

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) \cdot С_к / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Приведенное содержание полезных компонентов комплексных руд к содержанию условного компонента осуществляется с использованием переводных коэффициентов. Эти коэффициенты определяются исходя из соотношения цен полезных компонентов и коэффициентов извлечения при обогащении руд. Минимальное содержание, учитываемое при приведении к содержанию условного компонента, принимается равным содержанию, при котором минеральное образование не извлекается при принятой технологии обогащения:

$$К_{пр} = (Ц_п \cdot И_п) / (Ц_о \cdot И_о),$$

где $Ц_о$ и $Ц_п$ – цена 1 т основного и попутного компонента в концентрате, руб.; $И_о$ и $И_п$ – соответственно их коэффициенты извлечения, доли ед.

Максимальные допустимые содержания вредных примесей у полезных ископаемых, используемых без обогащения, устанавливаются в пробе или в интервале разведочной выработки в соответствии с требованиями промышленности. Если при отработке месторождения предусматривается усреднение добытого минерального сырья, максимально допустимое содержание вредных примесей может быть установлено для подсчетного блока. При обогащении полезного ископаемого, когда вредные примеси полностью или частично переходят в концентрат и не извлекаются из него в дальнейшем, соответствующие ограничения вводятся для подсчетного блока. В случае, когда для удаления вредных примесей из концентрата требуется дополнительная переработка, их содержание в подсчетном блоке учитывается через величину минимального промышленного содержания полезного компонента.

Минимальная мощность полезного ископаемого и *максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных полезных ископаемых* устанавливается исходя из принятого способа и системы разработки месторождения. Целесообразность отработки рудных тел меньшей мощности, но с повышенным содержанием полезных компонентов, определяется по *метропроценту* (*метрограмму*) исходя из установленной минимальной мощности тела полезного ископаемого и бортового содержания.

В случае сложного строения рудных тел, когда рудные интервалы чередуются с безрудными, для уточнения величины максимально допустимой мощности прослоев пустых пород и некондиционных руд проводится подсчет запасов при разной мощности этих слоев по каждому из оцениваемых вариантов бортового содержания. Оценка влияния прослоев на размеры и форму рудных тел и последующую эффективность добычи и переработки полезного ископаемого позволяет установить оптимальную величину этого параметра кондиций.

Коэффициент рудоносности применяется в случае невозможности выделить и оконтурить в процессе геологоразведочных работ отдельные рудные тела. Минимальная величина коэффициента рудоносности устанавливается для подсчетного блока, исходя из минимально приемлемой рентабельности разработки месторождения, при определении которой наряду с общепринятыми затратами учитываются дополнительные, связанные с доразведкой и оконтуриванием рудных тел и их селективной выемкой.

Минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым ($Q_{мин}$), устанавливаются исходя из дополнительных расходов, связанных с их вскрытием и отработкой, по формуле:

$$Q_{мин} = [К_д \cdot (1\text{-}р)] / [(Ц_{из} – З_{ун} – Н_у – К_д \cdot Е) \cdot (1\text{-}п)],$$

где $К_д$ – капитальные вложения, необходимые на проходку дополнительных вскрышных выработок, руб.; $Ц_{из}$ – извлекаемая в концентрат ценность полезных компонентов из 1 т руды, руб.; п – потери при добыче, доли ед.

ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАПАСОВ

Оконтуривание является одной из самых ответственных операций при подсчете запасов. Оно заключается в ограничении рудных тел или их разведанных участков на площади и в разрезе.

Оконтуривание запасов ведется по промышленным кондициям. Запасы оконтуриваются по трем направлениям: *мощности, простиранию и падению* рудной залежи. Исходными материалами для оконтуривания служат данные геологической документации и результаты опробования.

Контур может представлять собой: 1) естественные границы рудных тел; 2) линию с бортовым содержанием; 3) линию с нулевым содержанием полезного компонента; 4) линию с минимальной промышленной мощностью рудного тела; 5) линии разных типов и сортов руд; 6) линии, разграничивающие запасы разных категорий; 7) линии участков с разными условиями вскрытия и разработки; 8) линии предельного содержания вредных примесей. Некоторые типы контуров приведены на рисунках 34, 35.

Если тело не имеет естественных природных границ, его оконтуривают чаще всего по бортовому содержанию или по минимальной промышленной мощности.

При оконтуривании запасов различают внутренний и внешний контуры. *Внутренний контур* – линия, соединяющая крайние точки с кондиционными содержанием и мощностью; *внешний контур* – линия, проведенная за пределами этих точек по более низким (некондиционным) показателям. Площадь между внутренним и внешним контурами принято называть *межконтурной полосой* (рис. 36).

Оконтуривание начинается с определения *опорных точек,* через которые затем проводится линия контура. Положение опорных точек устанавливают методами интерполяции и экстраполяции. *Метод интерполяции* заключается в определении мощности или содержания между смежными выработками. *Метод экстраполяции* состоит в определении мощности или содержания за пределами выработок. Различают *ограниченную экстраполяцию,* когда внешняя контурная линия проводится между рудной и безрудной точками, и *неограниченную экстраполяцию*, когда эта линия проводится за пределами контура выработок, где данные о параметрах рудного тела отсутствуют.

Положение опорной точки между двумя пробами определяется с помощью интерполяции, если содержание полезного компонента изменяется закономерно, то есть переход между рудой и вмещающими породами постепенный. При незакономерном изменении содержания промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами с кондиционным и некондиционным содержанием или даже через крайнюю кондиционную пробу. Положение опорной точки при экстраполяции принимается на половине, трети или четверти расстояния между выработками или определяется по естественным формам выклинивания рудных тел.

Для полого залегающих плоских изометричных тел площадь оконтуривается в плане, для крутопадающих плоских тел – на продольных разрезах и вертикальных проекциях. Для крутопадающих тел с выдержанными углами падения оконтуривание площади иногда проводят на проекции, параллельной плоскости падения.

Как во внутренних, так и во внешних контурах, производится блокировка запасов по категориям, типам и сортам руд, условиям залегания, вскрытия, разработки и т. д.

Вначале оконтуривание выполняется по отдельным выработкам, затем по отдельным разведочным сечениям (вертикальным или горизонтальным) и только потом в целом по рудному телу.

*Оконтуривание рудных тел в пределах отдельных разведочных выработок з*ависит от их ориентировки относительно рудного тела. В *секущих* выработках при наличии четких геологических контактов с вмещающими породами границы тела определяются по данным непосредственных наблюдений в забое горных выработок или по керну буровых скважин. При отсутствии четких геологических контактов границы тела полезного ископаемого определяются по результатам опробования и проводятся между породами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента. При этом возможны 2 случая: а) если опробование выполнено сплошной бороздой, контур тела проводится по границе последней пробы, показавшей кондиционное содержание; б) если опробование проводится с интервалом между пробами, то границы промышленной части тела проводят между пробами способом интерполяции.

При незакономерном изменении содержания полезного компонента промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента (рис. 37).

В *прослеживающих* выработках кроме распределения полезного компонента необходимо учитывать и характер выклинивания рудного тела. При резком выклинивании контур проводится по данным непосредственных наблюдений. При постепенном выклинивании учитывается характер изменения содержания и мощности.

Если содержание полезного компонента снижается постепенно, а мощность остается постоянной, то оконтуривание производится по содержанию. Здесь существуют те же два варианта, что и для секущих выработок: при опробовании сплошной бороздой контур проводят через границу последней кондиционной пробы, а при поинтервальном опробовании – методом интерполяции по приведенной выше формуле.

Если наблюдается постепенное уменьшение мощности тела, а содержание остается постоянным, то контур проводится либо по мощности, либо по метропроценту (метрограмму). Граница промышленной части тела определяется по следующим формулам:

$$X=L(M_{мин}-M_B)/(M_A-M_B),$$

где X – расстояние от точки B с некондиционной пробой пробы до контура тела; L – расстояние между кондиционной (A) и некондиционной (B) пробами; M_A и M_B –мощности тела соответственно в точках A и B; $M_{мин}$ – минимальная мощность, установленная кондициями;

$$X=L(M\%_{мин} - M\%_B)/(M\%_A - M\%_B),$$

где $M\%_{мин}$ – минимальный метропроцент, установленный кондициями; $M\%_A$ и $M\%_B$ – значение метропроцента соответственно в точках A и B.

Положение контура тела может быть намечено также по данным непосредственных замеров мощности в выработках.

Наконец, при одновременном уменьшении мощности тела и содержания полезного компонента оконтуривание производится по минимальному метропроценту (метрограмму).

Положение контура тела между двумя точками можно определять также графическим способом или специальной палеткой (транспарантом).

Учитывая, что расстояния между пробами обычно небольшие, особенно для руд цветных, редких металлов и золота, нередко поступают проще: проводят контур посередине между кондиционной и некондиционной пробами.

Оконтуривание тел полезных ископаемых по совокупности разведочных выработок производится на планах, разрезах или проекциях. При этом различают 3 случая проведения контура: 1) по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках; 2) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными; 3) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – отсутствием полезного ископаемого.

Проведение контура по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках, выполняется двумя путями. При наличии четких геологических границ рудных тел опорные точки наносятся на планы, разрезы или проекции по данным непосредственных замеров в выработках (рис. 38). При отсутствии четких границ опорные точки определяются в пределах каждой выработки по данным химических анализов описанными выше способами. Оконтуривание состоит в соединении опорных точек.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными, производится в зависимости от характера распределения полезного компонента. При равномерном распределении и постепенном изменении содержания полезного компонента опорные точки определяются рассмотренным выше способом интерполяции с использованием приведенных формул, графически или с помощью палетки. При неравномерном распределении полезного компонента или неравномерном изменении мощности контур обычно проводят через середину расстояния между выработкой с кондиционными и выработкой с некондиционными показателями. На месторождениях с крайне неравномерным распределением полезного компонента контур рудного тела часто проводят через крайние кондиционные выработки.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, а другая фиксирует полное отсутствие тела полезного ископаемого, осуществляется в зависимости от характера выклинивания тела. При резком выклинивании промышленный контур проводят через середину расстояния между выработками, то есть способом ограниченной экстраполяции. Кондиционная мощность тела, вскрытая выработкой, распространяется до середины расстояния между выработками. При закономерном, постепенном выклинивании рудного тела нулевой контур также проводят через середину расстояния между выработками, а положение подсчетного контура определяется способом интерполяции между выработкой с промышленной концентрацией полезного ископаемого и принятым нулевым контуром (рис. 39).

Описанные приемы оконтуривания тел обычно применяются для определения положения контура не только между разведочными выработками (рис. 40), но и между разведочными разрезами (линиями).

Определение контуров тел полезных ископаемых за пределами разведочных выработок, или неограниченная экстраполяция, практикуется для запасов низких категорий C_1 и C_2, подлежащих дальнейшей разведке. При оконтуривании используются разнообразные геологические, морфологические, геофизические, статистические и геометрические приемы.

ПАРАМЕТРЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Подсчет запасов полезных ископаемых в общем случае осуществляется по следующей схеме:

1) определяется объем залежи V как произведение площади S на среднюю мощность M: $V = S \cdot M$;

2) определяется запас руды Q как произведение объема V на объемную массу D: $Q = V \cdot D$, при этом обязательно учитывается естественная влажность руд;

3) определяется запас металла P как произведение запаса руды Q на среднее содержание металла C: $P = Q \cdot C \cdot 10^{-2}$, если содержание выражено в %, или $P = Q \cdot C \cdot 10^{-6}$, если в г/т.

Для одних полезных ископаемых (многие виды строительных материалов, природный газ, а в западных странах и нефть) подсчет запасов останавливается на вычислении объема. Количество некоторых иных видов сырья (железные руды, хромиты и др.) подсчитываются в виде запасов руды. Для большинства рудных элементов требуется расчет запасов металла.

Из приведенной схемы видно, что основными параметрами, необходимыми для подсчета запасов, являются площадь, средняя мощность, объемная масса руды и среднее содержание в ней полезных компонентов. Кроме того, могут использоваться разные поправочные коэффициенты.

Площадь устанавливается в результате оконтуривания рудных тел на планах и проекциях. Простые по конфигурации площади измеряются как геометрические фигуры, сложные – с помощью палетки, планиметра или курвиметра. В современных условиях площадь определяется с помощью компьютерных программ.

При наклонном залегании тела полезного ископаемого необходимо привести полученный замер площади к истинному значению, для чего вводят поправку на угол падения залежи β для замеров на плане по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \cos\beta,$$

для замеров на вертикальной проекции по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \sin\beta.$$

Мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчета запасов определяется по данным горных и буровых работ, а также каротажа скважин. Если рудные тела имеют четкие геологические границы с вмещающими породами, их мощность устанавливается непосредственно с помощью замеров. Если четких геологических контуров нет, мощность рассчитывают по результатам секционного опробования по бортовому или минимальному промышленному содержанию полезного компонента.

В горных выработках мощность определяют замером расстояния от кровли до подошвы залежи при их документации и опробовании. Мощность рудных тел по данным бурения устанавливают прямыми или косвенными способами. Прямой способ – это расчет

мощности по керну при колонковом бурении и по данным опробования шлама при ударном бурении, косвенные – по данным каротажа скважин или по наблюдениям в процессе бурения за изменением скорости углубки скважин, за цветом или составом шлама.

Разведочные выработки часто пересекают тело полезного ископаемого не по истинной мощности, а под некоторым углом. При пологом залегании замеряется вертикальная мощность $M_в$, при крутом падении – горизонтальная $M_г$. По керну или геофизическим данным мощность определяется длиной рудного интервала $M_{скв}$. Эти так называемые наблюдаемые мощности отличаются от истинной мощности $M_{ист}$ и приводятся к ней по геометрическим формулам (рис. 41):

$$M_{ист.} = M_г \cdot \mathrm{Sin}\alpha,$$

$$M_{ист.} = M_в \cdot \mathrm{Cos}\alpha;$$

$$M_{ист.} = M_{скв.} \cdot \mathrm{Cos}(\alpha\text{-}\beta) \cdot \mathrm{Cos}\gamma,$$

где α – угол падения залежи, β – зенитный угол наклона скважины в месте пересечения залежи; γ – угол между азимутальным направлением скважины и азимутом падения залежи.

Среднее значение мощности определяется среднеарифметическим или средневзвешенным способом. Метод среднего арифметического применяют при более или менее равномерном распределении пунктов замера мощностей. В этом случае средняя мощность M определяется по формуле:

$$M = \sum m / n,$$

где n – количество замеров мощности.

Способ средневзвешенного применяется при резко неравномерном распределении точек замера и установленном направлении закономерностей изменчивости мощности. Средневзвешенная мощность рассчитывается по формуле:

$$M=\sum m \cdot l / \Sigma l,$$

где l – расстояние, на которое распространяется влияние значения данного замера мощности.

Объемная масса руды должна быть установлена с учетом естественной пористости, трещиноватости и кавернозности полезного ископаемого. Она определяется лабораторным или полевым способами. При применении лабораторного способа объемная масса определяется путем взвешивания образцов, покрытых пленкой парафина, в воздухе и в воде или взвешиванием и определением их объема в мерном сосуде. При полевом способе проходится горная выработка и вся добытая горная масса взвешивается, а пройденное пространство замеряется. Соотношение массы полезного ископаемого и объема даст объемную массу. Считается, что для определения объемной массы этим способом достаточно 10 м^3 полезного ископаемого. Этот способ более точный.

Объемная масса должна определяться для каждого сорта и типа полезного ископаемого, запасы которых учитываются самостоятельно. Количество определений объемной массы должно быть достаточным для надежного обоснования средних величин. Считается, что для однообразных по сложению полезных ископаемых достаточно 10-20, а для более сложных 20-30 определений объемной массы типичного материала для каждого сорта полезного ископаемого.

При этом обязательно учитывается *естественная влажность руды*, которая может достигать у отдельных полезных ископаемых 30-40 % и более. Учет естественной влажности необходим в связи с тем, что анализы проводятся с сухими навесками после просушивания проб при 105-110 ºС, а содержание полезных компонентов определяется для воздушно-сухой массы. Поэтому необходима поправка в содержание на влажность руды по формуле:

$$C_{вл.} = C_{сух.} \cdot (100 - B) / 100,$$

где $C_{вл.}$ – содержание полезного компонента по влажной руды, % или г/т; $C_{сух.}$ – то же в сухой руде; В – влажность, при которой определена объемная масса, %.

Чаще пересчитывают не содержание на сырую руду, а объемную массу сырой руды $D_{вл.}$ на сухую $D_{сух.}$ по формуле:

$$D_{сух.} = D_{вл.} \cdot (100 - B) / 100.$$

Естественная влажность определяется как отношение потери массы штуфа в результате высушивания к массе влажного образца и вычисляется путем сравнения массы проб влажного минерального сырья $Q_{вл.}$ с массой тех же проб, просушенных до постоянной массы при 105-110 ºС, $Q_{сух.}$, по формуле:

$$B = 100 \cdot (1 - Q_{сух.} / Q_{вл.}).$$

Необходимо учитывать, что влажность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от глубины залегания полезного ископаемого, времени года, уровня грунтовых вод и др.

Среднее содержание определяется как среднеарифметическое или средневзвешенное по скважине, выработке, горизонту, блоку, участку и месторождению в целом. Чаще всего применяют среднее содержание, взвешенное на длину проб, то есть на их мощность.

Поправочные коэффициенты вводятся для *уменьшения запасов* при прерывистом (дискретном) оруденении, разобщенности рудных тел, наличии безрудных даек, участков пустых пород, валунов и т. п. Коэффициенты для *увеличения запасов* применяются при избирательном выкрашивании рудных компонентов из керна, при намыве ценных компонентов при разработке россыпей. Могут вводиться поправочные коэффициенты на систематические погрешности химанализов, замеров мощностей в скважинах и др.

МЕТОДЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Существует довольно много разных методов подсчета запасов. Все они основаны на определении объема подсчетных контуров, которые сравниваются с равновеликими геометрическими фигурами. Запасы подсчитываются по простейшим формулам:

$$V = S \cdot m,\ Q = V \cdot d,\ P = Q \cdot C / 100,$$

где V – объем тела полезных ископаемых, S – площадь тела на проекции, m – средняя мощность, Q – запасы руды, d – объемная масса руды, C – среднее содержание полезного компонента в %.

Наибольшим распространением пользуются методы геологических и эксплуатационных блоков, разрезов и статистический.

Метод геологических блоков является универсальным для подсчета запасов плоских тел. При этом методе выделяют блоки разной величины, отличающиеся по степени разведанности, мощности, содержанию полезных компонентов, типам и сортам руд, технологическим свойствам, гидрогеологическим и горнотехническим условиям (рис. 42).

Частным случаем этого метода является *метод среднего арифметического,* когда все тело рассматривается как один подсчетный блок.

Метод эксплуатационных блоков применяется также для подсчета запасов плоских тел, разделенных горными выработками и буровыми скважинами на эксплуатационные блоки. Оконтуривание и подсчет запасов по каждому блоку аналогично методу геологических блоков (рис. 43).

Метод разрезов применяют для подсчета запасов изометричных, трудообразных и сложных по форме тел (рис. 44, 45). Разрезы могут быть *вертикальными* или *горизонтальными*. Заключенная между смежными разрезами часть рудного тела рассматривается как призма, если площади смежных сечений близки, или как пирамида, если эти сечения существенно различаются по площади. Объем части рудного тела между двумя разрезами определяется соответственно по формуле для призмы или пирамиды. Объем крайних блоков, каждый из которых опирается на один разрез, определяется по формуле клина. При непараллельных разрезах вносятся соответствующие поправки к подсчету объемов. Среднее содержание определяют вначале для каждого разреза. В блоке, ограниченном двумя разрезами, оно вычисляется как среднеарифметическое или средневзвешенное на площадь сечения.

При крайне дискретном оруденении подсчет запасов проводят *статистическими методами*. Это относится в основном к месторождениям IV группы, когда совмещаются разведка и эксплуатация. По результатам этих работ оценивается средняя продуктивность исследуемого участка и распространяется на менее изученную потенциально рудоносную часть месторождения.

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ СОПУТСТВУЮЩИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

К попутным полезным ископаемым относятся минеральные комплексы (горные породы, руды, подземные воды, рассолы), добыча которых при разработке основного полезного ископаемого экономически целесообразна. К *попутным компонентам* относятся заключенные в полезных ископаемых минералы, металлы и другие химические элементы в их соединениях, которые не имеют определяющего значения для промышленной оценки месторождения, но при переработке полезных ископаемых могут быть рентабельно извлечены и реализованы на внутреннем или международном рынке.

Попутные полезные ископаемые и компоненты в зависимости от форм нахождения, связи с основными для данного месторождения полезными ископаемыми и компонентами и с учетом требований, предъявляемых промышленностью к условиям их разработки (извлечения), разделяются на три группы (Шевелев, 2004). *К первой группе* относятся попутные полезные ископаемые, образующие самостоятельные пласты, залежи или рудные тела в породах, вмещающих основные рудные тела:

- железные руды на марганцевых месторождениях;

- серный колчедан, барит-полиметаллические руды, золотосодержащие кварциты на медноколчеданных месторождениях;
- свинцовые и медно-свинцовые руды на месторождениях медистых песчаников;
- огнеупорные глины, каолины на месторождениях бокситов и угля и др.

К этой же группе относятся вскрышные породы, по составу и свойствам пригодные для производства строительных материалов или для других целей, а также торф и в некоторых случаях почвенно-растительный слой и породы, пригодные для использования в сельском хозяйстве.

К жидким попутным полезным ископаемым относятся подземные воды, участвующие в обводнении подземных горных выработок, если они пригодны для водоснабжения, извлечения из них ценных компонентов или бальнеологических целей.

Ко второй группе относятся попутные компоненты, образующие собственные минералы, которые при обогащении могут быть выделены в самостоятельные концентраты или промпродукты, а в отдельных случаях накапливающиеся в продуктах обогащения основных компонентов в количестве, допускающем их последующее извлечение на экономически рациональной основе.

В эту группу могут быть объединены:
- титановые, медные и ванадийсодержащие минералы, золото- и кобальтсодержащий пирит, иногда апатит, гатчеттолит, бадделеит в железных рудах;
- сера (пирит и другие сульфиды), минералы свинца, цинка, серебра, самородное золото, кобальтсодержащий пирит в медноколчеданных рудах;
- молибденит в меднопорфировых месторождениях в гранитоидах, ванадийсодержащие минералы, апатит, титаномагнетит – в габброидах;
- минералы кобальта и серебра в медно-никелевых месторождениях;
- минералы меди, висмута, серебра, барит, флюорит в полиметаллических рудах и др.

К третьей группе относятся разного рода примеси в минералах основных и попутных компонентов (изоморфные, механические, микровключения собственных минералов и др.), а также органические, металлические или металлоорганические соединения в углях и углистых породах. Преобладающую часть попутных компонентов третьей группы составляют рассеянные элементы, широко распространенных в разных твердых полезных ископаемых при весьма низком содержании. К этой же группе относятся примеси в рудных минералах золота, серебра, платиноидов, тантала, молибдена и др.

При обогащении полезных ископаемых эти компоненты накапливаются в концентратах основных компонентов, а при переработке концентратов или непосредственном использовании полезных ископаемых в металлургическом, химическом, энергетическом и других производствах концентрируются в товарных продуктах или отходах.

К этой же группе относятся попутные компоненты, присутствующие в нефти и газе и выделяемые лишь при их переработке, а также заключенные в подземных минерализованных водах или рассолах. Состав попутных компонентов третьей группы зависит от вида полезного ископаемого и типа руд.

В полиметаллических рудах присутствует сурьма, кадмий, теллур, таллий, галлий, иногда германий.

Медноколчеданные руды обычно содержат селен, кадмий, теллур, реже таллий, индий, иногда кобальт, висмут, галлий и германий. В медистых песчаниках присутствует рений, реже германий, селен и таллий. В медно-никелевых рудах содержатся платиноиды, кобальт, сера, селен, теллур, таллий, галлий, германий.

Для медно-молибденовых руд характерно присутствие рения, селена, теллура, в меньшей степени индия, германия и галлия. Высокими концентрациями рения и низкими селена, теллура, германия и галлия характеризуются молибденовые руды.

Сульфидно-касситеритовым рудам обычно свойственны повышенные концентрации индия, кварц-касситеритовым и вольфрамитовым – скандия, иногда тантала. В кварц-золоторудных месторождениях нередко присутствует теллур, а в золотосульфидных – индий, кадмий, селен, теллур и платина.

Бокситы содержат галлий, ванадий, скандий, алуниты и нефелины – галлий и ванадий. Иногда в алюминиевом сырье в небольшом количестве содержится германий. В месторождениях калийных солей присутствует бром и рубидий, иногда цезий, в некоторых месторождениях каменной соли – литий.

В апатит-нефелиновых рудах содержится титан, галлий, стронций, редкие земли.

Угли и углистые породы могут содержать повышенное содержание германия, урана, галлия, реже – ванадия и рения. В подземных водах наряду с йодом и бромом присутствуют соединения магния, калия, бора, иногда лития, рубидия, цезия, стронция, германия и другие компоненты.

Изучение и геолого-экономическая оценка попутных полезных ископаемых и компонентов производится на всех стадиях геологоразведочных работ и в процессе освоения месторождения.

Запасы попутных полезных ископаемых (компонентов руд) должны подсчитываться способом, отвечающим характеру их залегания в месторождении или распределения в рудах, также учитывающим особенности промышленного использования запасов, которые определяют уровень и показатели их оценки.

При подсчете запасов попутных полезных ископаемых первой группы, образующих самостоятельные рудные и нерудные залежи во вскрыше месторождений, используются способы, применяемые при подсчете запасов аналогичных видов сырья в самостоятельных месторождениях.

Подсчет запасов попутных компонентов второй группы осуществляется в контурах запасов основного полезного ископаемого в соответствии с существующими для них требованиями. Для их изучения и оценки проводятся специальные минералого-геохимические исследования руд и отбираются групповые пробы.

Запасы попутных компонентов третьей группы подсчитываются и учитываются в месторождениях, целесообразность промышленного освоения которых обеспечивается экономикой извлечения основного компонента. При этом подсчет запасов попутных компонентов данной группы выполняется исключительно в пределах контура подсчета балансовых и забалансовых запасов основного компонента.

Комплексное изучение полезных ископаемых должно сопровождаться статистической обработкой результатов опробования на основные и попутные компоненты для обоснования возможности подсчета попутных компонентов корреляционно-регрессионным способом. Статистической обработке должно предшествовать выявление по данным минералогических исследований геохимической связи между отдельными попутными и основными компонентами, выражающейся в преобладании приуроченности того или иного попутного компонента к минералам одного из основных компонентов.

Параметры кондиций для подсчета запасов должны содержать:

- для каждого технологического типа полезного ископаемого – перечень попутных компонентов, запасы которых подлежат подсчету как балансовые;
- минимальное содержание попутных компонентов, учитываемые при приведении к условному содержанию основного компонента; переводные коэффициенты;
- минимальные содержания попутных компонентов в подсчетных блоках и отдельных рудных телах (залежах, пластах), если раздельная выемка и переработка полезных ископаемых с целью извлечения этих компонентов технически возможна и экономически целесообразна;
- дополнительные условия подсчета валовых и извлекаемых запасов попутных компонентов: по содержанию в рядовых или групповых пробах, по содержанию в минералах или концентратах, в целом по месторождению, по отдельным рудным телам или в подсчетных блоках.

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

Сопоставление данных разведки и эксплуатации показывает, что расхождения в определении контуров рудных тел, подсчетных параметров, количественных и качественных показателей неизбежны. Причины этого в том, что разведка осуществляется по прерывистой сети наблюдений, а за пределами разведочных выработок параметры оруденения определяются путем интерполяции и экстраполяции. С другой стороны, при эксплуатации имеют место потери и разубоживание руд, которые при проектировании эксплуатации учитываются приближенно, что тоже вносит свой вклад в расхождение данных разведки и эксплуатации.

Небольшие отклонения рассматриваются как погрешности подсчета запасов. Если ошибки значительны, то говорят о неподтверждении запасов или качества минерального сырья.

Погрешности, возникающие при подсчете, подразделяются на три основные группы: геологические, технические и методические.

Геологические погрешности, или ошибки аналогии, возникают в результате распространения фактических данных, полученных при разведке по отдельным выработкам и скважинам, на соседние участки. Эти погрешности подвержены резким колебаниям, величина их зависит от степени изменчивости параметров оруденения, а также от плотности и равномерности разведочной сети. Геологические погрешности приводят к наиболее крупным ошибкам подсчета запасов, достигающим для категорий А и В до 10-15 %, а в отдельных случаях и выше.

Наиболее типичными геологическими ошибками являются объединение разрозненных мелких рудных тел в крупные, включение в один блок разных по качеству, технологии переработки или условиям залегания руд.

Технические погрешности связаны с техникой замеров и определения исходных параметров для подсчета запасов. Эта группа включает точность замеров мощности, химических анализов, определения объемной массы, естественной влажности и т. д.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими. Неизбежные случайные погрешности обычно не оказывают существенного влияния на точность определения запасов, поскольку, обладая переменным знаком, они взаимно компенсируются.

Систематические погрешности значительно более опасны, так как искажают результаты подсчета запасов, регулярно завышая или занижая их. Если имеются данные о систематических погрешностях, то категории запасов должны быть снижены. Систематические погрешности и их величина устанавливаются специальными контрольными методами, которые позволяют определить соответствующие поправочные коэффициенты и откорректировать результаты подсчета. К ним относятся коэффициент рудоносности, поправочный коэффициент к результатам химических анализов, к объемной массе и др. Систематические погрешности считаются недопустимыми и требуют устранения, хотя это не всегда удается.

Методические погрешности связаны с применением разных методов подсчета запасов. В целом, применение того или иного метода не оказывает существенного влияния на результаты подсчета. Различия обычно составляют 1-5 %, что находится в пределах точности технических операций подсчета. Снизить методические погрешности до минимума позволяет выбор метода подсчета запасов, который наиболее полно соответствует методике разведки и особенностям геологического строения месторождения, дает возможность учитывать распределение качественных показателей (типов и сортов руд) и в то же время сократить затраты времени и средств на разведку.

Оценка погрешностей подсчета запасов в процессе разведки является довольно сложной операцией. В действующих нормативных документах рекомендуется осуществлять подсчет запасов несколькими методами (Шевелев, 2004; Авдонин 2007).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

В последнее время при подсчете запасов все в большей степени используют компьютерные технологии. В том числе, применяют приемы блочного моделирования, реализуемые на основе геоинформационных систем (Micromine, Surpak, Datamine и др.).

При обосновании методики моделирования необходимо учитывать особенности геологического строения месторождения, степень его изученности и последовательность проведения разведочных работ. Общая схема компьютерного моделирования и подсчета запасов включает:

- импорт базы геологоразведочных данных;
- проверку базы данных, ввод дополнительной информации;

- статистический анализ данных опробования и определение природных (естественных) бортовых содержаний компонентов;
- оконтуривание рудных тел с использованием кондиций и естественного бортового содержания;
- геометризацию месторождения – каркасное моделирование рудных тел, тектонических нарушений и т. д. (рис. 46);
- геостатистический анализ исследуемых компонентов;
- определение параметров интерполяции;
- блочное моделирование (рис.47);
- интерполяцию содержаний в блочную модель, используя альтернативные методы (обычный кригинг, индикаторный кригинг, метод обратных расстояний и др.);
- оценку запасов и их сравнение с более ранними оценками;
- классификацию запасов/ресурсов.

Схема построения блочной модели (БМ) показана на рисунке 48 (Рекомендации…, 2014).

Блочное моделирование основывается на разделении пространства месторождения на элементарные блоки (ячейки), в которых значения свойств объекта (в частности содержания полезного компонента) интерполируются из исходных данных опробования с учетом рассчитанных весовых коэффициентов. Для этого используются разные методы интерполяции, среди которых чаще применяются метод обратных расстояний (детерминистический способ) и кригинг (геостатистический метод).

Наиболее перспективным является *кригинг*, в основе которого лежат геостатистические исследования данных опробования. Геостатистика на сегодня является наиболее мощным инструментом для получения достоверной информации о запасах полезных ископаемых в недрах, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ. Геостатистический метод решает *две основные задачи*: нахождение наиболее вероятной оценки запасов руды и определение точности этой оценки.

Предварительной стадией геостатистического исследования является статистический анализ: расчет гистограммы распределений значений содержаний компонентов полезных ископаемых по классам, построение графика накопленных частот, подбор законов распределения данных и определение основных статистических параметров. Вид гистограммы позволяет фиксировать явные погрешности в исходных данных геологического опробования. Следующий этап – вариограммный анализ (вариография). Используется экспериментальная вариограмма, которая строится по результатам опробования (выборочным данным) и учитывает все пары проб, удаленных на некоторое расстояние. Вариограммный анализ начинается без учета направления вектора расстояния. Полученная функция отражает такие свойства случайной величины как: стационарность, наличие эффекта самородков, значение порога и зону влияния. Эти характеристики подбираются в интерактивном режиме с помощью моделирования теоретической функцией, аппроксимирующей дискретную экспериментальную вариограмму. Для дальнейшего исследования необходимо изучить характер корреляционных связей между пробами в различных направлениях, для чего следует

построить вариограммы по направлениям. Для каждого направления определяется зона влияния (см. раздел «11.3. Математические способы…). Это необходимый шаг для выявления анизотропии залежи и взаимного влияния значений случайных величин.

Следующей стадией после вариограммного анализа залежи является ее моделирование и оценка запасов. Размеры блоков блочной модели выбираются с таким расчетом, чтобы получить наиболее детальную оценку запасов по всему объему месторождения. Заключительный этап анализа – кригинг (геостатистическая оценка содержаний полезных ископаемых).

Кригинг. Предпосылкой развития геостатистических методов послужило расхождение между содержаниями многих металлов в разведочных пробах и в реально извлекаемых объемах руд. Точность оценки зависит от ряда факторов: количества проб и их значений, расположения проб (здесь важна равномерность их размещения), расстояния между пробами и точкой в середине оцениваемого блока, наличие пространственной непрерывности рассматриваемой переменной. Кригинг – метод интерполяции, который учитывает все эти факторы, был придуман южноафриканским горным инженером Д. Криге и потом усовершенствован Ж. Матероном.

В большинстве методов интерполяции сначала задается диаметр поискового круга (или эллипса). Все точки, попавшие в поисковый круг, используются для расчета взвешенного среднего, которое будет приписано середине элементарного блока. Веса, с которыми будут учитываться исходные точки, зависят (в той или иной мере) от расстояния от узла до этой точки. Разные методы интерполяции – это разные способы взвешивания исходных данных в зависимости от расстояния. В кригинге, как методе интерполяции, взвешивание производится сложнее, чем в других методах. Допустим, что в поисковый круг попали несколько проб. Расстояния между пробами и расстояния между серединой оцениваемого блока или его границами используется для снятия вариограмных значений с модельной вариограммы. Затем вариограмные значения заносятся в матрицы системы линейных уравнений; рассчитываются коэффициенты уравнений, которые и являются весами значений компонента в пробах. После рассчитывается оценка элементарного блока модели рудной залежи.

При решении способом, выбранным Ж. Матероном, появляется небольшое по величине число μ – множитель Лагранжа. Чем множитель меньше, тем более надежно решена система линейных уравнений.

Кригинговая оценка рассчитывается по формуле:

$$Z_k = \sum_{i=1}^{n} a_i Z_i,$$

где Z_k – кригинговая интерполяционная оценка изучаемой переменной; Z_i – значения переменной в n точках, попавших в круг поиска; a_i – веса. Обычно на практике в поисковый круг попадает несколько десятков или также сотен окружающих проб. Соответственно и матричное уравнение расширяется до сотен строк и столбцов. Считается, что кригинг – это интерполяционная процедура, дающая оценки с наименьшей дисперсией.

Другие методы интерполяции основаны на наличии заданной аналитической зависимости между значениями в пространстве, выраженной формулой. Наиболее часто используются линейные интерполяторы. К ним относится *метод обратных расстояний*

(IDW).При его использовании учитываются расстояния ячейки от близлежащих разведочных выработок. Чем дальше находится разведочная выработка от ячейки, тем слабее ее влияние. Значение параметра *z* в ячейке находят по формуле средневзвешенного:

$$z = \sum_{i=1}^{n}(z_i p_i / \sum p_i),$$

где z_i – значения параметра в разведочных выработках; p_i – весовые коэффициенты, зависящие от расстояния *r* ячейки от разведочных выработок; *n* – количество близлежащих разведочных выработок. Весовые коэффициенты определяют по формуле $p_i = 1/r_i^2$. В расчет параметра *z* включают разведочные выработки, расположенные не далее некоторого заранее заданного расстояния от ячейки. Если центр ячейки совпадает с какой-либо разведочной выработкой, значение *z* принимается таким же, как в разведочной выработке (Поротов, 2004).

В ГКЗ за последние два десятилетия накоплен достаточно большой опыт применения блочного моделирования при подготовке ТЭО и подсчете запасов. Примерами объектов, где блочное моделирование использовалось для решения сформулированных задач, являются золоторудные месторождения (Наталкинское, Тасеевское, Куранах, Дегдекан, Чертово Корыто, Верненское, участок Перевальный, Попутненское, Штурмовское и др.), урановорудные (Орловское, Березовское, Горное), медно-порфировые (Михеевское, Песчанка, Молмыж, Томинское и др.), редкометалльные (Зашихинское), а также ряд других. Запасы золоторудного месторождения Кючус утверждены ГКЗ по данным блочного моделирования (Рекомендации…, 2014).

Удовлетворительная сопоставимость результатов подсчета запасовдля разных вариантов кондиций отмечается для месторождений с зональным типом пространственного размещения оруденения, например, на медно-порфировых объектах (Песчанка, Томинское, Михеевское, Молмыж). Для корректной геометризации запасов в них может быть применена методика локального анизотропного кригинга (ЛАК). Она позволяет определить ориентировку осей анизотропии в локальных участках объекта на основе минимизации дисперсии по пробам, попадающим в границы эллипсоида при разных вариантах его положения. Эта процедура наиболее эффективна при достаточно плотной сети наблюдений.

На месторождениях сложного строения с высокой изменчивостью геологоразведочных параметров расхождения в оценке запасов отмечаются наиболее часто. Дополнительными факторами, осложняющими применение блочного моделирования, являются недостаточная плотность сети по отдельным участкам месторождения и высокие значения эффекта самородков. К объектам этого типа можно отнести жильные зоны, штокверки и штокверкоподобные золоторудные месторождения.

Основным приемом, позволяющим добиться удовлетворительной сопоставимости результатов для разных способов подсчета запасов, является построение каркасов, опирающихся на рудные интервалы, выделенных по соответствующим кондиционным показателям. Этот прием требует построения отдельных «жестких» каркасов для каждого варианта бортового содержания, но считается достаточно трудоемким.

Таким образом, информационные технологии являются т*ехническим*, а геостатистическое и блочное моделирование месторождений твердых полезных ископаемых – *методическим средством* подсчета запасов и технико-экономического

обоснования кондиций, удовлетворяющим требованиям международного аудита. Учет их необходим для рационального недропользования в Российской Федерации, а также привлечения иностранных инвестиций.

Контрольные вопросы по теме 4

1. Содержание и назначение промышленных кондиций
2. Основные кондиционные показатели
3. Применение и определение бортового содержания
4. Применение и определение минимального промышленного содержания
5. Виды контуров запасов полезных ископаемых
6. Последовательность оконтуривания запасов
7. Методические приемы оконтуривания запасов
8. Определение параметров подсчета запасов
9. Характеристика ведущих методов подсчета запасов
10. Особенности подсчета запасов попутных полезных ископаемых

Тема 5
Геолого-экономическая оценка месторождений

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЭО

Геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождений заключается в определении количества и качества запасов полезного ископаемого в недрах, выявлении условий залегания и добычи, обосновании технико-экономических показателей разработки. ГЭО – важнейшая составная часть геологоразведочного процесса. Она призвана определить промышленную значимость объекта в наиболее эффективном варианте его возможного промышленного освоения.

Основными задачами ГЭО являются (Временное…, 1998):

- определение количества и качества балансовых и забалансовых запасов, а также обоснование кондиций для их подсчета;
- расчет технико-экономических показателей промышленной ценности месторождения;
- обоснование оптимального варианта освоения месторождения;
- расчет размера регулярных платежей за право пользования недрами и др.

ГЭО промышленного значения месторождений производится на всех без исключения стадиях геологоразведочных работ и разработки (см. раздел 5 «Стадийность ГРР»). Однако содержание этого вида исследования во многом зависит от фактического материала, позволяющего дать объективную оценку качества и количества выявленных запасов или прогнозных ресурсов. Только на стадии разведки, в меньшей степени на стадии оценочных работ, могут быть получены достаточно полные сведения о геологическом строении объекта, позволяющие объективно охарактеризовать качество и количество запасов полезного ископаемого, технологические свойства минерального сырья, горнотехнические, гидрогеологические, экологические условия отработки. На стадиях регионального геологического изучения недр и поисковых работ оцениваются лишь прогнозные ресурсы. Практическая значимость прогнозных ресурсов определяется по результатам их ГЭО, когда устанавливается вероятное промышленное значение прогнозируемых месторождений.

Геологическое обоснование прогнозных ресурсов осуществляется в соответствии с Методическим руководством (Методическое руководство по оценке…, Богданов и др., 1986) и с учетом современных представлений по геолого-промышленных типам месторождений (на основе принципиальных геолого-генетических моделей процессов рудообразования).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭО

Географо-экономическая характеристика района

Приводится географическое и административное положение месторождения, его удаленность от ближайшей железнодорожной станции, автомобильных дорог, населенных пунктов и возможного потребителя сырья; природно-климатические условия; освоенность района, население, его занятость, возможные источники энергоснабжения, обеспеченность стройматериалами.

Геологическое строение района

Приводятся краткие сведения об изученности и геологическом строении района, о закономерностях размещения месторождений всех видов минерального сырья.

Геологическое строение месторождения

Особенности геологического строения; структурные, литологические и иные факторы, определяющие условия залегания, морфологию рудных тел, вещественный состав руд, распределение основных и попутных компонентов, а также вредных примесей; наличие обогащенных участков и закономерности их размещения; сведения об изменчивости основных параметров рудных тел по простиранию и падению. Наличие промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, подлежащих раздельной добыче и переработке; характеристика их качества. Наличие и закономерности распределения безрудных прослоев, характеристика слагающих их пород.

Для россыпных месторождений – характеристика особенностей формы, размеров и состава продуктивного «пласта», состава и мощности «торфов», строение плотика; содержание ценных компонентов; размер, форма и прочие особенности зерен полезных минералов, пробность золота.

Группа сложности месторождения в соответствии с классификацией запасов и прогнозных ресурсов.

Методика геологоразведочных работ

Сведения о проведенной топографической съемке, системе координат и привязке разведочных выработок.

Изученность поверхности месторождения – геологическая съемка, геохимические и геофизические исследования, проходка шурфов и канав.

Изученность глубоких горизонтов месторождения – система разведки; плотность разведочной сети; обоснование участка, разведанного по более высокой категории; сводная таблица видов и объемов геологоразведочных работ; объем выработок, участвующих в подсчете запасов.

Глубина, диаметры и конструкция разведочных скважин, способ и технология бурения, результаты замеров зенитных и азимутальных искривлений скважин. Выход керна линейный, по массе или объемный; интервалы с низким выходом керна, избирательное истирание керна, поправочные коэффициенты, выход шлама по массе или объемный при шарошечном или ударном бурении.

Методика и техника геофизических работ – основные результаты, случайные и систематические погрешности геофизических измерений.

Методика опробования буровых скважин и горных выработок, качество опробования, оценка достоверности результатов, наличие систематических погрешностей, поправочные коэффициенты, схема обработки проб. Групповые пробы, методика их составления.

Аналитические работы: объемы, методы проведения основных, контрольных и арбитражных анализов, соответствие их действующим стандартам или другим нормативным документам. Результаты обработки данных контроля, качество анализов,

оценка влияния низкого качества анализов на результаты подсчета запасов (определение мощности, площади рудных тел, содержания и т. п.). Обоснованность предполагаемых поправочных коэффициентов.

Методы и число определений объемной массы для разных типов и сортов полезных ископаемых. Обоснование значений объемной массы, принятых для подсчета запасов.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Основные водоносные горизонты, наиболее обводненные участки и зоны, их взаимосвязь с поверхностными водотоками, химический состав и бактериологическое состояние поверхностных и подземных вод; величина ожидаемых, а также максимально возможных водопритоков в горные выработки. Для россыпных месторождений, предназначенных для дражной отработки – возможность устройства плотин с целью подъема воды.

Источники питьевого и технического водоснабжения горного предприятия, оценка дальнейшего использования подземных вод месторождения для целей водоснабжения или извлечения ценных компонентов, а также их очистки при сбросе в поверхностные водотоки.

Инженерно-геологические особенности пород месторождения – состав, трещиноватость, тектоническая нарушенность, способность полезных ископаемых к самовозгоранию, радиационная характеристика полезного ископаемого и вмещающих горных пород, возможность возникновения оползней, селевых потоков и т. д. При наличии многолетней мерзлоты необходимо выявить глубины распространения и температурный режим.

ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Способ разработки месторождения

Выбор способа разработки месторождения зависит от глубины и условий залегания тел полезных ископаемых и производится с учетом экономико-географических и горно-технологических факторов. Оценке подлежат следующие варианты освоения месторождения:

- открытый способ,
- подземный,
- открытый и подземный (комбинированный),
- геотехнологический.

Применение открытого способа разработки устанавливается с помощью предельного коэффициента вскрыши ($К_в^п$), вычисляемого по формуле:

$$К_в^п = (С_п – С_о) / С_в,$$

где $С_п$ – себестоимость добычи 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $С_о$ – то же при открытых работах без учета затрат на выемку пустых пород; $С_в$ – себестоимость 1 т вскрыши, руб.

При комбинированном способе границу освоения месторождения открытым способом устанавливают исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого открытым и подземным способами.

Система разработки

Выбор системы разработки и ее основных элементов производится исходя из анализа геологических и горнотехнических условий месторождения.

Потери и разубоживание

Их величину следует устанавливают в значениях, характерных для принятой системы разработки с учетом горно-геологических условий месторождения.

Величина потерь обычно составляет:

- 3-7 % при системах отработки с креплением и закладкой очистного пространства;
- 8-20 % с открытым выработанным пространством и магазинированием руды;
- 15-20 % с массовым обрушением;
- 4-6 % при открытом способе разработки.

Величины разубоживания:

- 5-10 % при системах с магазинированием, креплением и закладкой выработанного пространства;
- 15-20 % при системах с массовым обрушением;
- 5-10 % при открытом способе разработки.

Производительность предприятия и продолжительность периода разработки являются важнейшими оценочными показателями, определяющими себестоимость добычи, капитальные вложения в промышленное строительство и сроки строительства предприятия. Устанавливаются в зависимости от запасов месторождения, особенностей геологического строения, горно-технических условий эксплуатации. Если существуют ограничения потребности в данном сырье, особые природоохранные и другие факторы, регламентирующие добычу, то ограничивается и производительность предприятия.

В зависимости от величины эксплуатационных запасов, горно-геологических особенностей месторождения и способа отработки, годовую производительность можно определить, руководствуясь горно-техническими условиями. Порядок ее расчета установлен в нормах технологического проектирования и осуществляется при оценке объекта по результатам разведки в базовых вариантах оконтуривания.

Для расчета годовой производительности по добыче руды при оценке по результатам поисковых и оценочных работ можно использовать метод аналогии или рекомендовать упрощенные методы, отражающие статистическую зависимость между величиной эксплуатационных запасов и средней продолжительностью работы рудника. В этих целях используются табличные материалы, подготовленные ВИЭМС и представленные в методических разработках для практических занятий.

Для расчета эксплуатационных запасов руд ($З_э$) используется следующая формула:

$$З_э = З \cdot (1 - п) / (1 - р),$$

где З – запасы полезного ископаемого в недрах, тыс. т; п – потери при добыче, доли ед., р – разубоживание при добыче, доли ед.

Коэффициент изменения качества руды при добыче (Р) можно рассчитать, допуская отсутствие полезного компонента в засоряющих породах, по формуле:

$$Р = 1 – р.$$

Этот упрощенный метод, предложенный Тэйлором (Хилл, 1999), позволяет рассчитывать годовую производительность как частное от деления эксплуатационных запасов на срок эксплуатации.

Следует подчеркнуть, что рассчитанная тем или иным способом годовая производительность предприятия является проектной и ее достижение требует определенного срока. Применительно к оценочным расчетам в условиях рыночных отношений неучет фактора времени достижения проектной производительности приводит к существенному искажению результатов экономической эффективности освоения месторождения независимо от того, проводится ли оценка по результатам поисковых, оценочных или разведочных работ.

Нужно учитывать также опыт рационального обеспечения запасами горнорудных предприятий:

- на 20-25 лет обычно обеспечиваются запасами рудники и карьеры черной металлургии, а крупные горнодобывающие комбинаты – не менее чем на 40 лет;
- на 30-40 лет – крупные горнорудные предприятия алюминиевой, медной, свинцово-цинковой и никелевой промышленности;
- на 20-30 лет – крупные предприятия по добыче вольфрама, молибдена, олова и др.;
- на 15-20 лет – золоторудные предприятия;
- на 5-10 лет – небольшие предприятия, эксплуатирующие богатые месторождения цветных металлов, золота и ценных видов неметаллического сырья, а также россыпные месторождения благородных и редких металлов, горнодобывающие предприятия химической промышленности и промышленности строительных материалов.

При определении фактического коэффициента вскрыши отстраивают схему освоения месторождения открытым способом. Верхний контур карьера откладывают соответственно результирующему углу наклона бортов карьера. Эти углы зависят от крепости пород (по М. М. Протодьяконову) и глубины карьера. Рекомендуемые значения также приводятся в специальных таблицах, представленных в методических разработках для практических занятий.

Для выполнения расчетов следует:

- вынести на план контуры верхнего и нижнего оснований карьера, а при необходимости и промежуточного контура (на уровне рыхлых отложений);
- определить объем карьера ($V_к$) по формулам:

$$V_к = [(S_в + S_н) / 2] \cdot H \text{ или } V_к = [(S_в + S_н + \sqrt{S_B \cdot S_H}) / 3] \cdot H,$$

где $S_в$ и $S_н$ – площади верхнего и нижнего оснований карьера, м^2; H – глубина карьера, м. Вторая формула применяется, если $S_в > S_н$ на 40 %;

- вычислить объемный коэффициент вскрыши ($K_в$):

$$K_в = (V_к – V_р) / V_р,$$

где $V_к$ – объем карьера, м^3; $V_р$ – объем руды, м^3;

- рассчитать (при необходимости) предельный коэффициент вскрыши ($K_в^п$):

$$K_в^п = (З_п – З_о) / З_в,$$

где $З_п$ – затраты (себестоимость) на добычу 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $З_о$ – то же при открытых работах; $З_в$ – затраты на выемку 1 т вскрышных пород при открытом способе, руб.

Если фактически коэффициент вскрыши меньше предельного ($К_в<К_в^п$), то целесообразен открытый способ разработки месторождения; если отмечена обратная зависимость ($К_в>К_в^п$), то подземный.

Расчет годовой производительности горнодобывающего предприятия во многом определяется горнотехническими условиями отработки и зависит, в первую очередь, от величины эксплуатационных запасов. Таблицы для упрощенного определения годовой производительности также приводятся в методических разработках для лабораторных занятий (Угрюмов, Дворник, 2004; Баранников, Макарова, 2002).

Годовая производительность по руде ($А_р$) может быть также определена по формуле:

$$А_р = З / Т,$$

где $Т$ – срок существования рудника, лет.

Производительность горнодобывающего предприятия по горной массе ($А_{гм}$) определяется по формуле:

$$А_{гм} = А_р \cdot (1+К_в).$$

Для расчета производительности по горной массе также можно воспользоваться эмпирической зависимостью:

$$А_{гм} = 42S – 10^5 \cdot S^2,$$

где S – средняя по глубине горизонтальная площадь проектного карьера.

Расчет годовой производительности по нормам технологического проектирования осуществляется, как правило, в базовых вариантах оконтуривания. В промежуточных вариантах годовую производительность по руде ($А_р$) рассчитывают по формуле:

$$А_р = \sqrt[a+b]{З_э},$$

где $З_э$ – эксплуатационные запасы руды, тыс. т; a, b – числовые коэффициенты, определяемые путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} А_{р1} = \sqrt[a+b]{З_{э2}} \\ А_{р2} = \sqrt[a+b]{З_{э1}} \end{cases}$$

В соответствии с принятой системой разработки и выбранной производительностью в горнотехнической части также рассматриваются: условия воздухо- и водоснабжения, вентиляции, откатки и подъема полезного ископаемого при подземной разработке, транспортировки вскрыши в отвал, а полезного ископаемого на фабрику. С учетом этого выбирается основное оборудование, режим работы предприятия, определяются укрупнено объемы работ по электро-, тепло- и водоснабжению.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Обоснование технологии переработки минерального сырья. Базируется на данных изучения его вещественного состава, структурно-текстурных особенностей, физико-механических и других свойств, на результатах технологических испытаний, а также передового опыта переработки (обогащения) аналогичных видов минерального сырья. При

наличии на месторождении нескольких технологических типов руд, подлежащих раздельной переработке, технология переработки обосновывается для каждого из них.

Объемы и виды технологических исследований. Должны быть достаточны для выбора технологической схемы переработки минерального сырья и обоснования ее основных показателей. К ним относятся качество получаемой товарной продукции, ее выход от исходного минерального сырья, а для рудных месторождений – извлечение основных и попутных компонентов в товарную продукцию в процентах.

В соответствии с выбранной схемой обогащения составляется материальный баланс, согласно которому количество металла, поступившего на обогащение, равно количеству металла, просуммированного по продуктам обогащения. Связь основных показателей обогащения выражается в виде следующей формулы:

$$И_{об} = (В_к \cdot М_к) / М_р,$$

где $И_{об}$ – извлечение при обогащении, %; $В_к$ – выход концентрата, %; $М_к$ и $М_р$ – содержание металла в концентрате и добытой руде, соответственно, %.

При упрощенных расчетах, когда широко используются технико-экономические показатели предприятий-аналогов, коэффициент извлечения металла в концентрат иногда принимают по аналогии. В этом случае может оказаться необходимым обосновать уже другой показатель – выход концентрата (Вк) в тоннах по формуле:

$$В_к = [И_{об} \cdot М_р \cdot (1 - р)] / М_к,$$

где р – показатель разубоживания, доли ед.

При этом расход руды на получение 1 т концентрата (q):

$$q = 1 / В_к.$$

Добытое полезное ископаемое может перерабатываться на вновь построенной на месторождении обогатительной фабрике или на действующих в регионе предприятиях, имеющих свободные мощности или требующих увеличения мощностей по переработке сырья. Выбор местонахождения обогатительной фабрики обосновывается экономическими расчетами.

Производительность обогатительной фабрики по руде в конкретных условиях зависит от масштаба производства снабжающих ее рудников. Как правило, при оценке месторождений она принимается равной годовой производительности предприятия по добыче руды.

При оценке рудных месторождений конечной товарной продукцией обычно является сам металл. Поэтому процесс переработки минерального сырья следует оценивать, включая металлургический передел. Для этого необходимы сведения о технологической схеме переработки концентратов, извлечении полезных компонентов в конечную товарную продукцию, а также перечень выпускаемой конечной товарной продукции по маркам. Эти показатели принимаются по фактическим данным металлургических предприятий, на которых предусматривается переработка концентратов и промпродуктов из руд оцениваемого месторождения.

Сквозное извлечение металла в конечный товарный продукт (И) с учетом металлургического передела:

$$И = И_{об} \cdot И_м,$$

где $И_м$ – извлечение при металлургическом переделе, доли ед.

Изучение поведения попутных компонентов в процессе переработки. Изучается содержание попутных компонентов в продуктах обогащения, баланс распределения каждого попутного компонента по минералам и продуктам.

Определение состава и свойств отходов. Исследуется состав и свойства отходов, возможность их промышленного использования, целесообразность учета количества отдельных видов отходов или утверждение их запасов.

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изучение и прогнозирование воздействия результатов геологоразведочных работ, а также разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду, является обязательной составной частью ГЭО (Временное…, 1998). Полученные при этом данные должны способствовать ликвидации их негативных последствий, получению исходных данных, необходимых для комплексного промышленного освоения, а также разработке рационального комплекса природоохранных мероприятий, определению их стоимости на разных стадиях изучения и геолого-экономической оценке месторождений. Результаты отмеченных исследований проходят экологическую экспертизу.

Влияние геологоразведочных работ и промышленного освоения месторождений на окружающую среду многоаспектно. Оно может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, выводе из хозяйственного оборота или снижении продуктивности плодородных земель и других негативных воздействиях. Характер и степень этого влияния в значительной мере обусловлены способом ведения геологоразведочных работ и отработки месторождения, а также составом добываемых и перерабатываемых полезных ископаемых, технологией их обогащения, металлургического и химического передела, степенью очистки отходящих газов и сточных вод.

Предотвращение или нейтрализация отрицательного воздействия освоения месторождения на природную среду возможны только при наличии максимально полной информации о характере объекта и условиях его эксплуатации. Она должна быть получена в процессе разведочных работ и использована для выработки соответствующих проектных решений и природоохранных мероприятий.

Все эти вопросы, разобранные с той или иной степенью достоверности (в зависимости от собранного материала), находят отражение в разрабатываемых ТЭД и ТЭО.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

В данном разделе приводится обоснование величины инвестиций (капитальных вложений и оборотных средств) в освоение месторождения, а также эксплуатационных затрат, связанных с добычей и обогащением полезного ископаемого. Рассчитываются показатели эффективности освоения месторождений, выбирается оптимальный вариант их освоения.

В практике оценки месторождений полезных ископаемых существует два основных метода определения капитальных затрат и производственных (эксплуатационных)

расходов: 1 – прямой расчет и 2 – метод аналогии. *Прямые расчеты* более точны и надежны. Они позволяют учесть все специфические особенности проекта. Однако на ранних стадиях изучения объекта данных для прямого расчета недостаточно, и тогда для предварительной оценки необходимых вложений используется *метод аналогии*, который может применяться в двух модификациях. В первом случае выбирается непосредственный объект-аналог – месторождение того же геолого-промышленного типа, расположенное в том же регионе, близкое по геологическим, горнотехническим и горно-технологическим условиям. Технико-экономические показатели объекта-аналога принимаются за основу для проведения расчетов. Вторая модификация предусматривает оценку необходимых затрат с помощью укрупненных показателей – удельных капиталовложений на разные виды работ. Удельные капвложения – это затраты, отнесенные на единицу объема работ – на 1 т руды, на 1 км строительства дороги, на 1 км проведения ЛЭП и т. д. Удельные показатели определяются отраслевыми институтами – ВИЭМС в Москве, ИГД в Екатеринбурге и др. на основе анализа деятельности профильных предприятий, и позиционируются как соответствующие нормативы.

Обоснование инвестиций в освоение месторождений

Инвестиции включают в себя капитальные вложения на фонды промышленного и непромышленного назначения, а также инвестиции в оборотный капитал.

К *фондам промышленного назначения* относятся рудник с комплексом горно-капитальных выработок, зданий, сооружений и оборудования; обогатительная фабрика с объектами хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения; участок автомобильных дорог и железнодорожных путей от месторождения до существующих путей сообщения; службы энерго-, водо- и теплоснабжения, канализации и т. д. *Непромышленные фонды* – это объекты социального, жилищного и бытового назначения.

1. Капитальные вложения в строительство рудника.

Определяются в соответствии с намеченным способом разработки, исходя из годовой производительности и капитальных удельных вложений на горно-капитальные работы, оборудование, здания и сооружения в соответствии с глубиной разработки и с учетом территориального поправочного коэффициента. Учитываются также затраты на получение лицензий: права на пользование землей и недрами, на определенные виды деятельности; организационные расходы, включая регистрацию предприятия; затраты по компенсации потерь от изъятия земель и другие расходы, связанные со строительством объектов.

Капитальные вложения в строительство карьера, рудника могут быть определены по формуле:

$$K_{\text{р}} = K_{\text{ур}} \cdot A_{\text{р}},$$

где $K_{\text{ур}}$ – удельные капитальные затраты на 1 т годовой производительности по руде или горной массе, руб.; $A_{\text{р}}$ – производительность рудника по руде или горной массе, т/год. Удельные показатели принимаются в соответствии с действующими нормативами, приведенными в методических разработках к лабораторным занятиям.

2. Капитальные вложения в строительство обогатительной фабрики.

Определяются с учетом ее производительности и удельных затрат на 1 т производственных мощностей по переработке минерального сырья, а также территориального поправочного коэффициента.

Для определения капитальных вложений в строительство обогатительной фабрики на основе удельных показателей используется формула:

$$K_{ф} = K_{уд} \cdot A_{ф},$$

где $K_{уд}$ – удельные капвложения на 1 т годовой производительности, руб.; $A_{ф}$ – годовая производительность фабрики.

3. Капитальные вложения в строительство автомобильных и железных дорог, линий электропередач, водоснабжение и прочее также определяются в соответствии с нормативами удельных капитальных вложений на 1 км сооружений, их протяженностью и поправочными коэффициентами, учитывающими район строительства и рельеф местности.

4. Капитальные вложения на предстоящие геологоразведочные работы учитываются, исходя из запасов месторождения, а также из удельных затрат на разведку 1 т руды запасов категорий $A+B+C_1$, и относятся к первому году строительства горнорудного предприятия. Они определяются по данным объектов-аналогов или методом прямого расчета путем составления сметы на проведение геологоразведочных работ.

5. Прочие капитальные вложения в строительство объектов жилищного, коммунального и культурно-бытового назначения определяются исходя из числа трудящихся на горном предприятии и удельных затрат на одного человека при строительстве этих объектов.

6. Общие капитальные затраты ($K_{общ}$) определяются как сумма затрат на строительство рудника (карьера), обогатительной фабрики, затрат на транспорт, строительство линий электропередач, затрат на геологоразведочные работы и прочих.

Прочие капитальные вложения ориентировочно можно принять в размере 10-15 % для малых и средних объектов и 20-25 % для крупных от суммы капитальных затрат на строительство рудника (карьера) и обогатительной фабрики.

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты, связанные с добычей и обогащением полезного ископаемого, состоят из цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов. Они определяют себестоимость продукции горно-обогатительного предприятия. Эксплуатационные затраты также устанавливаются прямым расчетом или с использованием показателей существующих предприятий, разрабатывающих аналогичные месторождения в сходных географо-экономических условиях.

1. Цеховые эксплуатационные затраты

При подземной добыче полезного ископаемого цеховые эксплуатационные затраты определяются с помощью укрупненных нормативных показателей себестоимости добычи руды в зависимости от годовой производительности рудника, глубины разработки, варианта вскрытия и системы добычи.

При открытой добыче цеховые затраты рассчитываются с помощью укрупненных нормативов в зависимости от годовой производительности, типов и размеров основного оборудования, транспортных средств, глубины карьера и коэффициента вскрыши.

Затраты на рекультивацию нарушенных земель, которые входят в цеховые эксплуатационные затраты, определяются исходя из площади нарушенных земель и удельных затрат на рекультивацию 1 га.

Затраты по обогащению полезного ископаемого определяются с помощью укрупненных нормативных показателей цеховой себестоимости в соответствии с намеченной производительностью фабрики, способом обогащения и составом руд.

2. Общекомбинатские расходы зависят от цеховой себестоимости добычи, обогащения и составляют обычно 8-10 % от цеховых расходов.

3. *Внепроизводственные расходы* складываются из цеховых погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки концентрата до линии железной дороги общего пользования. Укрупненно они могут быть приняты в размере 3-5 % от цеховой себестоимости.

Затраты по охране окружающей среды зависят от характера производственной деятельности и местных условий, рассчитываются отдельно и включаются в эксплуатационные затраты.

Общая величина эксплуатационных затрат определяется как сумма цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов, а также затрат по охране среды.

Показатели эффективности освоения месторождения

При оценке эффективности освоения месторождения соизмерение разновременных затрат и показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к базисному моменту времени – началу строительства горнодобывающего предприятия. Это реализуется их умножением на коэффициент дисконтирования:

$$K_{\text{д}} = \frac{1}{(1+\text{E})^{t}},$$

где t – номер расчетного года, начиная от начала строительства горнодобывающего предприятия; Е – норма дисконтирования, которая принимается равной приемлемой для инвестора норме дохода или прибыли на капитал (процентная ставка). Эта норма устанавливается на таком уровне, который позволил бы инвестору не только компенсировать риск, но и получить требуемую прибыль. Обычно эта норма при постоянных ценах в горной промышленности колеблется в следующих пределах:

- от 10-12 % при разработке месторождений строительных материалов;
- 15-18 % при разработке месторождений черных и цветных металлов;
- до 20-25 % при разработке месторождений золота.

Кроме того, для учета фактора времени в экономических расчетах применяется коэффициент ежегодной ренты (аннуитета), который определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{а}} = \frac{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} - 1}{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} \text{ x E}}$$

Коэффициенты дисконтирования и аннуитета, рассчитанные для разных значений Е и t, приводятся в виде справочных таблиц в методических разработках по практике ГЭО.

Основными показателями экономической эффективности освоения месторождения являются:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);
- срок окупаемости капитальных вложений (То);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- рентабельность предприятия по отношению к производственным фондам (Рф);
- рентабельность предприятия по отношению к эксплуатационным затратам (Рэ).

Чистый дисконтированный доход определяется как сумма чистых доходов за весь расчетный период:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right),$$

где t = 1, 2, 3…T – количество лет от начала строительства до ликвидации предприятия; Ц_t – стоимость продукции (выручка) в t-м году, руб.; З_t – эксплуатационные затраты, произведенные в том же году без учета амортизационных отчислений, руб.; K_t – капитальные вложения (инвестиции) в t-м году, руб.; Е – норма дисконтирования.

С использованием соответствующего коэффициента дисконтирования формула несколько упрощается:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot K_{\text{д}}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot K_{\text{д}}\right).$$

Если ЧДД положителен, освоение месторождения эффективно; при отрицательном ЧДД освоение окажется неэффективным как не отвечающее установленной норме дохода.

На начальных стадиях изучения месторождения не представляется возможным определить величину выручки, эксплуатационных затрат и капитальных вложений по отдельным годам. Поэтому величины выручки и затрат принимаются постоянными за все время разработки, а величину капитальных вложений – постоянной за все время строительства. Средняя величина дохода определяется по формуле:

$$\text{Д}_\text{г} = \text{Ц}_\text{г} - \text{З}_\text{г},$$

где $\text{Д}_\text{г}$ – среднегодовой доход; $\text{Ц}_\text{г}$ – среднегодовая стоимость продукции (выручка) за год; $\text{З}_\text{г}$ – среднегодовые эксплуатационные затраты, включая амортизационные отчисления.

Среднегодовой доход с амортизационными отчислениями ($\text{Д}^1_\text{г}$) будет:

$$\text{Д}^1_\text{г} = \text{Д}_\text{г} + \text{А}_\text{о},$$

где $\text{А}_\text{о}$ – амортизационные отчисления.

В этом случае ЧДД определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}\text{ x Е}} - K_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}\text{ x Е}},$$

где $K_\text{г}$ – среднегодовая величина капитальных вложений; $T_\text{э}$ – срок эксплуатации месторождения; $T_\text{с}$ – срок строительства предприятия.

Подставляя коэффициенты дисконтирования и аннуитета, формулу можно значительно упростить:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot K_{\text{аэ}}\cdot K_{\text{дс}} - K_\text{г}\cdot K_{\text{ас}},$$

где $K_{\text{аэ}}$ – коэффициент аннуитета на срок эксплуатации, $K_{\text{дс}}$ – коэффициент дисконтирования на срок строительства, $K_{\text{ас}}$ – коэффициент аннуитета на срок строительства.

Индекс доходности (ИД) показывает, во сколько раз приведенные доходы превышают приведенные капитальные вложения:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_t)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)}$$

Или на начальных этапах изучения месторождения:

$$\text{ИД} = \frac{Д_г^1\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_э}-1}{(1+\text{E})^{T_э}\cdot\text{E}}\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^{T_c}}}{\text{Кг}\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_c}-1}{(1+\text{E})^{T_c}\text{ x E}}}.$$

Или с использованием коэффициентов:

$$\text{ИД} = (Д^1_г \cdot К_{аэ} \cdot К_{дс}) / (К_г \cdot К_{ас}).$$

Разработка месторождения эффективна, если индекс доходности больше 1.

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_о$) – временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы уравнивают приведенные капитальные вложения. Срок окупаемости определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{Tо}\left[(\text{Ц}_t - 3_е)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right] = \sum_{t=1}^{Tо}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)$$

или на начальных стадиях изучения месторождений

$$T_о = -\frac{\log\left\{1-\frac{K_г}{Д_г^1}[(1+\text{E})^{tc}-1]\right\}}{\log(1+E)}.$$

Логарифмирование производится по любому основанию, так что можно применять как натуральные логарифмы, так и десятичные.

Возможно определение $T_о$ и графическим способом (рис. 49).

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта, при которой величина приведенных доходов уравнивает приведенные капитальные вложения. ВНД определяется из условия (в неявной форме):

$$\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_е)\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения месторождения ВНД определяется из условия:

$$Д^1_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_э}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_э}\cdot\text{ВНД}} = К_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_c}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_c}\cdot\text{ВНД}}$$

Ориентировочная величина ВНД определяется соотношением: ВНД = 75 / $T_о$, %.

На практике часто применяется простой графический способ определения ВНД. Для этого рассчитывается 3 значения ЧДД при разной величине Е и строится график, на котором в выбранном масштабе по вертикальной оси откладываются ЧДД, а по горизонтальной – Е. По трем точкам проводится прямая, которая пересечет горизонтальную ось в точке, соответствующей значению ВНД (рис. 50).

Рентабельность разработки месторождения по отношению к основным производственным фондам ($Р_ф$) вычисляется по формуле:

$$Р_ф = П_ч / Ф \cdot 100\ \%, \text{ или } Р_ф = Д_г / К \cdot 100\ \%,$$

где $П_ч$ – среднегодовая прибыль после уплаты налогов; Ф – стоимость производственных фондов предприятия (основных и оборотных средств); $Д_г$ – среднегодовой доход; $К$ – капитальные вложения в освоение месторождения.

Рентабельность предприятия по отношению к годовым эксплуатационным затратам ($Р_з$) может быть определена по формулам:

$$Р_з = П_ч / З_г \cdot 100\ \% \text{ или } Р_з = Д_г / З_г \cdot 100\ \%,$$

где $З_г$ – годовые затраты, руб.

С учетом, платежей, налогов и отчислений расчет показателей ГЭО осуществляется в следующем порядке.

Величина годовой прибыли ($П_г$) определяется по формуле:

$$П_г = Ц_г – (З_г + Н_э),$$

где $Ц_г$ – среднегодовая стоимость продукции без налога на добавленную стоимость (выручка); $З_г$ – среднегодовые эксплуатационные затраты с учетом амортизационных отчислений; $Н_э$ – величина налогов, платежей, отчислений, учитываемая в структуре эксплуатационных затрат. К ним относятся, в первую очередь, налог на добычу и дорожный налог.

Величина чистой годовой прибыли ($П_ч$) определяется по формуле:

$$П_ч = П_г – Н_п,$$

где $Н_п$ – величина налогов, платежей, отчислений, изымаемая из прибыли. Основную их часть составляют налоги на прибыль и на имущество.

Величина чистой годовой прибыли с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) определяется по формуле:

$$П^1_ч = П_ч + А_о,$$

где $А_о$ – амортизационные отчисления, определяемые в соответствии с действующими нормами амортизации.

При расчетах показателей эффективности используется чистая годовая прибыль с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) за исключением расчета рентабельности ($Р_ф$, $Р_з$), где используется чистая годовая прибыль $П_ч$.

Вычисление показателей экономической эффективности освоения месторождения с учетом существующих налогов, платежей и отчислений осуществляется по формулам:

$$ЧДП = \sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right),$$

$$ИП = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)}$$

$T_о$ определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{To}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] = \sum_{t=1}^{To}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)$$

ВНП определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения используются соответственно следующие формулы:

$$ЧДП = П_ч \cdot \frac{(1+Е)^{Tэ}-1}{(1+Е)^{Tэ} \cdot Е} - K_г \cdot \frac{(1+Е)^{Tс}-1}{(1+Е)^{Tс} \cdot Е} \text{ или}$$

$$ЧДД = П_ч \cdot К_{аэ} – K_г \cdot K_{ас},$$

$$\text{ИП} = \frac{\text{П}_{\text{ч}}^{1} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_{\text{э}}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_{\text{э}}} \cdot \text{Е}} \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}}}}{\text{Кг} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}} \cdot \text{Е}}}, \text{ или ИП} = \text{П}_{\text{ч}} \cdot K_{\text{аэ}} / K_{\text{г}} \cdot K_{\text{ас}},$$

$$T_{\text{о}} = - \frac{\log\left\{1 - \frac{K_{\text{г}}}{\text{П}_{\text{ч}}^{1}}\left[(1+\text{Е})^{T_{\text{с}}} - 1\right]\right\}}{\log(1+E)},$$

ВНП определяется из условия:

$$\text{П}^{1}_{\text{ч}} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{э}}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{э}}} \cdot \text{ВНД}} = K_{\text{г}} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{с}}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_{\text{с}}} \cdot \text{ВНД}},$$

$$\text{Р}_{\text{ф}} = \text{П}_{\text{ц}} / \Phi \cdot 100\ \%,$$

$$\text{Р}_{\text{з}} = \text{П}_{\text{ц}} / \text{З}_{\text{г}} \cdot 100\ \%.$$

Денежный поток при разработке месторождения является дополнительным показателем эффективности освоения. Его составляющими являются приток и отток средств по годам с начала деятельности горного предприятия. Источниками притока средств являются выручка от реализации производственной продукции и реализации остаточных производственных фондов при ликвидации предприятия, сокращение величины оборотных средств. Основными составляющими оттока средств являются эксплуатационные расходы, налоговые выплаты, платежи и отчисления, которые не входят в структуру эксплуатационных затрат, увеличение оборотных средств, отчисления в развитие геологоразведочных работ и т. д. Суммарная разность между притоком и оттоком средств за весь период существования предприятия называется *чистым денежным потоком*. Если величины этого потока приводят к началу разработки месторождения, то суммарная величина этих значения является дисконтированным чистым денежным потоком. При определении денежного потока при разработке месторождения конкретным частным предприятием при оттоке средств, кроме того, учитывается погашение взятого кредита банка на строительство горного предприятия и выплата процентов по этому кредиту.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обоснование оптимального варианта освоения месторождения осуществляется на основе сопоставления его технико-экономических показателей при разных значениях бортового содержания, а именно: величины запасов полезных компонентов, размера капитальных вложений, эксплуатационных затрат, чистого дисконтированного дохода и т. д. Полный перечень этих показателей, а также пример повариантных технико-экономических расчетов для полиметаллического месторождения приводится в методических разработках для лабораторных занятий по дисциплине «Разведка и ГЭО МПИ».

Ни один из показателей не является достаточным для окончательного вывода о предпочтении того или иного варианта оконтуривания или подсчета запасов. Однако каждый из них должен отвечать заранее обусловленным требованиям инвестора: чистый дисконтированный доход и внутренняя норма доходности должны быть не меньше заранее установленной величины; срок окупаемости капитальных вложений – не более намеченного времени и т. п.

В целом, промышленное значение месторождения определяется экономической эффективностью его разработки. Наряду с этим необходимо учитывать потребность промышленности в данном виде минерального сырья, наличие трудовых ресурсов, а также социальное положение населения в районе расположения объекта, экологическую ситуацию и т. п. Неполное удовлетворение потребности конкретного района в минеральном сырье может служить основанием для предложения о снижении налогов и предоставлении льгот при разработке месторождения.

Контрольные вопросы к теме 5

1. Цели и задачи ГЭО МПИ
2. Геологические показатели ГЭО
3. Горнотехнические показатели ГЭО
4. Технологические показатели ГЭО
5. Обоснование инвестиций в освоение месторождения
6. Определение эксплуатационных затрат при разработке
7. Назначение и применение коэффициента дисконтирования, ставки дисконта, коэффициента аннуитета
8. Основные показатели эффективности освоения месторождения
9. Определение чистого дисконтированного дохода
10. Определение индекса доходности
11. Определение срока окупаемости инвестиций
12. Определение внутренней нормы доходности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Становление учения о разведке недр прошло длинный исторический путь, постепенно накапливая опыт и знания при изучении и оценке различных типов месторождений полезных ископаемых. К настоящему времени *разведка* представляет *самостоятельную научную дисциплину,* имеющую объекты изучения, методологические подходы, геолого-экономическую основу оценки полученных результатов.

Накопленный опыт разведки и геолого-экономической оценки месторождений получил отражение в многочисленных литературных источниках: монографиях, учебниках и учебных пособиях, научных статьях, методических разработках и рекомендациях. Направления совершенствования геологоразведочных работ, обоснованные еще в 80-90-е годы XX столетия, во-многом актуальными и в настоящее время. К числу сформулированных при этом задач следует отнести (Комплексная…, 1990):

- повышение достоверности утверждаемых по результатам разведки запасов;
- обоснование комплексного использования минерального сырья на основе совершенствования рациональной технологии переработки полезных ископаемых;
- совершенствование методов опробования и способов обработки проб;
- повышение уровня изученности вещественного состава и технологических свойств полезного ископаемого;
- повышение роли геофизических и геохимических исследований при оконтуривании залежей полезных ископаемых, изучении их внутреннего строения;
- совершенствование методики разведки и геолого-экономической оценки месторождений на основе обобщения передового отечественного и зарубежного опыта.

В то же время нельзя оперировать только накопленным опытом. С течением времени меняются экономические условия хозяйствования, совершенствуются подходы к оценке промышленной значимости месторождений. В современных условиях необходимо внедрение в геологоразведочный процесс геоинформационных технологий. При этом возможны следующие направления сбора информации и её обобщения:

- перевод накапливаемой геологической информации по месторождениям с бумажных носителей на цифровые;
- создание банка цифровых данных по всем разведанным пересечениям, включающим результаты опробования, аналитических, инженерно-геологических и иных исследований;
- разработка цифровых моделей месторождений, позволяющих на базе 3D моделирования анализировать форму и условия залегания тел полезных ископаемых, пространственное распределение качественных показателей в объеме рудных тел, оценивать роль и значение рудоконтролирующих факторов на прилегающих к месторождению территориях (в пределах рудных районов и узлов);
- производить подсчет запасов и ГЭО, обосновывать кондиции на минеральное сырье, укреплять и стабилизировать добычу минерального сырья требуемого качества на горнорудных предприятиях и т. д.

Все изложенное определяет высокую актуальность подготовки квалифицированных кадров в рамках высшей школы, владеющих не только глубокими геологическими

знаниями, но и современными приемами сбора и обработки накопленной информации с использованием IT-технологий.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой геологии,
поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых
_____ В.А.Душин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	3
2.	СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ	6
3.	СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
	3.1. Введение	7
	3.2. Общие сведения о районе работ	8
	3.2.1. Географо-экономическая характеристика	8
	3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ	8
	3.3. Геологическое строение района	9
	3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)	9
	3.5. Методика и объемы проектируемых работ	10
	3.5.1. Целевое геологическое задание	10
	3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ	11
	3.5.3. Прочие виды работ	12
	3.5.4. Опробование и аналитические работы	12
	3.5.5. Подсчет прогнозных ресурсов и запасов и их геолого-экономическая оценка	13
	3.6. Заключение	15
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	16
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример оформления титульного листа	18
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Образец оформления штампа на листах графики	19

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью курсового проекта по дисциплине «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых» является формирование у будущих специалистов системы знаний, раскрывающих методологию решения геологоразведочных задач и принципы геолого-экономической оценки месторождений.

Проектирование является сложным и ответственным видом работ. От качества проекта на производство геологоразведочных работ во многом зависит их конечный результат. Во время обучения в вузе основное внимание уделяется ознакомлению с новой информацией, большей частью теоретического характера. Молодой специалист, оказавшись на производстве, остро ощущает недостаток практического опыта. В первую очередь это касается необходимости принимать самостоятельные инженерные решения, направленные на выполнение геологического (технического) задания. Составляя курсовую работу, студенты приобретают определенные навыки в проектировании геологоразведочных работ, необходимые в дальнейшем для разработки выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) и будущей профессиональной деятельности.

Курсовая работа выполняется студентами 5-го курса на базе материалов, собранных при прохождении преддипломной производственной практики. При отсутствии необходимых данных, требуемых для составления работы, сведения предоставляет кафедра. В том случае, если студент располагает достаточно представительным материалом, позволяющим произвести его углубленную обработку с использованием современных компьютерных технологий и на этой основе рассмотреть те или иные вопросы, составление проекта может быть заменено решением той или иной методической задачи геологоразведочной направленности.

Для подготовки курсовой работы студенты во время прохождения производственной практики должны собрать необходимые графические и текстовые материалы. Графические материалы включают: 1) геологическую

карту района работ в масштабе 1:50 000, 1:100 000 или 1:200 000 с разрезами, стратиграфической колонкой и условными обозначениями (легендой); 2) геологическую карту (план) месторождения (рудного поля) масштаба 1:25 000, 1:10 000 или крупнее; 3) геологические разрезы по месторождению или его части; 4) план подсчета запасов (продольная проекция). Графика сопровождается описанием геологии района и месторождения (участка), методики геологоразведочных работ, данными по подсчету запасов с результатами геолого-экономической оценки.

Для курсового проекта допускается отсутствие геологической карты района, однако для дипломного проекта она необходима. Исключение составляют проекты по нефтяным и газовым объектам, для которых вместо геологической карты района представляется, как правило, мелко-среднемасштабная тектоническая схема с указанием важнейших нефте-газоносных структур.

Главной задачей курсового проекта является обоснование методики геологоразведочных работ, отвечающих определенной стадии. В соответствии с Положением о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (1999) темой курсового проекта оценочные работы, разведка, или эксплуатационная разведка, например:

- оценочные работы на проявлении Нырдвоменшорское на медноколчеданное оруденение (Полярный Урал);

- разведка Главной рудной зоны Сусанского месторождения золота (Свердловская область);

- разведка глубоких горизонтов Астафьевского месторождения бокситов (Южный Урал);

- разведка северного фланга Мансуровского месторождения гранитов (Южный Урал);

- эксплуатационная разведка южной части нижнего рудного уровня Узельгинского месторождения (Челябинская область).

Независимо от выбранной стадии при выполнении курсового проекта студент должен решить следующие инженерные задачи:

- осветить степень геологической изученности рассматриваемой площади;

- определить главные задачи проектируемых работ;

- сформулировать целевое геологическое задание;

- выбрать и обосновать комплекс методов для выполнения целевого задания, определить виды и объемы запроектированных работ;

- произвести проектный подсчет запасов по объекту изучения с их геолого-экономической оценкой.

Задание на составление курсового проекта оформляется на специальном бланке, которое выдается преподавателем. На бланке указывается тема (название) проекта и сроки его выполнения. Преподаватель помогает студенту составить план проекта, рекомендует необходимую литературу, оказывает индивидуальные консультации.

На выполненный проект преподавателем пишется рецензия. Окончательная оценка выставляется после публичной защиты.

При подготовке методических рекомендаций использованы учебно-методические разработки кафедры ГПР МПИ к составлению курсовых проектов по дисциплинам «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» (А. Г. Баранников, 2013) и «Разведка и геолого-экономическая оценка МПИ» (Балахонов В. С., 2005), с которыми студенты могут подробнее ознакомиться на кафедре.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА, ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект состоит из текстовой части и графических приложений. Текст работы не должен превышать по объему 25-35 страниц машинописного текста и включает следующие разделы (в скобках указан ориентировочный объем):

- титульный лист;

- оглавление;

- введение (1 стр.);
- общие сведения о районе работ (1-2 стр.);
- геологическое строение района (2-5 стр.);
- геологическая характеристика объекта (4-6 стр.);
- методика и объемы проектируемых работ (12-14 стр.);
- подсчет запасов, их геолого-экономическая оценка (2-3 стр.);
- заключение (1 стр.);
- список использованной литературы.

Текст работы представляется в распечатанном виде. Допускается также рукописный вариант. Страницы текста должны соответствовать формату А4 (297х210 мм). Поля по всему периметру – 20 мм. Перед текстовой частью помещается титульный лист (приложение 1), индивидуальное задание и оглавление.

Текст иллюстрируется схемами, фотографиями, зарисовками. Они должны иметь наименования, условные обозначения, масштаб и обозначаются как рисунок под соответствующим номером.

Графические приложения представляются на двух или трех листах. В правом нижнем углу помещается штамп установленного образца (приложение 2). Первым листом является геологическая карта района со стратиграфической колонкой, легендой, разрезом. Как отмечалось выше, в курсовой проект карта района может не включаться, но для дипломного проекта она необходима. На втором листе помещается геологическая карта месторождения или участка работ. Этот лист является основным и имеет методическое значение. На него наносятся известные месторождения, проявления и пункты минерализации, геохимические и геофизические аномалии, шлиховые ореолы. Здесь же указываются направления геологических маршрутов, проектные геофизические и геохимические профиля, пройденные и проектные геологоразведочные выработки. Второй лист может представлять собой план подсчета запасов по месторождению, участку месторождения, эксплуатируемому этажу или уступу. Карта участка (месторождения) сопровождается одним или двумя типичными

разрезами, в том числе проектным, которые могут быть помещены на отдельном листе. При необходимости в графические приложения включается вертикальная продольная проекция рудного тела с блокировкой запасов и указанием пройденных и проектных выработок.

3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. Введение

Во введении обосновывается актуальность проекта и характеризуются исходные материалы, положенные в его основу. Оценивается потребность промышленности в данном виде минерального сырья, его конъюнктура на мировом и российском рынках. Рассматривается необходимость развития минерально-сырьевой базы региона в целом и данного вида полезных ископаемых в частности.

Указывается место и сроки прохождения производственной практики, организация, должность, выполнявшиеся работы. Приводятся основные фондовые и литературные источники, использованные при написании работы.

3.2. Общие сведения о районе работ

3.2.1. Географо-экономическая характеристика района

Указывается административное положение района работ, ближайшие населенные пункты, пути сообщения, возможности использования разных видов транспорта, ведущие промышленные объекты, источники энергообеспечения, наличие стройматериалов, возможности найма рабочих на месте. Описывается орогидрография: характер рельефа, абсолютные и относительные превышения, климат, гидрографическая сеть, режимы рек, источники питьевого и технического водоснабжения, наличие карстовых явлений, многолетней мерзлоты. Характеризуется растительный и животный мир, распространение покровных образований, кор выветривания, их мощности. Особо отмечается обнаженность пород, дешифрируемость аэро-космоснимков.

Перечисленные данные позволяют произвести анализ природных условий ведения геологоразведочных работ, учитываются при геолого-экономической оценке рудных объектов.

Для иллюстрации раздела приводится мелкомасштабная обзорная карта (схема) района с указанием местоположения участка работ.

3.2.2. Анализ результатов ранее выполненных работ

Кратко освещаются основные результаты ранее выполненных на площади геологических, геофизических, геохимических и других видов работ. Обзор проводится в хронологическом порядке. Текст может сопровождаться схемами изученности.

Оценивается достоверность ранее выполненных исследований и обосновывается выбор участка проектируемых работ, обсуждается степень его разведанности, изученность вещественного состава с точки зрения комплексного использования полезных ископаемых, а также возможные перспективы продолжения оруденения на глубину или фланги месторождения, обнаружения слепых рудных тел.

3.3. Геологическое строение района

Приводятся данные о геолого-структурной позиции участка работ. Последовательно излагаются сведения по стратиграфии и литологии, магматизму, тектонике, гидрогеологии и полезным ископаемым. Для районов, перспективных на россыпное оруденение, дается геоморфологическая характеристика.

При описании полезных ископаемых кратко описываются все известные месторождения и рудопроявления, включая сведения о размерах залежей, их форме, минеральном составе, принадлежности к определенному рудно-формационному промышленному типу.

В дипломном проекте текст сопровождается геологической картой района со стратиграфической колонкой, условными обозначениями (легендой) и

разрезами. При подготовке раздела следует обратить внимание на совпадение текстовых и графических материалов. В тексте должны быть охарактеризованы свиты и комплексы, представленные на графике. Соответственно, геологическая карта, колонка, легенда и разрезы должны содержать одни и те же стратиграфические и интрузивные образования.

3.4. Геологическая характеристика объекта проектируемых работ (перспективного участка, месторождения)

В зависимости от проектируемой стадии ГРР объектом работ является перспективный район, участок, рудопроявление или месторождение.

В данной главе уточняются и детализируются сведения, представленные в предшествующем разделе. Рассматриваются структурно-вещественные комплексы, образующие геолого-структурную позицию участка или месторождения. К ним относятся вмещающие горные породы, магматические тела, разломы, складки, вулканические структуры, геологические контакты.

В целом, описание участка или месторождения обычно включает следующие позиции:

- горные породы, участвующие в его строении;

- структурный контроль в размещении оруденения или структура рудного поля;

- характеристика выявленной минерализации. Для поздних стадий ГРР обязательно описывается форма, размеры, условия залегания рудных тел, вещественный состав руд, их текстурно-структурные особенности, первичная и вторичная зональность, генезис месторождения, а также характеризуются горно-геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождения.

Раздел иллюстрируется крупномасштабной геологической картой месторождения, детальными геологическими разрезами, в том числе обязательно проектным. При необходимости представляется продольная проекция, построенная в плоскости падения, или вертикальная, на которой показано размещение запасов разных категорий.

3.5. Методика и объемы проектируемых работ

3.5.1. Целевое геологическое задание

С учетом представленного выше обоснования формулируется геологическое задание, которое должно отвечать определенной стадии геологоразведочного процесса:

- оценочные работы;
- разведка участка месторождения, флангов, глубоких горизонтов;
- эксплуатационная разведка.

При формулировке задания важно отметить, какой промышленный тип оруденения ожидается, оговорить границы участка проектируемых работ и их масштаб.

3.5.2. Методы и объемы проектируемых работ

При проектировании оценочных и разведочных работ методические вопросы решаются на основе анализа особенностей структуры участка, формы, размеров и условий залегания тел полезных ископаемых, изменчивости выявленных параметров оруденения (мощности, содержания полезных компонентов).

В соответствии с инструктивными материалами ГКЗ МПР РФ, определяется группа сложности месторождения, перечень основных видов работ, необходимых для решения задач данной стадии, плотность сети наблюдения для разных категорий запасов. Обосновывается система разведки и технические средства, расположение и порядок проходки технических средств.

Описание каждого вида работ завершается расчетом проектных объемов.

3.5.3. Прочие виды работ

Обязательным элементом геологоразведочных работ являются топо-геодезические или маркшейдерские исследования. Рассмотрение этого вопроса начинается с анализа имеющейся топоосновы. Предусматривается инструментальная привязка опорной сети геофизических наблюдений, буровых скважин и горных выработок, базисных линий на участках детализационных работ.

На стадии разведки обязательно должна быть описана методика гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений с определением объемов этих работ.

Обязательным элементом разрабатываемого проекта является рассмотрение экологических вопросов. Необходима оценка влияния геологоразведочных работ на окружающую среду. Это влияние может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, исключении из хозяйственного оборота плодородных земель и т.д. В проекте должны быть предусмотрены мероприятия, предотвращающие или уменьшающие вредное воздействие ГРР на экологию.

3.5.4. Опробование и аналитические работы

С учетом типа оруденения, особенностей вещественного состава, формы, предполагаемой мощности рудных залежей, а также планируемых объемов горноразведочных и буровых работ, предусматриваются необходимые виды опробования – химическое, минералогическое, техническое, технологическое. Обосновываются способы отбора проб, необходимые для решения поставленных задач (штуфное, бороздовое, точечное, керновое и т.д.). Обсуждаются возможности использования геофизических методов опробования. Дается схема обработки проб на отдельно вычерченном листе в текстовой части проекта.

Перечисляются планируемые виды лабораторных работ, определяются их объемы с учетом внутреннего и внешнего контроля (3-5% от общего объема проб). Аналитические исследования в зависимости от типа полезного ископаемого и целевого назначения проекта могут включать следующие виды испытаний проб: химический, минералогический, спектральный, пробирный, атомно-абсорбционный, рентгено-спектральный, рентгено-структурный и др. Для каждого вида аналитических исследований определяются цели и решаемые задачи.

3.5.5. Подсчет проектных запасов и их геолого-экономическая оценка

На стадиях оценочных и разведочных работ одним из завершающих этапов проектирования является оконтуривание тел полезных ископаемых на месторождении, его флангах, глубоких горизонтах с переводом прогнозных ресурсов и запасов в более высокие категории. Для этого необходимо дать характеристику как уже оцененных, так и ожидаемых ресурсов и запасов.

Указываются кондиции, принятые для оконтуривания залежей и выделения подсчетных блоков. Излагается методика подсчета запасов по результатам проектируемых работ. Выбирается и обосновывается способ подсчета запасов в зависимости от особенностей геологического строения месторождения (формы, состава, условий залегания). Излагаются принципы выделения категорий запасов по степени разведанности (плотности разведочной сети) и изученности (выхода керна, вещественного состава руд, технологических, горнотехнических и гидрогеологических условий) для месторождений разных групп по сложности геологического строения. Раскрываются принципы выделения подсчетных блоков и проведение их границ на выходах, флангах и по падению. Характеризуются параметры подсчета запасов, методика их обоснования (площади подсчетных блоков, мощности, среднее содержание, объемная масса). Приводится сводный формуляр подсчета общих ожидаемых запасов по категориям. Контуры категорий запасов, выделенных на основании проектируемых работ, рекомендуется закрасить следующими цветами: категория А – розовый, В – зеленый, C_1 – голубой, C_2 – желтый.

Методика геолого-экономической оценки на разных стадиях геологоразведочного процесса не одинакова.

Основной инструмент геолого-экономической оценки – обоснование кондиций. По материалам завершенных геологоразведочных работ (разведка, доразведка) для определения целесообразности и экономической эффективности освоения месторождения составляют постоянные кондиции.

ГЭО осуществляется поэтапно. На стадии оценочных работ – по укрупненным показателям, без учета налогов, отчислений и платежей, а позднее по результатам разведки – с их учетом.

В условиях рыночных отношений оценку эффективности освоения месторождений, а также сравнение различных инвестиционных проектов и выбор лучшего из них, производят с использованием следующих показателей.

1. Чистый дисконтированный доход, или чистая дисконтированная стоимость, интегральный стоимостной эффект (ЧДД) – это превышение интегральных денежных результатов над соответствующими интегральными затратами или сумму всех доходов от эксплуатации месторождения за весь расчетный период. Освоение месторождения считается эффективным при положительном значении величины чистого дисконтированного дохода. При отрицательном значении ЧДД рассматриваемый вариант инвестиционного проекта должен быть признан убыточным.

2. Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных доходов к величине приведенных инвестиций. В экономически эффективных проектах величина индекса доходности должна быть больше единицы.

3. Внутренняя норма доходности (ВНД), или внутренняя норма прибыли, рентабельность возврата инвестиций. ВНД означает норму дисконта, при которой величина приведенных доходов равна приведенным инвестициям, а чистый дисконтированный доход становится равным нулю. Освоение месторождения считается эффективным и приемлемым, если ВНД>Е, где Е – принятая в расчете норма дисконтирования прибыли.

4. Срок окупаемости капитальных вложений ($Т_о$) с учетом дисконтирования стоимостных показателей определяет временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы равны приведенным инвестициям. Приемлемым считается срок окупаемости инвестиций, равный 5-7 годам. Предельное значение $Т_о$ составляет 10 лет.

Процесс геолого-экономической оценки месторождения завершают выбором оптимального варианта освоения объекта, для которого определены кондиции и показатели экономической эффективности его освоения.

При геолого-экономических расчетах необходимо использовать рекомендуемые учебные пособия кафедры.

3.6. Заключение

В заключение работы приводятся краткие выводы по каждой главе и проекту в целом.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баранников А. Г., Никулина И. А., Хасанова Г. Г. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / А. Г. Баранников, И. А. Никулина, Г. Г. Хасанова; Урал. Гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Тзд-во УГГУ, 2018ю – 184 с.

Баранников А. Г., Макарова С. В. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 95 с.

Дворник Г. П., Угрюмов А. Н. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и техногенного сырья: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. – 220 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Научные основы поисков и разведки). М.: Недра, 1984. – 285 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Производство геологоразведочных работ). М.: Недра, 1985. – 288 с.

Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Утверждена приказом МПР РФ от 07.03.1997. – 9 с.

Петруха Л. М. Разведка месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 247 с.

Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М.: ВИЭМС, 1999. – 28 с.

Рудничная геология / В. Ф. Мягков, А. М. Быбочкин, И. И. Бугаев и др. М.: Недра, 1986. – 199 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образец выполнения титульного листа

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
Уральский государственный горный университет
Факультет геологии и геофизики

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему:

РАЗВЕДКА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ОГАНЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА (КАМЧАТКА)

Руководитель
доц. Никулина И. А.

Студент
Попов С. М.

Группа
РМ-15

Екатеринбург – 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Образец заполнения штампа к чертежам

<table>
<tr><td></td><td colspan="4">Министерство образования и науки РФ
Уральский государственный
горный университет</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Исполнитель:
студент
гр. РМ-15
С. М. Попов</td><td colspan="3">Геологический план
Оганчинского месторождения</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">30</td><td rowspan="2">Руководитель:
доцент
И. А. Никулина</td><td colspan="3">К курсовому проекту на тему:
«Разведка глубоких горизонтов
Оганчинского месторождения золота
(Камчатка)»</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>Масштаб
1:1000</td><td>Дата</td><td>Приложение
№ 2</td><td>20</td></tr>
<tr><td></td><td>50</td><td>30</td><td>35</td><td>35</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">150</td><td></td></tr>
</table>

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.Л. Зуторов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Козьмин В.С, доцент, к.г.-м.н.

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Тема	Название	Стр.
	Введение	3
1	Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения	5
2	Геологические основы разведки	15
3	Методические основы разведки	40
4	Подсчет запасов полезных ископаемых	69
5	Геолого-экономическая оценка месторождений	88
	Заключение	104

Введение

Геологоразведочные работы являются важнейшим фактором устойчивого развития экономики страны. Сырьевую базу в настоящее время составляют *более ста видов твердых полезных ископаемых.* Усилиями многих поколений российских геологов найдены и введены в промышленное освоение тысячи месторождений полезных ископаемых. На этой основе создана уникальная минерально-сырьевая база страны.

Россия занимает места в *первой пятерке стран мира* по запасам и добыче железных и медных руд, золота, серебра, платиноидов, вольфрама, молибдена, кобальта, никеля. За счет этих руд государство обеспечивает внутренний рынок, эксплуатирует значительные объемы сырья и продукции его переработки. Бюджет государства во многом формируется за счет освоения минерально-сырьевых ресурсов. Экспорт продукции (по данным Федерального агентства по недропользованию РФ) составляет 50-70 % от объема добычи (по вольфраму, кобальту, никелю, меди, золоту, платиноидам. Существенна роль России как мирового производителя и экспортера алмазов, апатита, калийных солей, хризотил-асбеста, бора.

В то же время далеко не благополучным является состояние минерально-сырьевой базы по таким полезным ископаемым, как цинк, свинец, олово, сурьма, барий, графит и др. Внутреннее потребление этих видов сырья определяет необходимость их ввоза из-за рубежа. Многие районы с горнопромышленной направленностью испытывают в настоящее время острый недостаток в добываемом сырье (по железу, меди, свинцу, цинку, золоту). К остродефицитным полезным ископаемым также относятся бокситы, титан, цирконий, бентониты, каолины и др.

Итак, минерально-сырьевой комплекс был и остается *гарантом дальнейшего развития страны* на длительную перспективу, источником получения средств на реконструкцию и техническое перевооружение промышленности. Поэтому подготовка высококвалифицированных кадров в области «разведочного дела» в рамках специализации «Геологическая съемка, поиски и разведка твердых полезных ископаемых» (направления 25.05.02 «Прикладная геология») остается актуальной и востребованной задачей.

Содержание Учебного пособия во многом базируется на обобщении научного и учебно-методического материала, содержащего в учебниках, учебных пособиях, методических рекомендациях, подготовленных в разные годы. В первую очередь, необходимо упомянуть работу В. М. Крейтера (1940) по поискам и разведке месторождений полезных ископаемых, а также труды тех, кто продолжал развивать и углублять сформулированные В. М. Крейтером научные проблемы и направления (работы А. Б. Каждана, Е. О. Погребицкого, В. И. Тернового, Г. С. Поротова, Л. И. Четверикова, П. П. Ясковского, В. В. Шелелева, в том числе сотрудников кафедры поисков и разведки МПИ – В. Ф. Мягкова, А. С. Вершинина, И. И. Бугаева, Л. М. Петрухи, Ю. К. Панова и др.). Из публикаций этих авторов в Учебном пособии заимствована большая часть приведенных в пособии таблиц и иллюстраций.

Современная геологическая наука не может ограничиваться изучением лишь качественных сторон явлений и процессов. Она «должна выявлять их количественные

характеристики, обеспечив тем самым более высокий научный уровень исследования земных недр» (Каждан, Гуськов, 1990). Необходимость внедрения математических методов при решении геологоразведочных задач признается в настоящее время всеми геологами. Их применение обеспечивает возможность перехода от словесных, часто субъективных определений изучаемых объектов, к их более объективным количественным оценкам. Накопленный на кафедре опыт математической обработки собранной геологической информации отражен в 11, 13 и 15 главах пособия. Более подробно вопросы количественной обработки накопленной геологической информации рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Студент должен:

А. знать:

- задачи, принципы, технические средства и системы разведки; классификацию запасов полезных ископаемых; требования промышленности к качеству минерального сырья на стадии разведки;
- методики комплексной оценки минерального сырья;
- подходы к сбору и обработке количественной геологической информации с использованием компьютерных технологий.

Б. уметь:

- составлять проекты на геологоразведочные работы, обосновывать рациональную разведочную сеть;
- оконтуривать запасы разных категорий, выполнять подсчет запасов разными методами;
- выполнять оценку географо-экономических, горнотехнических условий освоения месторождений, технологических свойств минерального сырья.

В. владеть:

- методикой обоснования видов и объемов проектируемых работ;
- приемами определения параметров при подсчете запасов полезных ископаемых;
- методикой определения величины инвестиций, показателей эффективности освоения месторождения в базовом и коммерческом вариантах.

Тема 1
Общие вопросы дисциплины. Основные понятия и определения

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЕЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Разведка месторождений – это комплекс работ и связанных с ними исследований, направленных на выявление, оконтуривание и геолого-экономическую оценку запасов минерального сырья в недрах. Разведочные работы вносят определяющий вклад в геологическое изучение минерализованных участков недр на предпроектной стадии промышленного освоения объекта. По завершению разведки и получению положительных результатов геолого-экономической оценки изучаемое проявление полезного ископаемого приобретает *статус месторождения.*

Разведка начинается с момента составления проекта на производство геологоразведочных работ. Обычно эти работы включают: геологическое картирование площади рудного поля и месторождения; выявление и оценку выходов рудных тел; проходку горных выработок и скважин, их документацию и опробование; проведение комплекса геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических исследований; геодезическую съёмку. По результатам геологоразведочных работ составляют геологические разрезы, планы, проекции. Они отражают размеры, условия залегания и строение тел полезных ископаемых. Дается характеристика полезного ископаемого, подсчитываются его запасы. На основе полученных данных проводится геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождения, обосновываются выводы о его промышленном значении. Все сказанное позволяет отметить, что разведка как прикладная геологическая наука находится на стыке областей знаний, включающих: накопленные сведения о геологическом строении месторождения, его сопоставление с определенным геолого-промышленным типом; вопросы горного дела (в связи с обоснованием способа разработки месторождения); определение потенциальной ценности объекта, рентабельности его разработки; обоснованность задействованных технических средств разведки, влияющих на надежность получаемых результатов; обработку полученных результатов с использованных современных компьютерных технологий (рис. 1).

Основной *целью* выполняемых геологоразведочных работ является *получение информации,* необходимой и достаточной для: проектирования предприятия по добыче полезного ископаемого и переработке минерального сырья, реконструкции действующего рудника, определения путей его дальнейшего развития, оценки перспектив выявления новых тел полезных ископаемых на площади рудного поля. Собранная и качественно обработанная информация должна обеспечить *решение основной задачи* разведочных работ – подготовку месторождения к промышленному освоению.

Успешному решению сформированных задач должно способствовать: построение цифровых моделей месторождений с использований IT технологий; реализация разведочных систем, соответствующих природным особенностям объекта и обеспечивающим надежное локальное прогнозирование геолого-промышленных параметров.

Сущность разведки сводится к оконтуриванию, прослеживанию промышленно ценных участков природных скоплений полезного ископаемого путем выборочного пересечения минерализованного объема недр разведочными выработками (скважинами, горными выработками) с последующим геологическим и геофизическим их изучением (документацией) и опробованием. Таким образом, информацию, необходимую для принятия проектных решений по разработке и переработке добываемого минерального сырья, получают на весьма скудном материале. Разведка обычно не позволяет раскрыть все детали строения минерализованных пород. Отчасти эти задачи решаются при использовании геофизических методов (в том числе, зондирования межскважинного пространства), а также на стадии эксплуатационной разведки. Материалы разведки позволяют сконструировать *модель месторождения,* которая по своим параметрам должна быть максимально приближена к истинному объекту (рис. 2). Возможность разработки технических проектов на основе обобщения ограниченной разведочной информации подтверждена практикой разведки и освоения месторождений. Здесь работает известный в математической статистике выборочный метод исследования оцениваемых свойств (в разведке – геолого-промышленных параметров) на основе обобщения данных лишь части свойств, вошедших в изучаемую выборку (Петруха, 2003). На каждой последующей стадии геологоразведочных работ формируемая выборка свойств становится более представительной. На современном этапе изучения недр все недропользователи обязаны выполнить необходимые расчеты по геолого-экономической оценке (ГЭО) обосновываемых запасов и прогнозных ресурсов. Оценка является исследовательским процессом, связанным с выявлением возможных конкурентоспособных вариантов оконтуривания и промышленного освоения запасов месторождения и выбором среди них рационального с позиций максимальной доходности предприятия. Наиболее полная ГЭО осуществляется по результатам разведки месторождения. Оценка по результатам поисков базируется на тех же единых методологических принципах, но из-за ограниченности имеющихся материалов является малодостоверной (Шевелев, 2004).

При проведения ГЭО учитываются следующие положения:

1. Обоснование рационального и комплексного использования недр, включающее основные и попутные компоненты, отходы добычи и переработки сырья.
2. Определение показателей эффективности освоения месторождения (ЧДД – чистый дисконтированный доход, ИД – индекс доходности, ВНД – внутренняя норма доходности, Р – рентабельность разработки, Т – срок окупаемости капвложений).
3. Учет обязательных платежей и налогов, плата за кредит (необходимый для организации работ по разработке месторождения).
4. Учет фактора времени и риска при оценке месторождения.
5. Оценка экологических и социальных последствий разработки месторождения.
6. Выбор оптимального варианта освоения месторождения.
7. Обоснование кондиций на минеральное сырье.

Важнейшие результирующие показатели ГЭО, установленные параметры кондиций, подсчитанные с их использованием балансовые и забалансовые запасы вносятся в Государственный кадастр месторождений полезных ископаемых. При этом необходимо

отражать в кадастре два подхода к оценке объекта – базовый и коммерческий, чтобы при необходимости оперативно осуществлять переоценку месторождения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ СТАНОВЛЕНИЯ УЧЕНИЯ О РАЗВЕДКЕ НЕДР

Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых пришло из потребностей горного дела. Долгие годы работы по поиску и добыче руд велись на основе опыта многих поколений рудознатцев. Разработки в этой области знаний методического и организационного характера появились значительно позже. Первые труды принадлежат Г. Агриколе (1530), И. А. Шлаттеру (1760), М. В. Ломоносову (1763). Целая эпоха в развитии горного промысла и геологии связана с именем Петра I. Им был организован «Приказ рудокопных дел», реорганизованный в 1719 г. в Берг-коллегию. Коллегия взяла на себя руководство горнозаводской промышленностью Российской империи.

В XIX веке разведка месторождений не проводилась. Открытые месторождения сразу же вовлекались в разработку. Разведочные методы начинают развиваться и совершенствоваться в конце XIX века и позднее. Первыми в этом направлении были работы проф. Войслова (1899), проф. Корзухина (1908), В. С. Реутовского, Б. И. Бокия (1914).

Методологические основы разведки складывались и совершенствовались по мере расширения сырьевой базы страны, развития горнорудной промышленности. Однако в начале XX века разведочное дело ещё не имело самостоятельного развития и рассматривалось как один из разделов учения о полезных ископаемых. Первая работа по экспертизе и оценке рудных месторождений была опубликована Н. И. Трушковым в 1922 г. В 1924 г. в Петроградском горном институте К. П. Марковым прочитан курс разведочного дела. Начиная с 1927 г. этот курс читал И. С. Васильев, впервые изложивший важнейшие методические положения разведки.

Основоположником учения о поисках и разведке полезных ископаемых по праву считается В. М. Крейтер. Им были организованы кафедры поисков и разведки МПИ в Московском геологоразведочном институте и Институте цветных металлов и золота. Его фундаментальный труд «Поиски и разведка полезных ископаемых», изданный в 1940 г., несколько раз переиздавался и стал настольной книгой геологов-разведчиков нескольких поколений.

В 1922 г. кафедра поисков и разведки МПИ была организована в Уральском (Свердловском) горном институте. Её первым заведующим был назначен руководитель геологической службы Урала Б. В. Дидковский. В последующие годы кафедру возглавляли А. П. Смолин, В. П. Любимов, П. И. Кутюхин, М. Н. Альбов, И. И. Бугаев, В. Ф. Мягков, А. Г. Баранников. В 1999 г. произошло объединение ряда кафедр геологического факультета. Объединенную кафедру геологии, поисков и разведки МПИ возглавил проф. В. А. Душин.

Большой вклад в развитие теории и практики разведочного дела, опробования и подсчета запасов полезных ископаемых внесли исследования М. Н. Альбова, Н. В. Барышева, И. Д. Когана, А. П. Прокофьева, В. И. Смирнова, Е. О. Погребицкого, Г. С. Поротова и др. Научные основы геометризации недр заложены исследованиями П. К. Соболевского (1926-1932). Он рассматривал тела полезных ископаемых как совокупность

взаимно связанных геохимических полей и на этой основе сформулировал принципы геометрического моделирования.

В середине XX века во все отрасли геологии, включая вопросы оценки месторождений, проникли математические методы обработки информации. Этому способствовало появление и развитие электронно-вычислительной техники, а позднее – IT технологий. Кроме теории вероятности и математической статистики случайных величин, в теорию и практику исследований стали проникать методы многомерного статистического анализа, теории случайных функций и гармонического анализа, теории множеств, линейной алгебры, распознавания образов и других разделов математики.

При рассмотрении теоретических вопросов методики разведки месторождений и опробования акцент был сделан на изучении изменчивости свойств полезных ископаемых. А. С. Власов, Д. А. Казаковский и др. исследователи предложили использовать первые и вторые последовательные разности значений исследуемых показателей изменчивости по смежным точкам. При обобщении результатов статистической обработки данных П. Л. Каллистов (1956) обратил внимание на то, что любой статистический показатель отражает лишь средний уровень изменчивости изучаемого свойства и не учитывает влияния пространственного расположения точек наблюдений. Им было предложено учитывать случайные и закономерные изменения наблюдаемых признаков. При этом дисперсию случайных отклонений следовало определять не от генеральной средней, а с учетом рассчитанной кривой регрессии, отстраиваемой с использованием процедуры сглаживания совокупности прилегающих к конкретной точке проб. Дальнейшее развитие этот подход при изучении изменчивости свойств залежей получил в работах В. Ф. Мягкова (1984). Он предложил исследовать закономерности распределения компонентов в рудных полях с использованием *геометро-статистической модели*. При отстройке одномерных графиков изменчивости геологических параметров по разным направлениям рудных залежей с использованием интерполяционного полинома удается выявлять уровненное строение геологических полей и на этой основе решать целый ряд практических вопросов разведки: оптимальный шаг опробования; зональность строения залежей, их анизотропию и др.

Начиная с шестидесятых годов XX века, появилось много публикаций по исследованию изменчивости оруденения с использованием *методов теории случайных функций* и *гармонического анализа* (работы А. Б. Каждана, З. Д. Низгурецкого, А. М. Марголина и др.). Изменчивость изучаемых признаков рассматривается как функция расстояния между смежными пунктами наблюдений. При этом необходим учет влияния формы и размера проб, отражающих неоднородность строения недр. В это же время при изучении изменчивости и оценке запасов руд зарубежными геологами (Ж. Матерон, М. Давид, Э. Карлье, Д. Криге и др.) было предложено задействовать *геостатистические модели.* В основе данной модели лежит предположение, что получаемые результаты зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдения результаты измерений меняются, и поэтому их следует рассматривать как случайные величины. Рассчитанный средний квадрат разности измеренных значений при этом зависит от расстояния между пунктами. Важной характеристикой геостатистических

моделей служит вариограмма, отражающая функцию среднего квадрата разности от расстояния между пунктами наблюдений. Для отдельных объектов установлено присутствие нескольких типов вариограмм: с регулярной пространственной переменной, с эффектом самородков, сферической и др. На отстроенных вариограммах возможно определение порогового значения, отражающего зону влияния между соседними пробами.

На современном этапе при обобщении результатов геологоразведочных работ все чаще задействуют геостатистические методы с использованием IT технологий (программы “Micromine”, “Datamine”, “Surpac” и др.).

ОСНОВЫ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О НЕДРАХ

Основным законом, регламентирующим недропользование в РФ, является Федеральный закон «О недрах», принятый в 1992 г. Закон неоднократно дополнялся и редактировался, его последняя редакция принята в 2015 г. (Закон РФ «О недрах»).

Согласно тексту закона недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже поверхности Земли и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубины, доступной для геологического изучения и освоения.

Основные положения горного права

К основным положениям Горного права относятся:

- право собственности на недра как один из элементов природной среды;
- право собственности на извлеченные из недр полезные ископаемые и используемые полезные свойства недр;
- право собственности на имущество и геологическую информацию, создаваемые в процессе пользования недрами.

Право собственности на недра в России действующими правовыми актами определяется следующим образом:

- недра находятся в государственной собственности;
- владение, пользование и распоряжение недрами в пределах государственной границы находится в совместном ведении Российской Федерации и ее субъектов (так называемое «правило двух ключей»), а за пределами границы (в морской экономической зоне и на континентальном шельфе) – в исключительном ведении Российской Федерации;
- владение, пользование и распоряжение недрами осуществляется в интересах всех народов, проживающих на соответствующей территории, и всех народов Российской Федерации.

Недра предоставляются в пользование субъектам предпринимательской деятельности для изучения, добычи полезных ископаемых, строительства подземных сооружений, организации особо охраняемых геологических объектов или сбора минералогических коллекций на определенный срок или без ограничения срока.

Участки недр с находящимися в них минеральными ресурсами не могут быть предметом купли-продажи, дарения, наследования, вклада, залога или отчуждения в иной форме. Права пользования недрами могут отчуждаться или переходить от одного лица к другому в той мере, в какой их оборот допускается федеральными законами.

Право собственности на минеральное сырье, добытое из недр, появляется в процессе добычи полезных ископаемых. Добытые из недр полезные ископаемые могут находиться в федеральной собственности, собственности субъектов Федерации, муниципальной, частной и иных формах собственности. Вопрос о форме собственности на добытое полезное ископаемое определяется условиями лицензионного соглашения.

Право собственности на горное имущество и геологическую информацию определяется принципом: объект является собственностью того, кто оплатил его создание или приобретение. Однако, геологическая информация, являющаяся собственностью пользователя, должна представляться им по установленной форме в федеральный и территориальный фонды геологической информации (ВГФ, ТГФ). Собственник может лишь оговорить условия конфиденциальности пользования этой информацией в фондах, с учетом собственных интересов.

Система пользования недрами

Недра Российской Федерации могут быть использованы недропользователями для следующих целей.

1. Регионального геологического изучения и иных общих геологических работ без нарушения целостности недр.

2. Геологического изучения, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, а также оценки пригодности недр для строительства подземных сооружений.

3. Разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе отходов горных предприятий.

4. Строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

5. Образования особо охраняемых геологических объектов.

6. Сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекций. Недра могут предоставляться в пользование одновременно для геологического изучения (поиски, разведка) и добычи полезных ископаемых. В этом случае добыча может производиться как в процессе изучения, так и после его завершения.

Пользование недрами в Российской Федерации, за исключением работ по региональному геологическому изучению и созданию особо охраняемых объектов, является платным.

Недра предоставляются в пользование на определенный срок или без ограничения срока.

Порядок пользования недрами включает три самостоятельных подсистемы:

- предоставление участков недр в пользование;
- пользование недрами в соответствии с установленным видом пользования;
- контроль и надзор за соблюдением установленных требований и ограничений при пользовании недрами.

Предоставление недр в пользование осуществляется на основе лицензирования. Государство, осуществляющее суверенное право на недра, определяет программу освоения недр, участки недр, которые предполагаются предоставить в пользование, и выбор конкретного недропользователя.

Государство определяет условия, на которых предполагается передача недр в пользование. Недропользователь может вести переговоры об изменении этих условий. При достижении согласования, недропользователю оформляется лицензия на право пользования недрами. Лицензия предоставляется совместно органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации и Федеральным органом управления фондом недр.

Работы по *региональному геологическому изучению недр*, выполняемые за счет средств госбюджета, осуществляются без оформления лицензий, но с обязательной регистрацией в территориальных геологических организациях Министерства природных ресурсов. Лицензия на *поиски и оценку* месторождений полезных ископаемых удостоверяет право проведения таких работ только на вид сырья, указанный в лицензии. Лицензия на *добычу* полезного ископаемого может выдаваться на всё месторождение или его часть. Допускается также одновременное предоставление одному пользователю нескольких лицензий на право добычи по группе близко расположенных месторождений, если экономически рентабельной является только совместная их разработка. Лицензия на *разведку* месторождения отдельно не предоставляется и право разведки предусматривается в лицензии на добычу.

Законодательством устанавливается два статуса участков недр, на которые выдается лицензия: геологический отвод и горный отвод. Статус *геологического отвода* предоставляется участкам, предоставляемым для геологического изучения недр без существенного нарушения их целостности. В пределах одного геологического отвода могут быть выданы несколько лицензий на разные виды деятельности, включая, например, поиски и оценку разных полезных ископаемых. В границах геологического отвода могут одновременно проводить работы несколько пользователей недр.

В пределах одного *горного отвода* может быть выдана только одна лицензия одному пользователю, получающему по ней исключительное право деятельности в этих пределах в соответствии с лицензией.

Предоставление недр в пользование осуществляется по результатам конкурсов или аукционов, либо в специальных случаях на основе согласованных решений федеральных органов государственной власти и органов государственной власти субъектов Федерации на бесконкурсной основе. Определение порядка проведения и условий конкурсов и аукционов по каждому объекту или группе объектов осуществляется органами, предоставляющими лицензии. Наименования объектов, выставляемых на конкурсы или аукционы, и их условия публикуются в печати.

Предприниматель, желающий принять участие в конкурсе, подает по установленной форме соответствующую заявку. После официального принятия заявки и уплаты соответствующих взносов заявитель может получить пакет геологической и технико-экономической информации по интересующему его участку недр. Проанализировав эту информацию, заявитель прежде всего решает для себя вопрос о продолжении участия в конкурсе (аукционе) и, при положительном решении, представляет приемлемый для него вариант технико-экономических показателей (ТЭП) ведения работ по намечаемому виду пользования недрами. Указанные ТЭП представляют собой комплекс материалов, обосновывающих принципиальные решения и ожидаемые технико-экономические

показатели по всем вопросам. После приобретения лицензии ее владелец имеет право получения в фондах полного объема геологической информации по предоставленному ему согласно лицензии участку недр (геологическому или горному отводу).

Условия ***пользования недрами*** определяются соглашением собственника недр (государства) в лице его уполномоченных органов и недропользователя. В практике недропользования известны три типа договорных отношений:

- недропользователь вносит плану за пользование недрами и уплачивает другие установленные налоги, но полностью распоряжается всей произведенной продукцией;
- недропользователь и собственник недр заключают соглашение о разделе производимой продукции;
- недропользователь заключает с собственником контракт на предоставление определенных услуг (субподрядные работы).

В первом случае недропользователь осуществляет все работы по реализации предоставленных лицензией прав за счет собственных средств, принимая на себя все риски. Добытая продукция полностью принадлежит ему, хотя условиями договора может определяться реализация части продукции на внутреннем рынке. Недропользователь вносит все установленные платежи, налоги, связанные с его деятельностью. Все сооружения и оборудование, используемые при работах, являются его собственностью.

Во втором случае недропользователь также несет все расходы и принимает на себя риски, связанные с ведением работ, а произведенная продукция делится между ним и собственником (государством) в виде трех частей: компенсационной продукции, предназначенной для возмещения затрат недропользователю, и двух долей прибыльной продукции, разделенных между государством и недропользователем в установленном соотношении. Реализация своих долей продукции осуществляется недропользователем и собственником самостоятельно. Сооружения и оборудование, связанные с недропользованием, переходят в собственность государства либо с момента их создания или приобретения, либо по мере амортизации. Привлекательной стороной соглашения о разделе продукции является иммунитет от новых изменений налогового законодательства, которые не должны ухудшать экономическое положение инвестора, имевшееся на момент составления соглашения.

В третьем случае, недропользователь, также неся все затраты, связанные с проведением работ, либо получает возможность их возмещения при коммерческом результате (например, открытии месторождения при поисках), либо получает заранее оговоренное вознаграждение (оплату) за произведенные работы, но не приобретает никаких прав на добытую продукцию, если таковая будет получена в течение срока действия лицензии или после его истечения.

Контроль и надзор за пользованием недрами осуществляют органы государственного геологического контроля и Федерального горного и промышленного надзора России, а также другие контрольные органы, в соответствии с компетенцией (природоохранные органы, налоговая инспекция, таможенная служба и т. д.) и органы государственной власти.

Государственный геологический контроль включает контроль за геологическим изучением недр и их рациональным использованием и охраной. Органы госконтроля входят в структуру Министерства природных ресурсов и его территориальных подразделений.

Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор) выполняет в качестве основной контрольной функции надзор за безопасным ведением работ, включая вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации горных предприятий.

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых производится для создания условий комплексного использования недр, определения платы за использование недр и уточнения границ горного отвода. Государственная экспертиза может проводиться на любой стадии геологического изучения недр, но предоставление участков недр для целей добычи разрешается только после их госэкспертизы.

Система платежей при пользовании недрами

Плата за пользование недрами включает разовые и регулярные платежи.

Минимальные (стартовые) разовые платежи за пользование недрами устанавливаются в размере не менее 10 % от величины суммы налога на добычу полезных ископаемых в расчете на среднегодовую проектную мощность добывающей организации. Размеры регулярных платежей определяются в зависимости от экономико-географических условий, размера участка недр, вида полезного ископаемого, продолжительности работ, степени геологической изученности и степени риска. Регулярный платеж взимается за площадь лицензионного участка, предоставленного недропользователю. Ставка регулярного платежа за 1 кв. км участка недр при поисковых и оценочных работах составляет от 27-90 рублей для неметаллических полезных ископаемых до 120-360 рублей для углеводородного сырья; при разведочных работах ставка меняется от 800-1650 рублей для подземных вод до 5000-20000 рублей для углеводородного сырья.

Регулярные платежи не взимаются с недропользователей, осуществляющих:

- пользование недрами для регионального геологического изучения;
- пользование недрами для образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение;
- пользование недрами для сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов;
- разведку полезных ископаемых на месторождениях, введенных в промышленную эксплуатацию, в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этих полезных ископаемых.

Кроме разовых и регулярных платежей, законодательством предусмотрены две группы налогов и отчислений. Первая группа учитывается в себестоимости товарной продукции, вторая относится на финансовый результат.

В себестоимость включается налог на добычу полезных ископаемых, дорожный налог, плата за воду, землю, загрязнение окружающей среды и др. Налог на добычу составляет основную часть налоговой суммы первой группы. Ставка налога меняется от 3,8 % для калийных солей до 16,5 % для углеводородного сырья. Налогоплательщики, осуществившие за счет собственных средств поиски и разведку разрабатываемых месторождений или полностью возместившие все расходы на поиски и разведку,

уплачивают налог на добычу с коэффициентом 0,7. При выполнении соглашений о разделе продукции налоговые ставки на добычу применяются с коэффициентом 0,5. Не облагаются налогом полезные ископаемые, остающиеся во вскрышных, вмещающих (разубоживающих) породах, в отвалах или отходах перерабатывающих производств. Дорожный налог взимается в размере 2,5 % от годовой стоимости товарной продукции.

На финансовый результат горного предприятия относят налог на прибыль, налог на имущество, целевые сборы на содержание милиции и благоустройство территории. Налог на прибыль составляет 24 % от годовой прибыли предприятия, налог на имущество – 2 % от его среднегодовой стоимости. Остальные платежи определяются прямыми расчетами.

Горные предприятия также облагаются косвенными налогами, вычисляемыми сверх цены предприятия – налогом на добавленную стоимость (НДС), создаваемую в процессе производства товарной продукции, и таможенными пошлинами, взимаемыми с товарной продукции, вывозимой за пределы Российской Федерации.

Контрольные вопросы к теме 1

1. Что является целью разведки? Какие задачи решает разведка?
2. С какими областями знаний и смежных дисциплин разведка связана?
3. С какими именами известных и выдающихся российских ученых следует связывать становление учения о разведке месторождений?
4. Кто из российских и зарубежных ученых внес значимый вклад в разработку проблем количественной обработки геологической информации (геолого-математического моделирования)?
5. В чем заключаются основные положения законодатедьства РФ о недрах?
6. В каких целях могут быть использованы недра в РФ?
7. Как осуществляется предоставление недр в пользование?
8. Что такое горный и геологический отводы? Чем они различаются?
9. Какие типы договорных отношений установлены между государством и недропользователем?
10. Как осуществляется контроль за пользованием недрами?
11. Какая система платежей установлена за недропользование?

Тема 2
Геологические основы разведки

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ ЗНАЧИМОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минеральные скопления в земной коре приобретают статус месторождения по результатам их разведки и при условии обоснования экономической целесообразности промышленного освоения. Основным критерием для промышленного освоения месторождения является размер прибыли, которую предприниматель собирается получить за весь период его эксплуатации.

На экономику промышленного освоения месторождения оказывает влияние совокупность факторов: количество запасов в месторождении (их масштаб), качество минерального сырья, технологические свойства, горно-геологические условия эксплуатации, географо-экономические условия района нахождения месторождения, экологические условия эксплуатации и др. (Каждан, 1977, 1984; Ясковский, 2001, 2010; Шевелев, 2004; Поротов,2004).

Количество запасов в месторождении определяется величиной запасов, оцененных по результатам геологоразведочных работ. Достоверность подсчитанных запасов зависит от степени их изученности (разведанности).

Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в единицах массы (тонн); сыпучих полезных ископаемых (песков, гравия), строительного и облицовочного камня – в единицах объема (кубические метры). Запасы золота измеряются в килограммах, тоннах, а в некоторых зарубежных странах используют тройную унцию (31,103 грамма). Запасы алмазов и драгоценных камней измеряют в каратах (0,200 грамма).

Запасы полезного ископаемого, ценность которого определяется содержанием химического элемента (оксида) или минерала (алмаз, слюда, асбест и др.), оцениваются с определением количества руды и количества металла (минерала). В России запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются в недрах, а запасы нефти и газа оцениваются как извлекаемые, так и в недрах.

По величине запасов различают месторождения *уникальные* (их в мире единицы), *крупные* (их десятки), *средние* (их сотни) и *мелкие* (их тысячи). На базе уникальных месторождений создаются ведущие горнодобывающие предприятия. Они во многом определяют состояние минерально-сырьевой базы и сырьевого рынка страны, мира. Крупные месторождения определяют экономику отрасли или крупного региона страны. Средние месторождения имеют значение в пределах отдельных экономических районов, а мелкие – в отдельных случаях. Для каждого вида полезного ископаемого наблюдаются значительные (в десятки раз) изменения запасов при переходе от мелких месторождений к крупным и очень крупным, что обусловлено разнообразием геологических условий образования руд (табл….).

Следует отметить, что отраженные в таблице размеры запасов не являются общепризнанными. В литературных источниках приведены и другие цифры градации запасов, определяющие масштаб оцениваемых объектов. В. И. Краснико (1965) подметил

закономерность, получившую в литературе название «декадной». В 7 % месторождений сосредоточено ~ 65 % запасов, а запасы мелких, средних, крупных и уникальных месторождений отличаются друг от друга примерно на порядок. Мелкие месторождения встречаются часто, а очень крупные редко. Основные запасы сосредоточены в крупных и очень крупных месторождениях. Обобщение данных по России за 1994-1997 гг. свидетельствует, что среди девятнадцати видов полезных ископаемых общее количество мелких объектов составило 723, средних – 184, крупных – 107, очень крупных – 30 (Ясковский, 2001). Распределение суммарных запасов для коренных месторождений страны: на долю мелких объектов приходится 14 %, средних – 30 % и крупных 56 %.

От масштаба месторождений зависят ожидаемые показатели экономической эффективности вовлекаемых в эксплуатацию объектов. С учетом величины запасов можно определить ценность месторождения (потенциальную в недрах или товарную на сырьевом рынке). Полученные значения следует учитывать при определении инвестиционной привлекательности объектов. Другой расчетный экономический показатель – необходимый объем капитальных вложений. Чем больше запасы, тем больше затраты на строительство горнодобывающего предприятия. При этом появляется возможность определить производительность будущего рудника, срок его существования и ориентировочно подсчитать приведенные затраты на освоение месторождения.

Качество минерального сырья – это совокупность природных свойств, определяемых минеральным и химическим составом, структурными и текстурными особенностями сырья, технологическими и физическими свойствами. Высокое качество полезного ископаемого влияет на эффективность переработки руд, способствует улучшению готовой продукции. В геологоразведке и горной промышленности давно используются понятия – «богатые», «бедные», и «убогие» руды. С позиций оценки качества все твердые полезные ископаемые могут быть разделены на *три группы.* Ценность в них может представлять: химический элемент (или химическое соединение, чаще оксид); минерал, обладающий особыми свойствами; вся добываемая горная масса (Шевелев, 2004).

К *первой группе* относятся все руды металлов и горно-химическое сырье (фосфориты, бор, сера). Основным показателем качества сырья является содержание ценного компонента. Содержание оценивается в массовых процентах элемента (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, S, V, As) или оксидов (Cr_2O_3, TiO_2, WO_3, Nb_2O_3, BeO, Be_2O_3, P_2O_5).

В месторождениях комплексных руд (свинцово-цинковых, медно-молибденовых, медно-никелевых и др.) качество определяется с помощью условного содержания главного компонента. В расчетных формулах учитывается: содержание главного компонента, формирующего основную ценность руд; содержание второстепенных компонентов; переводные коэффициенты для перерасчета содержаний второстепенных компонентов в главный компонент.

Содержание в рудах благородных металлов (золота, серебра, платиноидов) из-за низких их концентраций выражается в граммах на тонну руды; в россыпных месторождениях – в г (мг) /$м^3$. Чем большее значение элемента в рудах, тем выше качество полезного ископаемого.

В зависимости от содержания основного ценного компонента руды подразделяются на богатые, рядовые и бедные. Для разных полезных ископаемых конкретные сорта руд отличаются друг от друга (табл.).

При исследовании уровня концентраций полезных компонентов в объеме рудных тел может быть задействован *коэффициент богатства* – отношение среднего содержания к минимально промышленному (Бирюков, Денисов, 1978). Богатыми считаются руды, в которых содержание полезного компонента в 1,5-3,5 раза выше, чем минимальное промышленное; к бедным – менее 1,1-1,2. Какое значение при разведке имеет оконтуривание богатых руд? Во-первых, богатые и очень богатые руды используются при получении концентратов или в металлургии без предварительного обогащения. Во-вторых, высокое качество руд нередко отмечается в локальных участках месторождения. Эти участки называют рудными столбами, кустами, гнездами, карманами, бонанцами (для месторождений золота и серебра). На стадии разведки локальные участки должны быть оконтурены, а подсчет запасов выполнен без ограничения выявленных «ураганных проб».

Ко *второй группе* относятся алмазы, пьезооптическое сырье, слюда, тальк, асбест и др. Качество сырья регламентируется уровнем содержания ценного минерала, размерностью и особенностями кристаллосырья: для асбеста – прочность, гибкость, длина волокна, кислоторастворимость; для слюд – размер пластинок, их ровность, термостойкость; для пьезооптического сырья – масса кристалла, размер бездефектной области моноблока, выход моноблока, степень проявленности дефектов (газово-жидкие включения, трещины, двойники и др.); для алмаза – масса, форма, характер поверхности, цвет, дефектность, наличие сростков (Ясковский, 2001).

К *третьей группе* относятся стройматериалы, твердое топливо, керамическое сырье, огнеупоры, тальк, пирофиллит, минеральные пигменты, цеолиты, бокситы и хромиты. Качество сырья оценивается соответствием его определенных свойств требованиям технических условий (ТУ), отраслевых стандартов (ОСТ), государственных стандартов (ГОСТ) и соглашений с потребителями (Шевелев, 2004). Иногда требуется подразделение сырья на ряд сортов и марок. С учетом целевого использования оцениваемое полезное ископаемое должно удовлетворять конкретным сортовым требованиям.

Итак, количество и качество минерального сырья являются важнейшими факторами оценки разведуемых объектов. Они являются определяющими показателями при геолого-экономической оценке месторождений.

Технологические свойства сырья определяют возможность и экономическую целесообразность переработки минерального сырья с целью получения товарного продукта. Основными показателями, определяющими технологические свойства руд, являются: величина извлечения полезного компонента, содержание полезного компонента в концентрате, выход концентрата.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных ископаемых и вредных примесей первостепенное значение имеют (Каждан, 1977; Шевелев, 2004):

- минеральный состав полезного ископаемого и разубоживающей руды горной массы; распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам;

- форма и размеры полезных минералов, характер их срастаний, текстуры и структуры минеральных агрегатов;
- физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельная плотность;
- химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Технологические исследования, проводимые в процессе разведки, должны установить возможность извлечения ценных компонентов из руд и обеспечить выбор схемы передела руд, которая может быть использована в промышленных условиях с приемлемыми технико-экономическими показателями. Наличие в сырье попутных компонентов повышает экономическую значимость сырья. Однако ценность попутного компонента всегда следует соотносить с дополнительными расходами на его выделение и учитывать возможность реализации дополнительной продукции.

Рассмотрим примеры, раскрывающие технологические свойства руд и их влияние на переработку минерального сырья (Ясковский, 2001).

Минеральный состав руд определяется присутствием полезных и породообразующих минералов, их количественными соотношениями, формами нахождения, характером парагенетических ассоциаций. Проблемы возникают, когда для выделения основных минералов приходится использовать разные обогатительные процессы. Например: для руд олова основными минералами являются касситерит, станнин, варламовит, гидростаннаты. Эффективно по гравитационной схеме обогащаются касситеритовые руды (плотность 7,0 г/см^3). Другие типы руд с минералами олова (плотность 3,8-4,7 г/см^3) относятся к группе труднообогатимых. Они требуют кроме гравитационного обогащения и других методов: флотации, магнитного и электрического обогащения, пирометаллургии.

Минеральный состав оказывает большое влияние на эффективность флотационного процесса. Хорошо обогащаются сульфиды Pb, Zn, Cu, Mo и плохо – их окисленные формы. Для молибденовых руд основным гипогенным минералом является молибденит – MoS_2, обладающий природными гидрофобными свойствами; но окисленные руды, представленные повеллитом – $CaMoO_4$, ферримолибдитом – $Fe_2O_3{\cdot}3MoO_3{\cdot}8H_2O$ и др., обогащаются с трудом. При этом получаются концентраты невысокого качества из-за легкой шламуемости гипергенных молибденовых минералов в процессе измельчения руды, близости флотационных свойств молибденовых и породообразующих минералов.

Химический состав руд определяется наличием полезных, вредных, петрогенных элементов (оксидов), их содержанием и соотношением, присутствием особенно химически активных форм. Для ряда месторождений схемы и показатели обогащения определяются содержанием элементов и их соотношением. Например, при переработке бокситовых руд для получения глинозема важнейшим является гидрохимический метод Байера. Его использование эффективно для высококачественных руд с кремниевым модулем $M_{si} = Al_2O_3 / SiO_2$ более 5-7. При низком значении M_{si} (высоком содержании SiO_2) руды перерабатываются по более дорогостоящей технологии методом спекания.

При добыче урана методом подземного выщелачивания используют в качестве растворителя кислоты (H_2SO_4). Чем больше карбонатность среды, тем значительней расход

кислоты, сильнее проявляется явление кальматации, тем меньше извлечение урана в продуктивные растворы. Поэтому при существенной карбонатности пород (более 2,0-2,5 % CO_2) извлечение урана с помощью кислоты неэффективно. Нужно переходить на другие схемы.

При характеристике технологических свойств минерального сырья необходим учет *текстурных особенностей руд.* Эти особенности обусловлены размером, формой и характером срастаний минеральных агрегатов. По признаку влияния текстур на процессы переработки минерального сырья их можно подразделить на благоприятные и неблагоприятные. *Благоприятные текстуры* характеризуются крупными размерами скоплений, однородным строением, простыми границами между агрегатами. Для таких руд наиболее эффективны процессы рудоподготовки. Обогащение не вызывает больших затруднений и позволяет получать высококачественные концентраты. *Неблагоприятные для обогащения текстуры* имеют небольшие размеры минеральных скоплений, неоднородное строение агрегатов, сложные и постепенно изменяющиеся границы между ними. Подобные руды требуют сложных, многостадийных процессов рудоподготовки и обогащения.

При изучении технологических свойств полезного ископаемого возможно выделение природных и технологических типов руд. В результате специальных исследований анализируется пространственное распределение этих типов, их геометризация в рамках *геолого-технологического картирования.*

Горно-геологические условия эксплуатации определяют возможность и экономическую целесообразность отработки месторождения с учетом современного состояния горной техники. Каждый выбранный способ разработки месторождения предъявляет свои требования к условиям залегания полезного ископаемого, крепости и устойчивости пород и руд, гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям месторождения.

Среди *способов разработки* месторождений выделяют геотехнологии (Ясковский, 2001): физико-техническая открытая, физико-техническая подземная, физико-химическая скважинная, комбинированная. В процессе эксплуатационных работ из-за неоднородности горно-геологической среды (извилистость границ рудного поля, прерывистости внутреннего строения, изменчивости свойств вмещающих пород) возникают эффекты разубоживания и потерь.

Разубоживание связано с примешиванием пустых пород к извлекаемой рудной массе. В результате засорения среднее содержание в добываемой рудной массе становится ниже, чем содержание в балансовых запасах. Отмеченный процесс характеризуется коэффициентом разубоживания: $Р = (С_н-С_д) / С_н \cdot 100$ %, где $С_н$ – содержание полезного компонента в балансовых рудах, $С_д$ – содержание в добытой рудной массе.

Потери возникают в процессе разработки месторождения потому, что извлечь полезное ископаемое удается не полностью. Часть запасов остается за контуром отработки. Величина потерь оценивается коэффициентом разубоживания: $П = (З_т-З_д) / 100$ %, где $З_т$ – запасы теряемые, $З_д$ – запасы добытые.

Каждый способ разработки имеет достоинства и недостатки. По данным П. П. Ясковского к ним относятся:

- открытая геотехнология – высокая производительность, но небольшие глубины отработки и существенный экономический ущерб;
- подземная геотехнология – отработка на больших глубинах, но значительные потери полезного ископаемого в недрах и тяжелые условия труда;
- скважинная геотехнология – возможность извлечения полезных компонентов в сложных горно-геологических условиях, но необходимы особые предпосылки для создания подвижных флюидов.

Достоинства и недостатки разных способов разработки тесно связаны с определенными горнотехническими условиями. К ним относятся:

а) *Глубина залегания* – один из важнейших горнотехнических показателей, определяющих способ добычи.

При малой глубине залегания применяется открытый способ добычи. Он позволяет развить большую производительность, обеспечить высокую эффективность, низкую себестоимость и более безопасные условия ведения горных работ. Экономическая эффективность добычи определяется коэффициентом вскрыши – отношением объемов (или масс) вскрыши и полезного ископаемого. Предельный коэффициент вскрыши и, соответственно, предельная глубина открытой разработки находится технико-экономическими расчетами. Максимально допустимый коэффициент вскрыши зависит от ценности полезного ископаемого и ориентировочно составляет: для строительных материалов 3 $м^3/м^3$, для углей 6 $м^3/м^3$, для черных металлов 10 $м^3/м^3$, для цветных металлов до 40 $м^3/м^3$. Глубина карьеров открытой добычи не превышает 500 м, но есть проекты глубиной до 700-800 м.

При глубоком залегании полезного ископаемого применяется подземный (шахтный) способ добычи. Он менее производительный и более дорогой по сравнению с открытым способом. Глубина работ колеблется от десятков метров до первых километров. К глубоким относятся шахты, отрабатывающие рудные тела на отметках от 600 (700) до 1000 (1200) м, к весьма глубоким – с глубиной от 1000 (1200) до 2500 м. С глубины 2500 м начинаются сверхглубокие шахты. Они достигнуты при эксплуатации золоторудных месторождений: Морроу-Велью (Бразилия, более 2500 м), Колар (Индия, более 3300 м), Витватерсранд (ЮАР, около 4000 м).

При проходке подземных горных выработок с глубиной увеличивается горное давление (в среднем 2,5 МПа на 100 м) и температура (в среднем 3 ^{0}С на 100 м). При подземной геотехнологии горное давление может проявляться в виде сдвижения, пучения. стреляния пород вплоть до горных ударов. С целью предотвращения горных ударов применяются специальные технологии выемки массива горных пород.

Условия залегания во многом определяют систему разработки месторождений (в первую очередь, подземной). По значению угла падения различают залегания горизонтальные и весьма пологие (0-5^0), пологие (5-25^0), наклонные (25-45^0), весьма крутые (60-90^0). Имеет значение и выдержанность угла падения в пределах блоков добычи

руды. Если угол падения устойчивый, то независимо от его значения ($0\text{-}90^0$) залежь считается выдержанной.

Высокая степень тектонической нарушенности усложняет ведение горных работ. Наибольшие неприятности доставляют малоамплитудные разрывные нарушения, которые не удается надежно выявлять в процессе разведки. Они приводят к повышению потерь и разубоживания руды при добыче, служат причиной неустойчивости и обрушения кровли, прорывов воды и т. д.

Более надежно при разведке выявляются крупные разрывные нарушения с амплитудой в десятки-сотни метров. Они служат естественными границами шахтных полей, участков, блоков добычи.

Мощность залежей является параметром, определяющим технологию добычи. В горном деле выделяются пять классов залежей: 1) тонкие 1,0-1,5 м; 2) средние от 1,0-1,5 до 3-4 м; 3) мощные от 3-4 до 8-10 м; 4) весьма мощные 10-50 м; 5) сверхмощные более 50 м. При изменении класса мощности возможно изменение системы разработки. Поэтому при разведке необходимо выделение геологически однородных блоков (ГОБов), которые заслуживают применения единой технологии добычи. ГОБы при этом приобретают статус технологически однородных блоков (ТОБов).

Кондиционным требованием, предъявляемым к залежам полезных ископаемых, является минимальная промышленная мощность. Она представляет собой минимальную мощность тела полезного ископаемого, при которой его разработка экономически выгодна. Выше этого значения мощность считается рабочей (или кондиционной), ниже – нерабочей (некондиционной). Так как мощность залежей меняется в пространстве, то внутри них могут появляться некондиционные участки или блоки, создавая прерывистость оруденения.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия играют существенную роль при проектировании и ведении горных работ (Поротов, 2004).

Физические свойства (скальные или слабосвязанные грунты), трещиноватость, расслоенность, наличие зон дробления, проявленная анизотропия свойств определяют устойчивость горных пород и руд при добыче сырья, а также размеры эксплуатационных блоков, значение углов откоса бортов карьера и т. д.

Обводненность месторождения определяется насыщенностью горных пород и руд подземными водами и зависит от совокупности факторов. К гидрогеологическим факторам относятся: количество водоносных горизонтов, условия их питания, фильтрационные свойства пород, оценка возможного водопритока в эксплуатационные выработки, состав и агрессивность подземных вод.

Инженерно-геологические факторы включают: проницаемость, набухаемость, размокаемость, коэффициент размягчения и др.

На месторождениях, где развиты карстовые процессы, существенную роль играют глубина и интенсивность развития карста. Выявляются зоны обводнения и поглощения воды, рассматривается возможность обрушения горных пород в зоны карста.

По результатам выполненных исследований должен быть сделан прогноз *экологических последствий* ведения горных работ, решен вопрос о необходимости и объеме природоохранных мероприятий.

Необходимо учитывать, что при ведении горных работ значительную площадь занимают отвалы или отходы горного предприятия. При необходимости следует предусматривать комплекс работ по укреплению отвалов, их рекультивации, очистке рудничных вод от вредных примесей и создании водохранилищ для их накопления. Должны быть оценены последствия осушения окружающей территории вследствие понижения уровня подземных вод.

ФОРМЫ РУДНЫХ ТЕЛ

Форма рудных тел является одним из ведущих факторов, определяющих методику проектируемых разведочных работ.

По своей сути, форма рудных тел определяется соотношением трех параметров: длины по простиранию, длины по падению и мощности.

Обозначим длину по простиранию Дпр, длину по падению Дпад, мощность М. Тогда формы рудных тел при всем своем многообразии могут быть сведены к трем основным группам (рис. 6).

1. *Изометричные*, Дпр ≈ Дпад ≈ М. В эту группу относятся штоки и гнезда.

Штоки – рудные тела средних и мелких размеров, по форме близкие к цилиндру: изометричные или эллипсовидные в плане и столбообразные в разрезе.

Гнезда – небольшие изометричные тела, характерные для камнесамоцветного сырья, редких и благородных металлов.

2. *Плоские*, Дпр ≈ Дпад >> М. К плоским, или плитообразным телам относятся, в первую очередь, пласты и жилы.

Пласты – это согласные плитообразные тела. Залегают согласно, то есть параллельно вмещающим породам. Пласт соответствует осадочному слою. Выделяются также *пластообразные залежи,* которые отличаются от пластов меньшими размерами, а также меньшей выдержанностью.

Жилы – секущие плитообразные тела. Их границы пересекают контакты вмещающих пород. Жилы, как и магматические дайки, –тела выполнения трещин. Жилы могут быть простыми, а также сложными, ветвящимися и т. п.

3. *Линейные*, Дпр >> Дпад ≈ М или Дпад >> Дпр ≈ М. Эта группа объединяет рудные тела, вытянутые в одном направлении. Если преобладающим размером является длина по простиранию, образуются *рудные ленты*, типичные для речных (аллювиальных) россыпей. Если наибольший размер отвечает длине по падению, то рудные тела имеют столбообразную или трубообразную форму. *Рудные столбы и трубы* приурочены обычно к пересечениям разломов или к вулканическим жерлам.

Широким распространением для обозначения формы рудных тел пользуются в геологии термины «штокверк» и «линза».

Штокверк представляет собой минерализованный объем горных пород. Обычно это массивы магматических пород или их части, насыщенные многочисленными разноориентированными прожилками и вкрапленностью рудных минералов. Такие рудные тела не имеют естественных природных границ и оконтуриваются по данным опробования. Обычно штокверки имеют форму, близкую к изометричной. Однако нередко

минерализованные зоны штокверкового типа, приуроченные к разрывным нарушениям (*линейный штокверк*; тогда их форма будет плоской или линейной.

Термин «*линза*» также не имеет однозначного морфологического содержания. Короткую и толстую линзу можно отождествить с гнездом. Плоские линзы соответствуют плоским рудным телам: согласным, если линза расположена параллельно контактам вмещающих пород, и секущим, если линза залегает косо. Наконец, линзы могут вытягиваться в одном направлении, образуя линейные рудные тела.

Кроме того, нередко встречаются рудные тела сложной, или комбинированной формы. Обычно они представляют собой сочетания или комбинации тел, принадлежащих к разным группам. Наиболее распространены крестообразные, грибообразные, седловидные и пр.

ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО СЛОЖНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАЗВЕДКИ

Установление принадлежности изучаемого месторождения к конкретному промышленному типу способствует выбору системы его разведки. Уже на стадии оценочных работ эта задача должна решаться. В то же время месторождения одного и того же промышленного типа нередко характеризуются разными размерами, формой рудных тел, разной сложностью внутреннего строения (минеральным составом, текстурно-структурными особенностями, типами и сортами руд, содержанием полезных и вредных компонентов). Для обоснования системы разведки, технических средств и методических приемов большое значение приобретает *группировка месторождений* по сложности геологического строения для целей разведки, учитывающая накопленный опыт их разведки и разработки (Комплексная …, 1990).

Впервые на необходимость группировки месторождений полезных ископаемых по сложности строения в зависимости от вычисленных значений коэффициентов вариации мощности и содержания полезных компонентов указано в работах В. М. Крейтера, Д. А. Зенкова, Н. В. Барышева, В. И. Красникова и др. В обобщенном виде группировка была предложена В. М. Крейтером в 1940 г. Все месторождения, исходя из учета формы и размеров рудных тел, разделены на пять групп (Крейтер, 1961): 1) пластовые и пластообразные тела, занимающие стратиграфический горизонт (или к нему приуроченные), и россыпи; 2) очень крупные залежи, неправильные тела и минерализованные массивы штокверкового и гнездового распределения, залегающие в разных крепких породах; 3) жило- и линзообразные тела в разных породах; 4) трубчатые и ветвящиеся залежи небольшого масштаба; 5) мелкие гнезда, штокверки, линзы, карманы и трубки в разных породах.

Разработанные В. М. Крейтером принципы группировки месторождений по факторам, определяющим методику их разведки, были положены в основу большинства последующих группировок и учитывались во всех поколениях инструкций ГКЗ СССР по применению классификации запасов. Они нашли отражение и в последнем опубликованном варианте группировок месторождений различных полезных ископаемых для целей разведки (Методические рекомендации…, 2007).

Многими авторами отмечалось, что принятые группировки базируются на качественных признаках, исходя из опыта разведки и разработки объектов. Например, геологическое строение простое, сложное, очень сложное; распределение полезных компонентов равномерное, неравномерное, крайне неравномерное. Поэтому установление группы сложности месторождения, основанное только на качественных критериях, во многих случаях оказывается спорным.

Группировку месторождений (или отдельных тел) полезных ископаемых по сложности геологического строения, основывающуюся на исследовании изменчивости их основных свойств, предложили В. И. Бирюков и М. Н. Денисов (1985). При этом рекомендуется использовать количественные показатели (табл.). Подобный подход отражен в последних вариантах группировки месторождений, предлагаемых ГКЗ в подготовленных Методических рекомендациях (2007). Так, при группировке месторождений железных руд рекомендуется использовать количественные характеристики основных свойств оруденения (табл.). Однако следует отметить, что значения таблиц характеризуют наибольшую степень разведанности месторождения или их частей перед началом эксплуатации. С уменьшением детальности изучения числовые значения признаков могут изменяться: q уменьшается с уменьшением числа наблюдений на прерывистых объектах; K_ρ и V меняются непредсказуемо: то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения. В этом проявляется слабость классификационных числовых признаков. Совершенствование подобных группировок должно основываться на учете особенностей отдельных видов минерального сырья; внедрении геофизических методов исследований, учитывающих контрастность физических свойств рудных тел и вмещающих пород (Шевелев, 2004). Помимо этого, разрабатываемые группировки месторождений должны способствовать рациональному проведению всего геологоразведочного процесса – от проектирования работ до их завершения. Первый тип группировок – морфологический, его следует использовать при проектировании и производстве ранних стадий разведочного процесса. Второй тип, содержащийся в Методических рекомендациях ГКЗ, позволяет относить объект к определенной группе и определять необходимое соотношение разных категорий подсчитываемых запасов с учетом критерия предпринимательского риска.

На практике используется группировка месторождений по сложности геологического строения, предусмотренная Классификацией запасов…(2007). Согласно этому документу необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности геологического строения месторождений. По данному признаку месторождения подразделяются на следующие группы.

1-я группа. Месторождения (участки недр) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабо нарушенным залеганием. Характеризуются устойчивой мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *A, B,* C_1 и C_2. Примеры месторождений:

Джезказганское и Коунрадское меднорудные; Талнахское медно-никелевое; Никопольское и Чиатурское марганцевых руд; Лисаковское и Аятское железорудные и др.

2-я группа. Месторождения (участки недр) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко 2-ой группе также относятся месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными горно-геологическими условиями разработки. В процессе разведки возможно выделение запасов категорий *B, C_1* и C_2. Примеры месторождений: Гайское, Сибайское, Учалинское меднорудные; Кальинское и Черемуховское бокситов; Гусевогорское и Качканарское титано-магнетитовых руд и др.

3-я группа. Месторождения (участки недр) очень сложного строения со средними и мелкими по размерам телами полезного ископаемого с интенсивно нарушенным залеганием, изменчивыми мощностью и внутренним строением, невыдержанным качеством и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются по категориям C_1 и C_2. Примеры месторождений: Красногвардейское, Октябрьское, Тарньерское медных руд; Мугайское, Аятское бокситов; Садовское, Рубцовское свинцово-цинковых руд; Удерейское сурьмяное; большинство золоторудных месторождений.

4-я группа. Месторождения (участки недр) с мелкими, средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием и резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого, прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы разведуются преимущественно по категории C_2. Примеры: месторождения пьезооптического кварца, оптического кальцита; камнесамоцветного сырья; Ховуаксинское кобальтовое; Актайское ртутное; Шахтаминское молибденовых руд, Чорух-Дайронское вольфрамовых руд и др.

Согласно утвержденной Классификации (2007) регламентированное соотношение запасов разных категорий на разведанных месторождениях полезных ископаемых в настоящее время не требуется: это соотношение определяет владелец лицензий самостоятельно с учетом планируемого предпринимательского риска.

По степени изученности месторождения подразделяются на разведанные и оцененные.

К разведанным относятся месторождения (участки недр), запасы которых, качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования их вовлечения в промышленное освоение в установленном порядке. Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;
- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, достаточной для проектирования

рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов (имеющих промышленное значение) и определения направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;

- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (породы вскрыши, подземные воды, отнесенные на основании кондиций к балансовым), изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;
- гидрогеологические и инженерно-геологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности горных работ;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве и количестве запасов подтверждены на представительных для месторождения участках детализации;
- подсчетные параметры кондиций установлены на основании ТЭР, позволяющих определить масштаб и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности;
- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду; даны рекомендации по снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий.

К оцененным относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки. По степени изученности они должны удовлетворять следующим требованиям:
- обеспечивается возможность квалификации всех или большей части запасов по категории C_2;
- вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого оценены с полнотой, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное использование полезного ископаемого;
- гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждена на участках детализации; подсчетные параметры кондиций установлены на основании укрупненных ТЭР или приняты по аналогии с месторождениями, находящимися в сходных горно-геологических условиях;
- оценено возможное влияние отработки месторождения на окружающую среду.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ НЕДР, ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗУЧЕНИЯ

Исследование неоднородности скоплений полезных ископаемых

При изучении минерализованных участков недр как объектов разведки используется *концепция относительной элементарности.* В соответствие с этой концепцией объект исследования рассматривается в качестве сложной системы, состоящей из множества условно неделимых элементов и объединенных между собой совокупностью условно неделимых связей (Каждан, 1979). Выяснение взаимосвязи и пространственных взаимоотношений элементов неоднородности системы обеспечивает понимание ее структуры.

В изучаемой системе каждый элемент представляет условно неделимую структурную единицу. Однако абсолютно неделимых структурных элементов в действительности нет. Концепция относительной элементарности приводит к представлению о строении материального мира, в том числе, геологических объектов, как об иерархии структурных уровней материи с наличием множества дискретных, условно неделимых структурных единиц в пределах каждого из них.

При детализации наблюдений выявляется неоднородность ранее выделенных условно неделимых структурных элементов и появляется возможность расчленения их на более мелкие единицы. Они характеризуют неоднородность изучаемого объекта уже на более детальном структурном уровне.

При решении геологоразведочных проблем задача сводится к изучению неоднородности природных скоплений полезных ископаемых, их структуры и анизотропии строения как основы для выяснения *изменчивости важнейших свойств полезного ископаемого в недрах.* Познание изменчивости геологических, технологических и горнотехнических свойств определяет обоснование методики разведочных работ, влияет на их последовательность, геолого-экономическую оценку месторождений, эффективность технологии разработки и переработки минерального сырья.

А. Б. Каждан (1974) предлагает при изучении рудоносных территорий выделять шесть последовательных структурных уровней строения минерализованных недр:
- минерализованной зоны (толщи);
- тела полезного ископаемого;
- морфологически обособленного участка тела полезного ископаемого;
- локального обособления участка тела полезного ископаемого (рудного гнезда);
- минерального агрегата;
- минерального зерна или кристалла полезного минерала.

На рис. 7 показана модель одного из флюоритовых месторождений, где отражены разные природно-структурные уровни проявленной минерализации (Каждан, 1977).

Позднее при рассмотрении вопроса о *системном подходе к изучению недр* А. Б. Каждан (1984) предложил задействовать в практике прогнозно-металлогенических исследований развернутую иерархию структурных уровней минерализованных участков недр, включающую большее количество структурно-однородных единиц (от региональных к локальным). Эта систематика призвана обеспечить возможность создания геологических моделей развития рудообразующих процессов при любых масштабах исследования территорий. Выделены следующие уровни строения:
- металлогеническая провинция;

- металлогеническая область;
- рудный район;
- рудный узел;
- рудное поле;
- месторождение полезного ископаемого;
- продуктивная (минерализованная) зона (толща) полезного ископаемого;
- продуктивная залежь (тело) полезного ископаемого;
- морфологически обособленный участок (блок) залежи полезного ископаемого;
- локальное скопление полезного ископаемого (объем селекции или добычи);
- минеральный агрегат, состоящий из зерен полезного минерала;
- зерно, кристалл или обломок полезного минерала.

Отмечено, что количество выделяемых в процессе разведки последовательных уровней может быть изменено в зависимости от целей и задач исследований и от совокупности изучаемых свойств полезного ископаемого.

При обосновании шага опробования, размеров отбираемых проб и расстояний между пунктами наблюдений определяющее значение приобретает исследование соотношений линейных элементов неоднородности (Каждан, 1977; Четвериков, 1984; Шевелев, 2004). Смысл этого утверждения заключается в том, что строение одного и того же природного скопления полезного ископаемого может быть оценено как *однородное* при достаточно больших размерах проб и как *неоднородное* при размерах проб, уменьшенных до определенного предела (рис. 8). При изучении штокверка «длинными» пробами строение штокверка представляется как однородное. Если же уменьшить длину пробы, то строение штокверка следует признать неоднородным.

Учитывая соотношение размеров элементов неоднородности и линейных размеров проб предлагается выделять *три типа неоднородности:*
- неоднородность высшего порядка – линейные размеры элементов неоднородности во много раз меньше линейных размеров проб, а общее их число в каждой пробе очень велико;
- эффективную неоднородность – линейные размеры элементов неоднородности примерно на порядок меньше линейных размеров проб, а их число в объеме пробы сравнительно невелико (последние десятки – первые сотни);
- неоднородность низкого порядка – линейные размеры элементов неоднородности превосходят размеры проб.

Изменчивость свойств полезных ископаемых

Неоднородность природных скоплений полезных ископаемых проявляется в *изменчивости их свойств.* Под изменчивостью понимается непостоянство значений признаков в разных точках пространства. На основе количественных характеристик изменчивости свойств полезных ископаемых решаются основные методические вопросы поисков, разведки, опробования и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых (Каждан, 1977, 1984). Если бы изменчивость себя не проявляла, то одно единственное наблюдение в любой точке (например, разведочное пересечение) давало бы полное и точное представление обо всем изученном объекте.

При дискретной сети наблюдений геологическая неоднородность низшего порядка проявляется как случайная, так и как неслучайная пространственная изменчивость изучаемого свойства, но чаще всего – как сумма обеих составляющих изменчивости.

Для *случайной изменчивости* характерна независимость друг от друга значений признака, наблюдаемого в разных точках залежи (в том числе и смежных). Они не зависят от расстояния между пунктами наблюдений и имеют по всем направлениям характер случайных беспорядочных колебаний (рис. 9 б). Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована методами вариационной статистики случайных величин.

Под неслучайной изменчивостью (закономерной) понимают характеристику закономерностей пространственного размещения изучаемого свойства в некотором объеме недр. Определяющим свойством неслучайной изменчивости является наличие плавных колебаний значений признаки и постоянство знака приращения на протяжении изучаемого отрезка недр. Поскольку закономерная изменчивость связана с пространственным положением пунктов наблюдения, то её называют *координированной* (рис. 9а).

В реальных условиях всегда наблюдается сочетание случайной и закономерной изменчивости в разных пропорциях. В зависимости от их сочетаний предложено выделять три градации изменчивости (Поротов, 2004): простая – преобладает закономерная изменчивость на фоне случайных колебаний; сложная – закономерная и случайная изменчивость присутствуют приблизительно в равных отношениях; весьма сложная – преобладает случайная изменчивость, а закономерная составляющая проявлена лишь в виде тенденции. Составляющая случайной изменчивости оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок. Однако в практике разведки в первую очередь геологов интересует пространственная изменчивость важнейших свойств, которая может быть выражена только ее неслучайной составляющей. Неслучайная изменчивость позволяет оценить характер *анизотропии свойств* полезного ископаемого и выдержанность его строения по разным направлениям в пространстве. Направление, по которому устанавливается максимальная или минимальная скорость изменения изучаемых свойств, носит название *оси анизотропии.*

Анизотропия проявляется в результате упорядоченности пространственного размещения геолого-структурных элементов – зерен, минералов, минеральных агрегатов, располагающихся по слоистости, сланцеватости, зон трещиноватости и т. д. Характеристика анизотропии служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

Мерой анизотропии I служит отношение среднего числа n элементов неоднородности, пересекаемых линиями, проведенными в заданном направлении, к длинам этих линий l в пределах изучаемого объема полезного ископаемого: $I = n / l$ (Каждан, 1984). Наиболее широко распространены скопления полезных ископаемых, имеющих три взаимно ортогональных направления анизотропии: жилы, россыпи, многие пластовые и пластообразные тела и залежи. В них направление максимальной изменчивости свойств совпадает с направлением мощности, а направление минимальной изменчивости – с их

вытянутостью. Промежуточное по значению направление изменчивости совпадает с шириной залежей.

Реже встречаются трубообразные и изометричные линзообразные скопления полезных ископаемых, имеющих два направления анизотропии. В них выделяется круговое сечение, перпендикулярное к длинной или к короткой оси. В плоскости кругового сечения изучаемые свойства близки к изотропным. Второе направление анизотропии совпадает с направлением оси.

Примерами изотропных скоплений полезных ископаемых являются изометрические штокверки цветных и редких металлов.

Таким образом, анизотропия и неоднородность строения природных объектов тесно взаимосвязаны и представляют собой разные формы проявления структуры изучаемых геологических образований. В то же время анизотропия любого порядка может быть выявлена в том случае, если совокупность элементов, создающих анизотропию, укладывается в размеры пробы. Большое значение имеет также учет пространственного расположения пунктов наблюдений. Чем выше природная неоднородность строения и изменчивость полезных ископаемых, тем более локальной должна быть система наблюдений при их разведке и более значительными размеры или объем отбираемых проб.

Природная изменчивость свойств полезных ископаемых представляет явление сложного и многопланового характера. Задача полного количественного описания ее практически не выполнима. Поэтому следует отличать понятие *природной изменчивости* свойств полезных ископаемых от понятия их *наблюдаемой изменчивости* по результатам геологоразведочных работ (Каждан, 1984).

Завершая обзор подходов к изучению изменчивости, приведем высказывание (Шевелев, 2004): «Как бы детально и технически качественно не производилась разведка, создаваемая на ее основе эмпирическая модель разведуемых объектов недр, является приближенным отражением действительности. Если методика разведки выбрана несоответствующей особенностям разведуемого объекта, то никакими формальными приемами и способами последующего анализа и обработки (включая применение математики и ЭВМ) нельзя исправить или уменьшить возникающие ошибки».

Способы изучения изменчивости

Способы анализа выявленной изменчивости разнообразны. Их условно можно объединить в две группы – геологические и математические. В основе каждой группы лежит выбранный тип моделей, используемых для отображения изменчивости параметров объекта.

Геологические способы.

Для отражения геологических представлений изучаемых объектов и наблюдаемых признаков используют разные виды графических (геометрических) моделей (Каждан, 1974, 1984; Поротов, 2004). Эти модели являются плоскостными графическими материалами или объемно-макетными (скульптурного, рельефного, скелетного и др. типов). Примерами плоскостных моделей являются планы в изолиниях (мощности, содержаний, метропроцентов и др.), гипсометрические и погоризонтальные планы, разного вида графики по направлениям, проекции рудных скоплений на вертикальные или

горизонтальные плоскости и т. д. На графических материалах отображаются степень, характер и структура изменчивости параметров месторождения или их совокупность по определенным сочетаниям, площадям. Надежная геологическая обоснованность и наглядность моделей делают их незаменимыми при изучении и прогнозировании изменчивости геологических объектов. Они остаются ведущим способом обоснования системы разведки месторождений. Одной из разновидностей графических моделей являются блок-диаграммы, обеспечивающие наглядное пространственное представление о геологическом строении рудных полей, месторождений, участков (рис. 10).

Геологическое моделирование представляет сложную творческую задачу, допускающую порой несколько разных решений (Поротов, 2004). Причины этого – сложность геологических процессов, которые чаще всего остаются не познанными; дискретность сети наблюдений. Изученные объемы руд и горных пород малы по сравнению с объектами, на которые распространяются результаты наблюдений. Поэтому неизбежно возникают проблемы разработки более достоверных геологических моделей.

Графические модели обеспечивают лишь качественную оценку условий залегания, формы, строения природных скоплений полезных ископаемых и отражают упрощенное представление о характере и пространственной изменчивости свойств. Поэтому математическое обоснование геологических моделей, математический анализ изменчивости геолого-промышленных параметров выбранной модели становится необходимым. Приступить к математическому моделированию можно только создав удовлетворительную геологическую модель объекта. Геологическая модель должна отражать разделение объекта на блоки с разными типами изменчивости, тектонические смещения рудных тел, первичную и вторичную зональность и иные особенности. Игнорирование этих признаков объекта делает последующую математическую оценку изменчивости не корректной.

Математические способы

Математические методы, применяемые для изучения и прогноза изменчивости параметров геологических объектов, многочисленны и разнообразны. Задачей настоящего обзора является: дать общее представление об основных направлениях математического моделирования в рамках рассматриваемой проблемы; кратко охарактеризовать наиболее распространенные математические способы изучения изменчивости; указать области их применения и практическую значимость получаемых результатов (Поротов, 2004).

Вопросы математического моделирования широко освещены в многочисленных научных публикациях и учебной литературе. Эта информация отражена в учебниках и учебных пособиях (Каждан, 1974, 1984, 1990; Погребицкий и др., 1977; Поротов, 2004; Волков, 2006 др.). Более подробно проблемы изучения изменчивости параметров месторождений рассматриваются в специальных дисциплинах: «Математические методы моделирования в геологии», «Геометризация и анализ геологических полей», «Основы компьютерных технологий решения геологических задач».

Считается, что геологические объекты относятся к «плохо организованным природным системам». Они не поддаются точному количественному описанию и, как правило, взаимосвязь между их параметрами не может быть выражена строгими законами.

Приходится создавать модель, дающую лишь приближенное представление о строении объекта и протекавших в объеме залежей рудообразующих процессах. Чем более точные представления будут получены исследователями об изучаемом объекте, тем объективнее будет подобрана соответствующая его особенностям цифровая модель, более надежные и представительные результаты получены при анализе материалов.

На базе геологических моделей созданы разные математические модели. Кратко охарактеризуем лишь некоторых из них:

- статистическая модель;
- геостатистическая модель;
- модели на основе случайной функции;
- разностные модели;
- геометро-статистическая модель.

Статистические модели. Их использование целесообразно, если в наблюдаемой изменчивости признака практически отсутствует закономерная составляющая и, следовательно, геометризация признака в изучаемом объеме недр практически невозможна.

Применение одномерной статистической модели основано на предположении о независимости значений изучаемого признака. В общем случае можно лишь считать, что чем выше степень изменчивости признака, тем полученные результаты ближе к статистической совокупности. Опыт показывает, что формулы математической статистики дают достаточно достоверные результаты при изучении изменчивости месторождений золота, платины, алмазов, редких и отчасти цветных металлов, мусковита и др., но оказываются ненадежными при оценке изменчивости залежей многих осадочных полезных ископаемых.

В практике разведочных работ одномерные статистические модели используются, главным образом, для численной оценки степени изменчивости геолого-промышленных параметров тел полезных ископаемых и месторождений, а также оценки точности полученных результатов. Важнейшими характеристиками таких моделей являются среднее значение изучаемого параметра $x_{ср}$, дисперсия s^2, среднеквадратичное отклонение s и коэффициент вариации V.

Поскольку у реальных геологических объектов обычно проявлено сочетание случайной и закономерной составляющих изменчивости, статистические модели, считающие все изменения случайными, показывают завышенную оценку. Во избежание этого необходимо выделять и исключать закономерную составляющую и рассчитывать коэффициент вариации только по данным выделенной случайной составляющей изменчивости.

При разведке месторождений выборки чаще всего характеризуются небольшими объемами. Поэтому оценку среднего значения оцениваемого параметра можно рассматривать как случайную величину, не соответствующую математическому ожиданию. Последнее и представляет собой истинное среднее значение этого параметра для генеральной совокупности – геологического объекта в целом. Поэтому одной из решаемых задач является выбор лучшего способа вычисления этой оценки и определение степени ее точности.

Статистические оценки могут быть точечными (выражены определенным числом) и интервальными (указывается интервал значений, в пределах которого находится истинное значение величины при заданной вероятности этого события) (Каждан, 1984).

При сравнении изменчивости параметров разной размерности наряду с абсолютной используют относительную величину (коэффициент вариации), обычно выражаемую в процентах:

$$V = (\frac{\sigma}{x_{\text{ср}}}) \cdot 100$$

Использование коэффициента вариации при оценке изменчивости имеет смысл в тех случаях, когда необходимо рассчитать средние значения геолого-промышленных параметров и погрешности их определения. Поэтому статистическая модель обычно применяется для изучения изменчивости содержания компонентов в рудах и мощностей тел полезных ископаемых, но она не эффективна при анализе условий залегания этих тел, их внутреннего строения и изменчивости качества нерудных полезных ископаемых (известняк, доломит, гипс и др.).

Геостатистическая модель. Предложена Ж. Матероном (Матерон, 1968) в шестидесятых годах прошлого столетия. Основана на предположении, что результаты наблюдений зависят от расположения пунктов наблюдений. При смещении начального пункта наблюдений результаты измерений меняются. По этой причине их рассматривают как случайные величины. При этом средний квадрат разности измеренных значений зависит только от расстояния между пунктами наблюдений.

Основной инструмент геостатистики – вариограмма – используется для анализа и описания пространственной корреляционной структуры между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными параметрами (рис. 11).

- *Эффект самородка* – это случайная составляющая дисперсии проб, которая показывает насколько велико различие содержаний в очень близко расположенных образцах. Величина эффекта самородка зависит от сети опробования месторождения и степени ее изменчивости. Название этого параметра введено при оценке месторождений золота, где часто встречаются непредсказуемые «ураганные» содержания металла.
- *Порог вариограммы* – это величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается и больше не растет.
- *Зона влияния* – это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. На меньших расстояниях (с определенной долей вероятности) можно предсказать содержание в точке массива по данным опробования, а на больших дистанциях – не имеем права. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния. На графике – это расстояние по оси абсцисс от начала координат до точки пересечения теоретической вариограммы с линий порога.

Вариограмма рассчитывается как сумма квадратов разности содержаний между пробами, отстоящими друг от друга на расстоянии h, отнесенная к удвоенному числу пар проб. Функция экспериментальной вариограммы имеет следующий вид:

$$\gamma(h) = \frac{\sum\left(C_i - C_{(i+h)}\right)^2}{2N},$$

где C_i – содержание элемента в точке i,

$C_{(i+h)}$ – содержание элемента в точке, отстоящей на расстояние h от «i» пробы.

Анализ вариограмм необходим для изучения пространственной неоднородности минерализации и расчета исходных параметров для оценки содержаний с помощью кригинга. Выполнение подобных исследований оправдано в тех случаях, когда предполагается наличие на месторождении жильных тел или рудных зон, прослеженных на значительные расстояния, а также если месторождение характеризуется рассеянной минерализацией с неопределенным типом анизотропии. В прикладном плане знание параметров пространственной изменчивости рудной минерализации дает возможность существенно сэкономить средства на разведочные работы, так как наличие вариограмм позволяет уверенно рассчитывать уровень содержаний между буровыми скважинами без дополнительного сгущения буровой сети, а также обосновывать оптимальную густоту разведочной сети. Выявленные закономерности распределения полезных компонентов в пространстве позволяют более надежно интерполировать значения содержаний, оценивать достоверность запасов.

Расстояние, на котором достигается порог (зона влияния), может меняться в зависимости от направления, вдоль которого оценивалась вариограмма. Например, в случае пластовой залежи изменчивость содержаний по простиранию пласта будет меньше, нежели вкрест простирания. Этот феномен называется геометрической (или дирекционной) анизотропией минерализации (Поротов, 2004). В случае если в разных направлениях вариограммы имеют разный порог, анизотропия называется зональной.

При моделировании вариограммы необходимо выбрать соответствующий тип модели. Существуют следующие основные типы вариограммы: линейная, общая линейная (линейные графики), сферическая, экспоненциальная, гауссова, с дырочным эффектом (криволинейные графики). Чаще всего используют сферическую или экспоненциальную модели (рис. 12).

Исследование пространственной изменчивости содержаний полезного компонента с помощью геостатистической модели проведено на одном из золоторудных месторождений Казахстана. Работа выполнена студентом-дипломником М. А. Дресвянниковым (2017). При обобщении материала за основу взята концепция, что традиционными рудоконтролирующими для золотого оруденения считаются структуры северо-восточного направления. Поэтому все первичные геохимические ореолы привязывались к ним, в том числе и ореолы золота.

Для анализа пространственного распределения золота с помощью программы LeapFrogGeo построены 3D модели, отражающие пространственное распределение содержаний золота. В результате на месторождении выделено 6 зон по преобладающему направлению простирания минерализованных зон (рис. 13).

По каждой выделенной зоне рассчитывались экспериментальные вариограммы. Для более наглядного представления построены поверхности вариограмм, представляющие собой розы-диаграммы, на которых в зависимости от направления и расстояния вынесены

значения функции вариограммы (γ). На рис.14-16 интенсивность закраски отражает изменение значений дисперсии, приведенные к шкале; стрелками показаны направления минимальной изменчивости золота. В первой зоне (рис. 13) северо-восточное направление минимальной изменчивости соответствует вытянутости рудоносной зоны. Зона 2, находящаяся в центральной части месторождения, уже имеет изотропное строение (рис. 15), которое может быть объяснено пересечением двух преобладающих на месторождении направлений распространения золоторудной минерализации (северо-западного и северо-восточного). В третьей зоне (рис. 16) направление изменчивости изменяется на противоположное, характерное для дисперсии первого участка. В целом, горизонтальные вариограммы подтверждают данные, полученные при моделировании рудной зоны. Зоны 1, 4 и 5 имеют минимальные значения дисперсии в северо-восточном направлении, зоны 3 и 6 – северо-западное, 2-ая зона – изотропна по значениям изменчивости.

Выявление в результате геостатистического моделирования «нового» структурного направления (северо-западного) (рис. 16) позволило запроектировать золотодобывающей компании в этой зоне продолжение геологоразведочных работ (в рамках доразведки северо-западного фланга месторождения).

Модели на основе случайных функций могут быть использованы для количественного описания изменчивости признака (пространственной переменной) в зависимости от местоположения пунктов наблюдений. В основе модели лежит гипотеза, что значение признака является случайной функцией координат.

$$\varphi(x) = m(x) + \delta(x).$$

Случайная функция состоит из двух частей: закономерной $m(x)$ и случайной $\delta(x)$ составляющих (рис. 17).

Закономерную часть называют математическим ожиданием случайной функции. Значения случайной функции, получаемые в результате эксперимента и заранее неизвестные, называются ее реализацией. Основными характеристиками случайной функции $j(x)$ являются ее математическое ожидание, дисперсия случайной составляющей, автоковариационная и автокорреляционная функции.

Математическое ожидание $m(x)$ представляет собой наиболее вероятное значение случайной функции в точках x. Дисперсия случайной составляющей D выражается формулой:

$$D = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta(x_i)$$

Автоковариационная функция $K(h)$ представляет собой среднее произведение соседних отклонений на расстоянии h:

$$K(h) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[\delta(x_i + h)\delta(x_i)]^2 ,$$

где n – количество наблюдений; m – количество пар соседних отклонений.

Автокорреляционная функция $r(h)$ представляет собой отношение автоковариационной функции к дисперсии:

$$r(h) = K(h)/D.$$

Сложность применения случайных функций состоит в том, что результаты геологических наблюдений представляют собой, как правило, лишь одну ее реализацию. Характеристики случайной функции можно найти либо тогда, когда она является стационарной и эргодичной, либо при введении дополнительных гипотез.

Стационарной называют случайную функцию, у которой характеристики не меняются при сдвиге сети наблюдений. Она имеет постоянные математическое ожидание и дисперсию, а корреляционная функция ее зависит лишь от расстояния h между соседними пунктами наблюдения, т. е. по существу является функцией одного аргумента. *Эргодичной* именуют стационарную случайную функцию, одна реализация которой на большом интервале эквивалентна большому числу реализаций на малом интервале.

Модель на основе стационарной случайной функции предполагает, что математическое ожидание – величина постоянная, т. е. закономерные изменения признака в пространстве отсутствуют. Тогда математическое ожидание (оценка математического ожидания) равно среднему значению признака: $m(x) = j_{ср}$, а случайные отклонения находят по формуле $d(x) = j(x) – j_{ср}$. Дисперсия, автоковариационная и автокорреляционная функции вычисляются по формулам, приведенным выше.

Из перечисленных характеристик наибольший интерес представляет *автокорреляционная функция* $r(h)$, которая показывает степень связи соседних значений признака в зависимости от шага наблюдений h. При $h = 0$ корреляционная функция $r = 1$; с увеличением шага наблюдений значение r убывает и стремится к нулю. Предельный шаг наблюдений, при котором коэффициент автокорреляции становится неотличимым от нуля, называется радиусом автокорреляции R. Он соответствует максимальному расстоянию, на котором еще обнаруживается взаимосвязь соседних наблюдений (рис. 18).

На практике автокорреляционная функция вычисляется по дискретным данным и изображается ломаной линией. За радиус автокорреляции обычно принимают тот шаг, при котором линия автокорреляции первый раз пересекает линию абсцисс.

Автокорреляционная функция зависит от направлений изучения изменчивости параметров и поэтому дает представление об анизотропии залежей. Чем больше радиус автокорреляции в заданном направлении, тем медленнее меняется значение параметра и меньше его изменчивость. Если значение радиуса автокорреляции одинаково по всем направлениям, то геологический объект является изотропным.

Радиус автокорреляции характеризует средний размер области влияния одного наблюдения, что используется при обосновании плотности разведочной сети. Для надежного установления поведения параметра между пунктами наблюдений необходимо, чтобы расстояние между ними не превышало двух радиусов, т. е. области влияния соседних наблюдений перекрывались.

Отметим, что характеристики стационарной случайной функции отражают достоверную картину лишь при отсутствии периодичности в изменении признаков. Они должны быть согласованы с периодами, сопоставимыми с размерами изучаемого объекта. В противном случае (ритмичность разреза, периодичность появления рудных столбов или разрывных нарушений и т. д.) требуется выявление периодов и амплитуд периодической

изменчивости и вычитание ее из реализации случайной функции, чтобы значения параметра привести к стационарному виду.

Различия между геостатистической моделью и моделями типа случайных функций заключается в том, что предметом изучения геостатистики служит исследование расхождений между оцениваемой величиной Q и ее оценкой q. Сама пространственная переменная рассматривается как детерминированная функция, а вероятностный подход проявляется только при оценке расхождения $\varepsilon = Q - q$.

При использовании моделей типа случайных функций предметом исследования являются природные скопления полезных ископаемых и их свойства в недрах, а в качестве случайных величин рассматриваются не дисперсии оценок, а значения всех наблюдаемых свойств. В строении полезных ископаемых выявляются элементы их неоднородности, а характеристики изменчивости изучаемых свойств оцениваются не в заведомо заданных объемах недр, а на том структурном уровне, который выявляется принятой сетью наблюдений.

Разностные модели изменчивости основаны на изучении приращений значений признака между соседними точками наблюдения и имеют целью исключение влияния закономерной составляющей изменчивости для более правильной характеристики случайной изменчивости.

Модель со вторыми разностями впервые предложена Д. А. Казаковским (Казаковский, 1948) и нашла широкое практическое применение. Метод Д. А. Казаковского разработан для правильных квадратных сетей и позволяет оценивать изменчивость геолого-промышленных параметров, которые могут быть изображены в виде топографических поверхностей, главным образом для изучения изменчивости мощности тел полезных ископаемых. Сначала вычисляют первые разности значений признака по соседним точкам:

$$\Delta'_t = \varphi_{i+1} - \varphi_i$$

а затем находят вторые разности как приращения соседних первых разностей:

$$\Delta'_t = \Delta'_{i+1} - \Delta' = \varphi_{i+1} + \varphi_{i+2} \ .$$

Абсолютной мерой изменчивости является показатель сложности топографической поверхности μ_a, который представляет собой среднее значение абсолютной величины вторых разностей:

$$\mu_a = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} |\Delta_t^m| \ ,$$

где k – количество вторых разностей.

Относительная изменчивость признака оценивается с помощью показателя изменчивости m, который представляет собой выраженное в долях единицы отношение показателя сложности поверхности m к среднему значению изучаемого параметра $j_{ср}$.

Геометро-статистическая модель. Основоположником горно-геометрического моделирования является П. К. Соболевский. В основе созданной им модели лежит представление о функциональных связях наблюдаемых свойств с пространственными координатами. Позже его идеи нашли отражение в геометро-статистической модели, разработанной В. Ф. Мягковым (Мягков и др., 1986).

Частные значения характеристик реального поля в точках пространства неоднородны по своему составу. Они представляют собой алгебраическую сумму двух величин, называемых регулярной и случайной составляющими (компонентами) поля $U_i = f(x_i) + \delta_i$ (одномерный вариант), где *Ui* – значение переменной в *i*-той точке пространства с координатами x_i; $f(x_i)$ – значение регулярной (или закономерной) составляющей; δ_i – значение случайной составляющей (рис. 19).

Регулярной (или закономерной) составляющей поля называется детерминированная компонента, фиксирующая направленность изменения изучаемого свойства в пространстве геологического объекта. Например, закономерность выклинивания линзообразного рудного тела от центра к периферии залежи.

Случайной компонентной поля называется составляющая, обусловливающая флуктуацию ее значений относительно детерминированной переменной. Ее наличие определяется влиянием как геологических, так и технологических факторов. Например, флуктуация мощности относительно генеральной тенденции к выклиниванию линзовидного тела от центра к периферии в случае экзогенного месторождения обусловлена не только неровностями дна бассейна седиментации, но и погрешностями принятого способа измерений.

Количественное описание наблюдаемой изменчивости поля заключается в разделении ее на две составляющие, определении амплитуды каждой из них и уровней изменчивости. Закономерная изменчивость определяется построением аппроксимирующей функции, получаемой аппроксимацией исходных значений параметра, а случайная изменчивость оценивается среднеквадратичным отклонением исходных наблюдений от графика аппроксимирующей функции.

Построение начальной аппроксимирующей поле функции на каждом одномерном сечении осуществляется по данным регуляризации измерений в соответствии с формулой, выведенной при условии четырехкратного последовательного сглаживания по двум точкам (Мягков, 1984):

$$U_j = 0{,}0625\,(U_i + 4U_{i+1} + 6U_{i+2} + 4\,U_{i+3} + U_{i+4}),$$

где U_j – значение регулярной составляющей поля, U_i – частные значения, полученные в результате измерений или опробования по совокупности пространственно сближенных точек. При этом координаты x_j определяются либо по аналогичной приведенной зависимости (вместо U_i в формулу подставляются значения x_i), либо по упрощенной формуле:

$x_j = x_i + (j + 1) + \Delta x$, если шаг наблюдений принят в качестве постоянной величины ($j = i+2...$).

С помощью геометро-статистической модели можно выразить основные особенности пространственной изменчивости свойств геологических объектов, установить примерные числовые значения изучаемого свойства в любой точке исследуемого объекта, получить представление о его морфологии и внутреннем строении. В то же время геометро-статистические модели не обеспечивают объективную количественную оценку изменчивости изучаемых свойств. Если статистические методы не учитывают влияния

плавных, закономерных изменений, то методы геометризации игнорируют влияние многочисленных случайных отклонений по отдельным пунктам наблюдений.

Контрольные вопросы к теме 2

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте факторы, определяющие промышленную значимость месторождений.
2. Как делятся месторождения по масштабу, качеству полезных ископаемых?
3. На что влияют глубина и условия залегания тел полезных ископаемых?
4. Зачем необходимо изучать инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений?
5. Как можно подразделить месторождения по форме залежей? Как влияет форма рудных тел на разведку и разработку месторождений?
6. Какие факторы положены в основу группировки месторождений для целей разведки?
7. Какие группы месторождений фигурируют в Методических указаниях ГКЗ? Как их учитывают при разведке?
8. Неоднородность строения минерализованных недр. Как она учитывается при разведке?
9. Изменчивость свойств полезных ископаемых, виды ее проявления.
10. Какие геологические способы изучения изменчивости известны?
11. Какие математические способы исследования изменчивости используют в последнее время при разведке месторождений?
12. Какие основные характеристики фигурируют при использовании геостатистической модели изменчивости?

Тема 3
Методологические основы разведки недр

ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДКИ НЕДР

Земные недра обычно недоступны для непосредственных наблюдений. Они познаются преимущественно выборочным методом по сети пространственно разобщенных искусственных или естественных обнажений (Каждан, 1984). При этом полнота и достоверность полученных представлений о строении и составе недр зависит от густоты сети наблюдений, характера и степени неоднородности изучаемых объектов, прерывистости изучаемых свойств. Это побудило исследователей (Крейтер В. М., Каждан А. Б., Четвериков Л. И. и др.) сформулировать принципы, определяющие методологические подходы к изучению и оценке недр.

Принцип последовательных приближений предусматривает необходимость соблюдения правила: «от общего к частному». Геологические исследования начинаются с выявления крупных потенциально рудоносных площадей и отбраковки заведомо неперспективных территорий. После этого целесообразно перейти к более детальному изучению потенциально рудоносных площадей с последовательной ее разбраковкой на перспективные и неперспективные участки. В рамках реализации принципа весь геологоразведочный процесс подразделяется на три этапа и пять стадий (см. главу 5). Предложенная стадийность отражает рациональную последовательность проведения геологоразведочных работ, когда изучение недр проводится с возрастающей детальностью. Сначала выделяются общие геологические закономерности, а затем исследуются детали строения. По мере накопления разведочных данных возрастает полнота и надежность оценки объекта. Появляется возможность пространственного обособления внутри ранее выделенных условно однородных элементов геологического строения ещё более мелких структурных элементов. Вследствие ограниченности выборочных данных для суждения о свойствах и степени изученности объекта необходимо привлечение дополнительной информации, которую можно получить по принципу аналогии.

Принцип аналогии основан на положении о том, что геологические структуры и заключенные в них полезные ископаемые формировались в близких условиях. Они обладают чертами сходства условий залегания, строения и состава. Именно это обстоятельство обеспечивает подобие свойств объекта-эталона и изучаемого объекта. Степень подобия минерализованных участков недр зависит от пространственной близости и масштабов сравниваемых объектов: чем меньше их размеры и меньше расстояния между ними, тем больше проявляется сходство.

На стадии разведки можно выделить два подхода при принятии решений по аналогии: а) внутриобъектная; б) межобъектная. *Первый подход* – параметры разведочной сети принимаются близкими к изученным (и даже уже освоенным) участкам недр. Подобный подход возможен при разведке (доразведке) глубоких горизонтов месторождения, его флангов. *Второй подход* – использование данных по другим детально изученным объектам, используется при обосновании параметров разведочной сети на вновь вовлекаемых в разведку месторождениях. Этот принцип, основанный на типизации

месторождений, изложен в «Методических указаниях…», подготовленных ГКЗ при МПР РФ для отдельных типов полезных ископаемых.

Принцип максимальной эффективности является объединяющим ранее сформулированные В. М. Крейтером принципы наименьших трудовых и материальных затрат и полноты исследования (Петруха, 2003). Сущность принципа заключается в том, что в каждый момент выполнения геологоразведочных работ затраты на получение дополнительной информации не должны превышать экономических потерь, вызванных возможными просчетами в работе будущего предприятия. Полнота информации, необходимой и достаточной для строительства горнодобывающего предприятия, определяет подготовленность месторождения для промышленного освоения. Эта информация должна обеспечить достоверную характеристику разведуемого месторождения.

Достижение полноты необходимой информации осложнено крайне ограниченным объемом получаемых геологоразведочных данных по сети редких разведочных пересечений. В то же время собранная информация должна быть достаточной для принятия проектных решений по разработке месторождения и переработке добываемого минерального сырья. Здесь работает известный в математической статистике метод изучения свойств объектов на основе ограниченной по объему выборки. На каждой последовательно сменяющейся стадии изучения объекта выборка становится более представительной. В то же время из-за ограниченности геологических наблюдений, их неполноты любое проектное решение по освоению месторождения сопровождается риском, обусловленным возможными просчетами из-за неполноты собранных данных. Задача разведки – минимизировать эти риски до экономически рациональных размеров. Это возможно за счет выборочной детализации сети наблюдений на отдельных локальных участках.

Принцип выборочной детализации заключается в том, что проведение геологоразведочных работ в пределах всего объекта изучения должно сочетаться с более детальными работами на отдельных его участках (Каждан, 1984). При этом необходимо определиться с позицией эталонного участка, определить оптимальную детальность наблюдений в его пределах. Эталоны-аналоги детализационных работ должны быть представительными по отношению ко всему изучаемому объему недр. Чем типичнее окажутся эти участки, тем полнее будут критерии подобия и меньше погрешности распространения эталонных данных на весь оцениваемый объем. Рассмотрим примеры.

Согласно «Методическим рекомендациям по применению классификации запасов… (2007)» детализационные работы на стадии оценочных работ должны предусматривать обоснование в пределах локальных участков запасов категории C_1. С учетом полученных данных на этих участках следует предусмотреть опытно-промышленную разработку (ОПР) минерального сырья. В условиях действующих горных предприятий в качестве эталонов-аналогов следует использовать уже отработанные участки месторождения.

СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Изучение недр с целью выявления и промышленной оценки месторождений полезных ископаемых осуществляется последовательно по стадиям, по мере отбраковки неперспективных площадей и более детальном исследовании заслуживающих внимания объектов. Стадийность охватывает все виды геологоразведочных работ и отражает рациональный порядок последовательности их проведения (Положение…, 1999). Выделяется три этапа и пять стадий геологоразведочных работ (табл. 1). Составители «Положения…» отмечают, что границы между стадиями условны и определяются масштабами ведущихся работ. Информация, получаемая на каждой стадии, по полноте и достоверности должна быть достаточной для геологического и технико-экономического обоснования геологоразведочных работ последующей стадии, либо освоения и проектирования разработки месторождения. «Положение…» носит рекомендательный характер и устанавливает общие для всех видов полезных ископаемых требования к содержанию и результатам геологоразведочных работ для отдельных стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых

Производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей основу геологического изучения территории и оценки ее минерагенического потенциала. Призвано обеспечить выявление закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых. Основным результатом регионального геологического изучения недр является моделирование и ранжирование по экономической значимости структурно-вещественных и минерагенических комплексов, локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья. Основными видами работ являются площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки, наземные и аэрогеофизические работы, широкий комплекс специализированных исследований: космоструктурные, геолого-минерагенические, геохимическое картирование и другие виды изучения недр. Площадные картографические работы проводятся в масштабах: 1:15000000 и мельче – сводное и обзорное; 1:1000000 (1:500000) – мелкомасштабное; 1:200000 (1:100000) – среднемасштабное; 1:50000 (1:25000) – крупномасштабное. Для развития минерально-сырьевой базы главное значение имеют средне-крупномасштабные виды картографирования. По результатам выполненных работ выявляются и оконтуриваются прогнозные площади (минерагенические зоны, рудные районы, узлы и поля) с оценкой прогнозных ресурсов по категориям P_3, P_2, (P_1).

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы

Объектами исследований являются рудные районы, узлы и поля или их части, выявленные в процессе предшествующей стадии регионального геологического изучения недр, по которым имеются оцененные прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_3. Работы могут производиться и на ранее опоискованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении перспективных площадей, изменением

конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследования недр. Поиски могут проводиться в разных масштабах (обычно в пределах 1:50000-1:10000). Включают комплекс геолого-минерагенических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных объектов используется глубокое бурение в сочетании со скважинными геофизическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий проведения работ, накопленного в отрасли опыта. По совокупности полученной информации, ее комплексной интерпретации выделяются перспективные аномалии, участки. Проверка природы аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяются основные и попутные компоненты, а в необходимых случаях – технологические свойства руд. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1. На основе полученных данных выполняется геолого-экономическая оценка выявленных объектов по укрупненным показателям. Положительно оцененные проявления включаются в фонд объектов, рекомендуемых к постановке оценочных работ с выдачей соответствующих лицензий.

Стадия 3. Оценочные работы

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади, изучения геолого-структурных условий локализации оруденения проводится геологическая съемка в масштабе 1:25000-1:10000 и крупнее (для сложных и небольших объектов). Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями, вскрытием и прослеживанием тел полезных ископаемых поверхностными горными выработками (канавы, шурфы, картировочные скважины). Все вскрытые выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты.

Технологические свойства полезного ископаемого определяются по лабораторным пробам, а в необходимых случаях – по малым и большим технологическим пробам. По этим результатам намечается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого.

Во всех разведочных выработках осуществляется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических исследований, достаточных для обоснования вскрытия и разработки месторождения. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду.

Материалы, полученные при производстве оценочных работ, должны обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом большей части запасов по категории C_2. По менее детально изученной части месторождения количественно оцениваются прогнозные ресурсы категории P_1. Достоверность данных о геологическом строении, условиям залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории C_1.

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в Методических рекомендациях по применению классификации запасов… (2007), на завершающем этапе оценки целесообразно выполнение на участках детализации отдельных месторождений специализированных работ – «Опытно промышленной разработки» (ОПР) в пределах локального объема минерализованных недр.

Геолого-экономическая оценка объектов осуществляется в процессе проведения работ и по их завершению. В начальный период оценочных работ проводится *оперативная геолого-экономическая оценка* прямым расчетом по укрупненным показателям. По результатам ее принимаются решения о целесообразности продолжения работ или их прекращении. После завершения стадии «Оценочные работы» разрабатываются *временные кондиции* и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяющая целесообразность передачи объекта в разведку с последующим его освоением. *Месторождения,* получившие положительную экономическую оценку на оценочной стадии, *называются оцененными*.

Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование «временных» кондиций и ТЭД, представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Заключение экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождений

Объектом разведки является закрепленная лицензией в виде горного отвода часть недр, включающая полностью или частично месторождение полезного ископаемого. Разведочные работы осуществляются с целью получения информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия. В «Положении…(1999)» отмечается, что в *процессе освоения месторождения* с целью расширения и укрепления минерально-сырьевой базы действующего или реконструированного горного предприятия возможно проведение *доразведки месторождения.* Эти работы предусматривают в каждом отдельном случае решение конкретных геологических задач. Например, дополнительное изучение флангов или глубоких горизонтов месторождения, уточнение технологических свойств полезного ископаемого и т. д.

При разведке завершается изучение строения месторождения с поверхности с составлением геологической карты на инструментальной основе. В зависимости от размеров, сложности геологического строения, изменчивости тел полезных ископаемых съемка проводится в масштабе 1:10000-1:1000 с применением геохимических, геофизических методов, проходкой горных выработок (канавы, шурфы, траншеи), мелких скважин. Все выходы полезных ископаемых прослеживаются, опробуются с детальностью, позволяющей выявить форму, строение, условия залегания, интенсивность и глубину проявления зоны окисления.

Разведка на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. Расположение горных

выработок (в случае отработки объекта подземным способом) должно обеспечить максимально возможное их дальнейшее использование при эксплуатации.

Последовательность и объемы разведочных работ, соотношение горных и буровых выработок, форма и плотность разведочной сети, методы и способы отбора проб (рядовых, групповых, технологических) определяются, исходя из геологических особенностей разведуемого месторождения. Вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучаются с детальностью, достаточной для проектирования рациональной технологии их переработки.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, горно-геологические условия изучаются с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения. В процессе разведки дается оценка возможных источников питьевого и технического водоснабжения, проводятся работы по выявлению местных строительных материалов, разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения, обеспечиваются природоохранные мероприятия.

Разведка завершается разработкой технико-экономического обоснования (ТЭО) *постоянных разведочных кондиций*. Производится подсчет запасов основных и попутных компонентов по категориям в соответствии с группой месторождений по сложности строения, дается детальная экономическая оценка промышленной ценности месторождения. Пространственное размещение запасов, их соотношение по категориям устанавливается недропользователем. По завершению работ *месторождение называется разведанным.*

Материалы подсчета запасов, результаты ТЭО и обоснование постоянных разведочных кондиций подлежат государственной экспертизе (геологической, экономической, экологической).

Стадия 5. Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка проводится регулярно на эксплуатируемых месторождениях с целью получения достоверных данных для безопасного ведения работ, оперативного планирования добычи, обеспечения наиболее полного извлечения из недр полезных ископаемых. Объектами изучения и оценки являются эксплуатационные этажи, блоки, уступы. Основными задачами при этом являются: уточнение контуров, вещественного состава, внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества запасов по технологическим типам и сорта руд (с их геометризацией), уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным горизонтам, блокам и т. д. Подсчитываются запасы подготовленных к отработке блоков, запасы готовые к выемке.

Для обеспечения рационального использования недр ведется учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Определяются показатели извлечения количества полезного ископаемого и изменения его качества.

В процессе разработки месторождения при резком отклонении в отдельных его частях геологических, горнотехнических и иных условий разработки, а также при изменении экологической конъюнктуры, недропользователь имеет право разработать ТЭО

эксплуатационных кондиций. Они разрабатываются на ограниченный временной период и должны быть привязаны к конкретным участкам эксплуатации.

На протяжении разведки и эксплуатации месторождения ведется учет движения запасов в результате их прироста, добычи, переработки или списания с баланса горнодобывающего предприятия. Информация по движению запасов, добыче, потерях и обеспеченности предприятия разведанными запасами передается в федеральные и территориальные фонды геологической информации.

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для сравнения запасов месторождений одного и того же ископаемого, учета минеральных ресурсов разной изученности в пределах страны и регионов необходимо располагать стандартизующей системой. Такой системой является *классификация запасов.*

В нашей стране классификация месторождений полезных ископаемых утверждалась многократно (1933, 1941, 1953, 1984, 1997, 2007 гг.). Последняя классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливает единые для Российской Федерации принципы их обоснования (Классификация…, 2007). Запасы полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе из изучения и промышленного освоения. Качество полезных ископаемых изучается с учетом необходимости их комплексного использования, технологии переработки на основе определенных требований к качеству полезных ископаемых и технических условий. При этом определяются содержания основных и попутных ценных, токсичных и вредных компонентов, формы их нахождения и особенности распределения в продуктах обогащения и переработки. Объектом подсчета запасов полезных ископаемых является месторождение (или часть месторождения) твердых полезных ископаемых.

Подсчет и учет запасов по месторождению производится в единицах массы или объема в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций без учета потерь и разубоживания при добыче и переработке полезных ископаемых.

По экономическому значению запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них попутных компонентов подразделяются на две группы: балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические); они подлежат раздельному подсчету и учету.

К *балансовым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам (ТЭР) экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

К *забаланцевым* относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно ТЭР экономически не эффективна (убыточна) из-за низких технико-экономических показаний, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на полезные ископаемые, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в случае, если ТЭР установлена возможность их последующего извлечения или складирования для использования в будущем.

Оценка балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых производится на основании технико-экономического обоснования (ТЭО), подтвержденного государственной экспертизой. В рамках этой оценки должны быть предусмотрены наиболее эффективные способы разработки месторождений, предложены параметры кондиций, обеспечивающие максимально полное и комплексное использование запасов с учетом требований законодательства РФ.

Запасы полезных ископаемых по *степени геологической изученности* подразделяются на категории *A, B,* C_1 и C_2. Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых категорий P_1, P_2 и P_3 в настоящем учебном пособии не рассматриваются. Критерии их выделения в пределах минерализованных участков недр разобраны в учебных пособиях (Баранников, 2011, 2013; Коробейников, 2009; Поротов, 2012 и др.).

Запасы категории A выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й группы сложности геологического и должны удовлетворять требованиям: установлены размеры, форма и условия залегания тел полезных ископаемых; изучен характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения; выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки; установлено наличие разрывных нарушений; выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлен их состав, свойства, охарактеризовано качество сортов; изучены распределение и формы нахождения ценных и вредных компонентов в минералах и продуктах переработки; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по горным выработкам и скважинам на основе результатов их детального опробования.

Запасы категории B выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й и 2-й групп сложности строения и должны удовлетворять следующим требованиям: установлены размеры, основные особенности и изменчивость внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений установлено их положение и амплитуды смещения; определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественное соотношение промышленных типов и сортов полезного ископаемого; определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок.

Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й, 2-й и 3-й групп сложности геологического строения. Также эти запасы могут выделяться на участках детализации месторождений 4-й группы. Они должны удовлетворять следующим требованиям: выяснены размеры и характерные

формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения; оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, наличие площадей развития мелко амплитудных нарушений; определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; установлены общие закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных типов и сортов, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок с учетом данных геофизических и геохимических исследований.

Запасы категории C_2 выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, а на месторождениях 4-й группы сложности геологического строения составляют основную часть запасов, вовлекаемых в разработку. Они должны удовлетворять следующим требованиям: размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим, геофизическим и геохимическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок; контур запасов определен в соответствии с требованиями кондиций на основании опробования ограниченного количества скважин, горных выработок, естественных обнажений с учетом данных геофизических и геохимических исследований, геологических построений.

Учитывая определенную «монотонность» в изложении вопроса категоризации запасов и, в известной степени, повторяемость предъявляемых требований к обоснованию отдельных категорий запасов, отразим этот материал в таблице 2, приведенной в учебном пособии (Шевелев, 2004). В ней наглядно *отражены особенности* требований к запасам разных категорий.

На разрабатываемых месторождениях *вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы* полезных ископаемых, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, *подсчитываются отдельно* по категориям в соответствии со степенью их геологической изученностью.

При квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классифицированного показателя должны (или могут) использоваться количественные и вероятностные оценки *точности и достоверности* определения основных параметров. Однако конкретных количественных показателей для отдельных категорий запасов до сих пор не разработано. Свой подход в решении этого непростого вопроса рассмотрен А. Б. Кажданом (Каждан, 1977, 1984).

Нет сомнения в том (отмечает этот автор), что категория запасов определяется *густотой сети наблюдений.* В то же время *точность подсчета запасов зависит, прежде всего, от количества наблюдений в пределах разведанного участка* и в меньшей степени – от густоты сети наблюдений. При разной густоте сети, но при сопоставимом числе наблюдений в блоках различных размеров, *погрешности вычисления* среднеблочных оценок могут быть *примерно одинаковыми,* в то время как разведанность блоков будет резко различаться.

Понятия разведанность и точность подсчета запасов могли бы рассматриваться как взаимозависимые только при условии последовательной детализации разведочных данных в блоке установленного размера, когда с уменьшением расстояний между смежными точками наблюдений их количество в блоке закономерно возрастает. В практике разведки это условие обычно не выполняется. При детализации разведочных данных подсчетные блоки категории C_1 разделяются на более мелкие блоки категории *B*, а те в свою очередь на еще более мелкие блоки категории *A*. Поэтому связи между числом наблюдений и густотой разведочной сети не возникает.

Таким образом, при *оценке достоверности* результатов геологоразведочных работ необходимо различать степень разведанности запасов и точность их подсчета в заданных объемах недр (Каждан, 1977).

Степень разведанности запасов характеризуется детальностью выявления условий залегания, форм и строения полезного ископаемого, условий пространственного размещения в недрах. Количественно она может быть оценена *погрешностями геометризации* разведанных скоплений полезного ископаемого в недрах для заданной сети наблюдений.

Точность подсчета запасов может быть охарактеризована *погрешностями оценок их качества и количества* в оконтуренных объемах недр.

Из определения сформулированных понятий вытекает вывод, что при переводе запасов из более низких категорий в более высокие повышается не столько точность ранее подсчитанных запасов, сколько выявляются детали их пространственного размещения в пределах более мелких участков и блоков месторождения. Таким образом, точность подсчета запасов оценивается для категорий *A, B* и C_1 примерно одной и той же погрешностью. Но в зависимости от степени детальности наблюдений эта погрешность относится к разным по величине объемам недр.

На невозможность оценки степени изученности в виде цифровых показателей обращает внимание И. Д. Коган (Коган, 1974). Сказанное он мотивирует тем, что при подсчете запасов невозможно обеспечить заранее заданную величину погрешности для отдельных категорий, так как достоверность всех исходных данных остается практически неименной для разных категорий запасов. Категория запасов может быть понижена в силу иных причин. Например, при низком выходе керна, незавершенности технологических исследований, при ошибках геологической интерпретации.

Специального рассмотрения заслуживают классификации запасов твердых полезных ископаемых, применяемые в основных горнодобывающих странах (Австралии, США, Великобритании, Канаде и др.). Сопоставление отечественной квалификации с зарубежными, описание признаков их сходства и различия необходимо при обосновании инвестиционной привлекательности выставляемых на конкурс отечественных месторождений, а также решения ряда иных вопросов.

Обычно в зарубежных классификациях используются не более трех категорий ресурсов (resourses): измеренные (measured), исчисленные (indicated) и предполагаемые (inferred), а для оценки изученности запасов – даже двух: доказанные (proved) и вероятные (probable).

Несколько иной является классификация МАГАТЭ, используемая для отражения сырьевой обеспеченности атомной отрасли. Все учитываемые количества сырья квалифицируются как ресурсы (recourses). Для характеристики их изученности (достоверности) используются две категории: достоверно установленные (Reasonably Assured Resources – RAR) и дополнительные (Inferred Resources). Сумма оценок по этим категориям рассматривается как установленные ресурсы (Identified). Для оценок ресурсов, связанных с ещё не открытыми месторождениями (Indiscovered), используются категории прогнозные (Prognosticated) и умозрительные, рискованные (Speculative).

Разное целевое назначение российских и зарубежных классификаций затрудняет их однозначное сопоставление. Точного сопоставления между отдельными категориями не может быть в принципе. В то же время при задействовании классификации МАГАТЭ условно можно считать, что категория RAR примерно соответствует категории C_1, Inferred – C_2, Prognosticated – P_1, а Speculative – P_2+P_3.

В 90-х годах ООН был разработан специальный документ, получивший название «рамочный» (frame word) классификатор ООН. Подготовленная основа классификации представляет универсальную трехмерную матрицу, являющуюся ключом-дешифратором. Она позволяет осуществлять переход от одной классификационной системы к другой (рис. 3). В представленной классификации запасы и ресурсы оцениваются с трех позиций:

- геологическая изученность, определяемая стадией выполнения работ – детальная разведка (разведка), предварительная разведка (оценка), поиски, рекогносцировочные геологические наблюдения;
- экономико-технологическая изученность, определяемая стадией технико-экономической оценки (ТЭО постоянных и временных кондиций, оценка по аналогии и т. д.).
- экономичность освоения запасов, определяемая как достаточная или низкая рентабельность.

Каждая из ячеек матрицы имеет цифровую кодировку. В системе этих координат запасы, отвечающие той или иной степени изученности, выделяются как трехмерные тела. Например, запасы, выявленные на стадии разведки (A+B+C_1 по отечественной классификации) и имеющие положительную экономическую оценку на уровне ТЭО постоянных кондиций, получают кодировку 1.1.1.

С 90-х годов XX века в промышленных странах разработан еще один путь согласованного подхода к оценке запасов, определяемый сводами правил («кодексами отчетности»). Одним из таких кодексов, принятых в 2006 г, в ЮАР, Канаде и США, является CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards). Согласно стандарту CRIRSCO эксперты в заключениях должны руководствоваться определенной схемой классификации ресурсов (рис. 4). Стрелками на схеме показаны возможные переходы ресурсов в запасы при осуществлении экономической оценки объекта и обратно (например, при снижении цен), а также вероятные (probable) через измеренные, подсчитанные (measured) в доказанных (proven) при доразведке. Ресурсы предполагаемые (inferred) экономического значения не имеют.

Системы стандартов (CRIRSCO, YORK и др.) успешно задействованы за рубежом. Однако при попытках трансформировать оценки ресурсов в таксоны отечественной

классификации следует иметь в виду, что строго формальные соотношения здесь невозможны.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ

Обоснование оптимального комплекса технических средств – кардинальный вопрос разведки месторождений. На выбор технических средств разведки оказывают влияние геологические, горнотехнические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений, техника проходки разведочных выработок (Каждан, 1977, 1985).

Геологические факторы отражают условия формирования, состав и строение полезных ископаемых, закономерности их локализации в геологических структурах, уровень эрозионного среза месторождений. Определяющее значение при этом имеют: характер связи полезных ископаемых с элементами геологического строения; условия залегания и морфология скоплений полезных ископаемых, их размеры; строение и состав залежей полезных ископаемых.

При анализе влияния *горнотехнических факторов* на выбор технических средств разведки должны быть учтены: предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения; гидрогеологические условия, горнотехнические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

Геолого-экономические факторы также могут оказывать влияние. В зависимости от уровня экономической освоенности, климата, ландшафтных особенностей рельефа, энергообеспеченности территории, наличия трудовых ресурсов, дорог и т. д. приходится решать вопросы рационального соотношения горноразведочных, буровых работ и геофизических исследований.

Технические средства геологоразведочных работ различаются по своим возможностям, информативности, стоимости (Шевелев, 2004, Петруха, 2003). Они включают: горные разведочные выработки, буровые скважины, геофизические исследования.

А. *Горные выработки* подразделяются на поверхностные и подземные. К поверхностным относятся канавы и траншеи (магистральные и прослеживающие), мелкие шурфы и дудки, расчистки; к подземным – глубокие шурфы, штольни и шахты с комплексом развиваемых из них горизонтальных выработок (квершлаги, штреки, орты, рассечки), а также наклонных и вертикальных (восстающие, гезенки).

Поверхностные горные выработки используются для вскрытия полезного ископаемого и вмещающих пород в коренном залегании, изучения зоны окисления рудных тел. Проведение этих выработок не требует больших затрат и поэтому широко используется на ранних стадиях изучения месторождений. Ведущее значение имеет проходка *канав.* Обычно их проходят на глубину 2-3 м, реже до 6 м уступами с высотой не более 2 м. При малом объеме работ и их рассредоточенности проходка канав осуществляется вручную. В стадию разведки канавы проходят с применением буровзрывных работ (рыхление, на выброс) и экскаваторами, бульдозерами, канавокопателями, скреперными установками. Те же геологические задачи (вскрытие рудных тел, их документация, опробование) решает

проходка *траншей.* От канав они отличаются большим поперечным сечением и глубиной проходки (до 5 м). Используются современные технические средства – бульдозеры, скреперы, роторные установки. При изучении месторождений, представленных жильными зонами (в том числе, камнесамоцветного сырья) и для отбора технологических проб, возможна проходка *разведочных карьеров* (Петруха, 2003). Форма карьеров в плане, их размеры и глубина определяются целевым заданием. Используются карьеры для разведки полезных ископаемых, выходящих на дневную поверхность или находящихся на небольшой глубине. Глубина карьеров может достигать 50 м, а объем – десятков кубических метров. При проходке применяют разные технические средства.

Для прослеживания и оконтуривания залежей по простиранию при мощности рыхлых отложений более 5 м, а также вскрытия предполагаемых под наносами новых тел полезных ископаемых, предусматривается проходка разведочных *шурфов.* Они подразделяются на мелкие (до 10 м) и глубокие (до 40 м). Площадь сечения шурфов 1,25; 1,5; 2,0; 4,0 м^2. Глубокие шурфы проходят для изучения условий залегания рудных тел, отбора проб монолитов. При необходимости из шурфов проходят рассечки сечением 1,8, 2,7 или 3,6 м^2. Многие годы шурфы служили основным техническим средством при разведке россыпей и других приповерхностных месторождений. Неглубокие шурфы круглого сечения называются *дудками.* Шурфы, проходимые в неустойчивых и рыхлых породах, крепят, а глубиной более 10 м вентилируют.

Механизированная проходка шурфов осуществляется с использованием специализированных технических средств, предназначенных только для бурения (КШК-30А, УБСР-25), или комбинированных, используемых для проходки шурфов и скважин (ЛБУ-50, КБУ-15, УКС-22М).

Подземные горные выработки по целевому назначению подразделяются на подходные (вскрывающие) и собственно разведочные (Шевелев, 2004). К подходным относятся шахты, подходные штольни и квершлаги; к основным – штреки, орты, рассечки и восстающие.

Стволы *разведочных шахт* используются как вскрывающие выработки при разведке месторождений. Сечение разведочных стволов колеблется от 6 до 12 м^2, а глубина – до нескольких сотен метров. *Разведочные штольни* служат горизонтальными вскрывающими выработками при разведке месторождений, залегающих в условиях пересеченного рельефа. Поперечное сечение штолен колеблется в пределах от 6 до 9 м^2. *Квершлаг* также является горизонтальной вскрывающей подземной выработкой и проходится из ствола шахты. Разведочным квершлаг является только в той части, где выработка пересекает залежь полезного ископаемого. *Разведочные штреки* представляют горизонтальные горные выработки, пройденные по простиранию залежей. Их целью является прослеживание по простиранию строения рудных тел, сплошности оруденения. Штрек может быть пройден по полезному ископаемому (*рудный штрек*) или по вмещающим породам (*полевой штрек*). Если тела полезных ископаемых обладают значительной мощностью, то от полевого или рудного штрека через определенные интервалы проходят *орты* (рассечки) или *скважины* с выходом во вмещающие породы для вскрытия продуктивных зон на полную мощность. Эти выработки выполняют роль разведочных пересечений. *Разведочные гезенки* проходят из

квершлагов вверх или вниз, пересекая пологопадающие тела полезного ископаемого по их мощности. *Разведочные восстающие* проходят из штреков по восстанию залежей полезного ископаемого. Проходят восстающие с целью прослеживания залежей полезного ископаемого между основными горизонтами горных работ. При этом появляется возможность изучения сплошности оруденения по восстанию, изменчивости мощности и качества минерального сырья по вертикали.

Площади поперечного сечения в проходке квершлагов и штреков колеблется в пределах 3,6-5,8 м^2, ортов – 2,7-3,6 м^2, восстающих и гезенков – до 4 м^2.

При проходке разведочных выработок используются разнообразные технические средства, осуществляющие буровзрывные, погрузочные, откаточные, подъемные и иные виды работ.

Применение горных работ в качестве технического средства рекомендуется осуществлять с учетом следующих требований (Петруха, 2003):

- при заложении дорогостоящих горных выработок необходимо учитывать геологические особенности объекта (условия залегания, размеры, форма залежей), полученные во многих случаях путем разведочного бурения;
- преобладающая часть горных выработок должна приходиться на вскрытое полезное ископаемое с целью его изучения и опробования;
- горные выработки следует проходить с учетом их дальнейшего использования при эксплуатации месторождения; например: использования разведочных шахт в ранге вентиляционных.

Горные выработки позволяют детально изучить изменчивость параметров оцениваемых объектов (по форме, качеству сырья, сплошности оруденения и т. д.), учет которых крайне необходим при разведке месторождений 3-й и 4-й групп по сложности геологического строения. Примеры размещения горных выработок при вскрытии и разведке тел полезных ископаемых отражены на рисунках, приведенных в учебных пособиях (Петруха, 2003; Шевелев, 2004).

Б. *Буровые разведочные скважины* – наиболее широко применяемые технические средства разведки. Для большинства полезных ископаемых они являются главным и даже единственным техническим средством. Следует учитывать, что скважины дают менее полные сведения об оцениваемом полезном ископаемом, но буровые работы нашли широкое применение благодаря мобильности, скорости проходки скважин, относительной легкости оборудования, меньшим расходом средств на метр проходки (Шевелев, 2004). При всех очевидных преимуществах буровые скважины имеют и недостатки: они вскрывают небольшие участки недр; дают менее точные сведения о составе и строении полезного ископаемого по сравнению с горными выработками; повторное контрольное опробование и отбор проб разного назначения ограничен из-за малого количества получаемого каменного материала; при бурении скважин наблюдается их искривление, что усложняет геометризацию разведанных объемов недр; при бурении по рудоносным интервалам возникают осложнения и отмечается недостаточный выход каменного материала с ненарушенной структурой. Но буровые скважины незаменимы при разведке глубоко

залегающих месторождений. Месторождения 1-ой и 2-ой групп по сложности геологического строения в основном разведуются только бурением.

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых скважины бурятся с поверхности и из подземных горных выработок. Для поверхностного бурения используются неглубокие ударно-вращательные, вибрационные скважины и более глубокие ударно-канатные, пневмоударные и гидроударные. При оценке глубоких горизонтов задействуют бурение колонковых скважин и бескерновых скважин вращательного бурения. Из подземных горных выработок бурятся колонковые, шарошечные и перфораторные скважины.

Приповерхностные скважины глубиной до нескольких десятков метров используются для геологического изучения рудовмещающих структур, прослеживания, опробования и оконтуривания приповерхностных участков месторождений (Шевелев, 2004). Возможно использование разного типа буровых установок: УПБ-25 и УБР-2, БУУ-2, УКБ 12/25, БУ-20-2УШ и др.

Колонковое бурение глубиной от десятков метров до 150-200 м осуществляется агрегатами, смонтированными на автомашинах (УКБ-2, БСК, КГК-100 и др.). Более глубокие скважины бурятся агрегатами УКБ-3, УКБ-4, УКБ-5 и станками ЗИФ-650, СБА-500, СБА-800, ЗИФ-1200 и др. В последнее время в практике геологоразведочных работ нашли применение станки, разработанные зарубежными фирмами. Наиболее широко применяются буровые установки компаний Boart Longyear, Atlas Copco, Sandvik, SCHRAMM и их аналогов, произведенных, как правило, в КНР. Известные в нашей стране установки алмазного бурения серии Boart Longyear включают станки LM30, LM45, LM55, LM75. Размещенные на них манипуляторы позволяют ориентировать направление бурения скважины в любую заданную сторону.

Создание новой техники направленного бурения позволило проводить разведку по более рациональным схемам при проходке многоствольных скважин и за счет этого – многократного увеличения массы опробуемого рудного материала (без бурения дополнительных скважин). При этом дополнительные стволы могут располагаться как в одной вертикальной плоскости, искривления в одну сторону, так и задаваться в разных азимутальных направлениях (рис. 5).

Скважины подземного бурения могут являться частью разведочной системы или решать частные задачи, возникающие при геологическом изучении месторождения (прослеживание локальных рудоконтролирующих структур, апофиз, поисков смещенных частей рудных тел и т. д.). Бурение колонковых горизонтальных, наклонных и вертикальный скважин до 100 м осуществляется станками БСК-2М-100, а бескерновое – станками НКР-100. Неглубокие подземные скважины могут буриться с помощью колонковых или телескопных перфораторов без отбора керна глубиной 15-20 м.

В. *Геофизические исследования* играют большую роль в изучении земных недр, в том числе, на стадии разведки месторождений. Несмотря на то, что непосредственной геологической информации эти исследования не дают, геофизика как метод во многих случаях позволяет сократить количество необходимых разведочных пересечений, получить дополнительную ценную информацию. При обосновании и своевременном проведении

комплекса геофизических исследований появляется возможность пересмотра рекомендуемых методик и технических средств разведки. Последние могут меняться в зависимости от конкретной геологической обстановки и разрешающей способности геофизических средств разведки (Шевелев, 2003).

Как основные технические средства, геофизические методы могут применяться для исследования недр в промежутке между разведочными сечениями и при задействовании операций геофизического опробования.

Комплекс геофизических методов для решения основных задач разведки выбирается на основе учета совокупности факторов, определяющих возможную эффективность раздельного и совместного их применения. К таким факторам относятся (Комплексная …, 1990):

- степень дифференциации пород и руд по физическим свойствам, определяющая возможность использования данных каротажа для петрографической характеристики объектов;
- размеры, форма, элементы залегания, число рудных тел, текстурно-структурные особенности руд и их вещественный состав;
- присутствие в разрезе пород, близких по физическим свойствам к рудным образованиям;
- методика ведения горных и буровых работ, техническое состояние скважин.

При обосновании методики разведочных работ в рациональный комплекс необходимо включать минимальное и достаточное число геофизических методов, обеспечивающих получение достоверной информации с наименьшими затратами труда и времени. При задействовании нескольких методов следует предусмотреть последовательную их реализацию, скорректированную в зависимости от результатов каждого предыдущего метода.

Представления о возможностях геофизических методах формируются на основе *физико-геологической модели* (ФГМ) *объекта.* ФГМ включает геологическую модель, сведения о физических свойствах структурных элементов геологической модели, ожидаемые геофизические поля и аномалии на площади или по отдельным профилям (Сапожников, 2012).

В комплекс *наземных геофизических работ* при разведке месторождений входит широкий перечень методов: электроразведки, магниторазведки, радиометрии и др. Геофизические съемки в масштабе 1:2000-1:1000 позволяют более надежно оконтурить площади развития рудной минерализации, поля измененных околорудных пород, проследить выходы рудных тел, установить элементы их залегания, определить мощность рыхлых отложений и границу коры выветривания. Рассмотрим лишь ведущие из перечисленных методов.

Электроразведка включает группу методов, основанных на изучении естественных или искусственно возбужденных в земной коре электромагнитных полей. Электромагнитное поле зависит от свойств горных пород (удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, электрохимической активности). Это позволяет по изменению параметров поля изучать геологическое строение

площади и выявлять залежи полезных ископаемых. Используются следующие основные группы методов.

Электропрофилирование (ЭП) является одним из самых распространенных методов электроразведки и применяется для изучения крутопадающих слоистых толщ при некоторой постоянной глубинности изучения разреза по профилю (Сапожников, 2012). Геологическими предпосылками для применения метода является присутствие в рудах сульфидов, минералов железа и других, обусловливающих их низкое электросопротивление по сравнению с вмещающими породами. Распространенным является вариант ЭП, получивший название срединный градиент (СГ). В этом варианте токовые электроды разносятся на большое расстояние (1-3 км) и остаются неподвижными в процессе измерения удельного электрического сопротивления ρ_k при перемещении приемной установки *MH* постоянного тока и постоянного размера между электродами *AB*. В горизонтальной однородной среде градиент электрического поля (Δ *U/MN*) практически постоянен и на его фоне заметны проявления неоднородности разреза в виде локальных тел, крутопадающих пластов с аномальными электрическими свойствами (например, зон окварцевания).

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) – метод электроразведки, применяемый для изучения изменения удельного сопротивления по глубине для некоторой вертикальной трассы. Основан метод на постепенном увеличении размеров установки *AB* с общей центральной точкой (точкой зондирования), при котором увеличивается глубина проникновения тока и, соответственно, глубинность исследований. Метод ВЭЗ используется для изучения пространственного положения, морфологии и элементов залегания рудных тел в вертикальном разрезе. Широко задействуют его при геоморфологических исследованиях, для определения позиции и состава кор выветривания, мощности и строения рыхлого покрова, при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

Метод вызванной поляризации (ВП) основан на изучении электрохимических процессов, возникающих на границе пород с ионной проводимостью (электронных проводников) и окружающей их жидкостью (электролитом) под воздействием пропускаемого тока. После выключения тока некоторое время в цепи возникает вторичная ЭДС – гальванический источник тока, создающий нестандартное поле вторичной поляризуемости. Метод ВП широко используется при разведке месторождений сульфидных, магнетитовых, редкометалльных и иных руд, при оценке ореолов с рассеянной рудной минерализацией.

Метод естественного поля (ЕП) основан на изучении естественных электрических полей, обусловленных разными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Метод эффективен при разведке рудных тел близповерхностного залегания, являющихся электронными проводниками. Используется при разведке сульфидных, магнетитовых, марганцевых и графитовых месторождений.

Метод переходных процессов (МПП) основан на изучении низкочастотного электромагнитного поля. В МПП изучается неустановившееся поле вихревых токов,

возникающих в породах и рудах при ступенеобразном изменении тока в контуре, который может быть расположен как на наземной поверхности, так и в воздухе (Горбунова, 1982).

Магниторазведка основана на изучении пространственных изменений геомагнитного поля, возникающих вследствие неодинаковой намагниченности горных пород и руд. Магнитное поле измеряют с помощью магнитометров, предназначенных для измерения полного вектора напряженности Т и его вертикальной составляющей. Обычно выполняют относительные измерения, находя приращения значений поля между двумя пунктами наблюдений. Интерпретация магнитных аномалий начинается с анализа карт изолиний магнитного поля, по которым судят о морфологии, размерах и природе возмущающих объектов (Сапожников, 2012). Количественную интерпретацию аномалий осуществляют, используя графики по профилям, проходящим крест простирания геологических объектов. Магнитные съемки с высокой детальностью и точностью 1-2 нТл включаются в разведочный комплекс для решения широкого круга вопросов. В том числе: расчленения пород по литологическому составу; выявления локальных структурных элементов (даек, жил, жерловых построек и т. д.); обоснования зональности размещения разных типов метасоматических пород; выявления магнитных руд черных металлов и слабомагнитных – цветных, благородных, редкометалльных; изучения рудных тел в морфоструктурах месторождения; изучения инженерно-геологических условий и т. д.

Гравитационная разведка основана на изучении пространственного распределения плотности в земной коре с помощью измерения силы тяжести σ (в г/см^3). При интерпретации полей силы тяжести используется характеристика избыточной плотности $\Delta\sigma$, представляющая разность плотностей отдельного геологического тела $\sigma_т$ и вмещающих пород $\sigma_{вм}$. Она может быть положительной или отрицательной. Единицей измерения силы тяжести является Галл (см/с^2). Но обычно пользуются более мелкой единицей – миллигалом (1 мГал =10^{-3} Гала). В разведочной геофизике относительные измерения гравитационного поля g выполняются с помощью гравиметров. Прибор позволяет измерять приращение g от точки к точке, т. е. Δg. На этой основе вычисляются аномальные поля Δg, по которым судят о неоднородностях по плотности в земной коре.

Гравиразведка применяется при структурно-геологическом изучении земной коры, разведке разных полезных ископаемых. Наиболее эффективно гравиметровой съемкой выявляются залежи железорудных и хромитовых месторождений, интенсивность аномалий силы тяжести над которыми может достигать 0,4-0,5 мГал. При увеличении детальности съемки возможно обнаружение рудных тел сульфидных месторождений размером 0,1-0,2 км^2, с интенсивностью аномалий 0,2-0,5 мГал (Шевелев, 2004).

Радиометрические методы основаны на изучении радиоактивности руд и горных пород с целью решения поисково-картировочных и разведочных задач, опробования. Наибольшее применение получила *гамма-съемка*, дающая положительные результаты для обнаружения радиоактивных руд и расчленения горных пород. Съемка проводится в аэро-, пешеходном, автомобильном вариантах. Радиоактивность выражается через мощность дозы излучения за единицу времени в А/кг (в системе СИ) или в микрорентгенах в час (1 мкР/час=10^{-12} А/кг). Изменения выполняют с использованием спектрометрической

аппаратуры, позволяющей выделять урановую и калиевую составляющую радиоактивного поля.

Повышенной радиоактивностью обладают породы, в которых в рассеянном состоянии находятся элементы урана, тория. Также повышенная радиоактивность свойственна породам, содержащим изотоп Калий-40. Он присутствует в кварц-серицитовых сланцах, нередко несущих золоторудную минерализацию, полевошпатовых породах, калийных солях.

Геофизические исследования скважин (ГИС) – это отрасль разведочной геофизики, отличающаяся от других методов только по методике исследований. Основные положения теории физических полей, измеряемых в скважинах, остаются теми же, что и в полевой геофизике (Сковородников, 2009, 2016). Роль и значение ГИС постоянно возрастает. В перспективе ГИС открывает путь к бескерновому изучению скважин. В настоящее время в скважинах регистрируется большое количество разных параметров (около 40). При этом стоимость ГИС составляет незначительную часть от общей стоимости сооружения и оборудования скважины.

В ГИС выделяют три больших раздела: каротаж, операции в скважинах и скважинную геофизику.

Каротаж – это геофизические методы изучения геологического строения разрезов скважин. В каротаже исследуются очень небольшие объемы горных пород, прилегающие к стенкам скважины. Отличительная особенность каротажа – высокая детальность и точность исследований. Результаты фиксируются в виде непрерывных диаграмм по стволу скважины или в виде числовых значений с шагом порядка 10-20 см. Каротаж позволяет выполнять литологическое расчленение разрезов скважин, выделять в них интервалы полезного ископаемого, определять физические свойства горных пород и полезных ископаемых in situ. Именно на основании данных каротажа производится интерпретация полевых геофизических методов: электроразведки – по данным об удельном электрическом сопротивлении (УЭС) пород; магниторазведки – по значениям магнитной восприимчивости пород: гравиразведки – по их плотности. Каротаж дает сведения, необходимые для подсчета запасов месторождения – данные о мощности залежей, содержанию полезного компонента и т. д. Изучение скважин подразделяется по природе изучаемых полей на методы электрического, радиоактивного каротажа и прочие методы (Сковородников, 2009, 2016).

Методы электрического каротажа включают:

а) Группу методов кажущегося сопротивления (КС). В эту группу входят: метод КС – наиболее распространенный; резистометрия – метод определения удельного сопротивления жидкости; метод БКЗ (боковых каротажных зондирований) – скважинный аналог метода ВЭЗ; БК – боковой каротаж и др.

б) Методы токового каротажа: метод скользящих контактов (МСК) – при исследовании рудных скважин; метод бокового токового каротажа (БТК) – для исследования углеразведочных скважин.

в) Группа электромагнитных методов: ИК – индукционный каротаж, использующий поля низких частот; ВМП – высокочастотный волновой метод проводимости и др.

г) Группа методов электрохимической активности: ПС – метод потенциалов самопроизвольной поляризации (аналог метода естественного поля); метод электродных потенциалов (МЭП). Методы ПС и ПК стали применяться совместно, получив название стандартного электрического каротажа.

Методы радиоактивного каротажа (РК) включают: ГК – гамма каротаж – регистрация естественного гамма-излучения горных пород; ГГК – гамма-гамма каротаж, имеющий две разновидности – плотностной (ПГГК) и селективный (СГГК); РРК – рентгенорадиометрический каротаж; НГК – нейтронный гамма-каротаж и другие методы.

Скважинная геофизика – это геофизические методы изучения геологического строения межскважинного, околоскважинного и призабойного пространства. В отличие от каротажа, скважинная геофизика отличается большими объемами исследуемых горных пород. Это позволяет увеличить действующую зону влияния скважин, пройденных по разряженной сети, обеспечить получение дополнительной геологической информации о межскважинном пространстве.

Методы скважинной и полевой геофизики подразделяются по природе исследуемых физических полей. Широкое использование в практике разведочных работ получили методы скважинной разведки. Выделены методы, основанные на использовании тока разной природы.

На постоянном токе: метод ЕП-С (естественного поля, скважинный вариант), МЗТ – метод заряженного тела, МЭК – метод электрической корреляции разрезов, ЧИМ – метод частичного извлечения металла.

На переменном токе: метод радиоволнового просвечивания, ДЭМПС – дипольного электромагнитного профилирования скважин, ННП-С – наземной незаземленной петли, скважинный вариант.

На импульсном токе: СП-С – метод вызванной поляризации, скважинный вариант; МПП-С – метод переходных процессов, скважинный вариант.

Задачи геофизических исследований в *горных выработках* во многом близки к тем, что уже были сформулированы выше. В том числе: корреляция рудных подсечений; оконтуривание и оценка размеров рудных тел; поиски пропущенных при разведке рудных тел в межвыработанном, межскважинном и околоскважинном пространстве; оценка положения выработок относительно рудных тел; внедрение в практику геофизического опробования.

Геофизическое опробование дополняет геологическое и во многих случаях его заменяет. Оно осуществляется в скважинах и шурфах, на стенках горных выработок. Также опробуется отбитая рудная масса в вагонетках и на транспортерах. Особенности геометрии среды измерений и условий их проведения отражаются в специфичности аппаратуры, в конструкции датчиков.

При измерении в горных выработках основными методами электроразведки являются (Рудничная…, 1986): метод ПС, электропрофилирование, метод электрической корреляции (МЭК), методы грави- и магниторазведки. С их помощью решаются горнотехнические задачи: определяется плотность горных пород и руд, выявляются подземные полости и зоны обрушения, форма карстовых полостей, коэффициенты

фильтрации подземных вод и другие вопросы геологического обеспечения добычных работ.

СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Метод локальных геологических наблюдений реализуется в разведке посредством *разведочной сети* (РС). Разведочная сеть – это методическое обоснование разведки месторождений полезных ископаемых. Она непосредственно влияет на получаемую разведочную информацию об оцениваемом объекте. От влияния собранной при разведке информации позднее невозможно избавиться никакой последующей обработкой данных (включая математическое и иное моделирование). Обоснование рациональной РС, отвечающей геологическим особенностям оцениваемого объекта, является кардинальным вопросом разведки месторождений.

Обоснование РС опирается на ряд понятий.

Любая разведочная выработка, пересекающая природное скопление полезного ископаемого, представляет искусственное обнажение и в случае выполнения определенных условий может рассматриваться как *единичное разведочное пересечение.* Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует *разведочное сечение*, а совокупность разведочных сечений в пространстве – *разведочную систему.* Таким образом, *под разведочной системой понимается совокупность разведочных сечений (разрезов), определенным образом ориентированных в пространстве по отношению к рудному телу, позволяющих решать стоящие перед разведкой задачи* (Каждан, 1977; Рудничная…, 1986; Шевелев, 2004). Прослеживание объектов разведки в заданном направлении осуществляется с помощью разведочных пересечений, в заданной плоскости – с помощью разведочных сечений (разрезов), в заданном объеме – с помощью разведочных систем.

Разведочное пересечение должно удовлетворять ряду требований. Главные из них (Шевелев, 2004):

а) должно быть ориентировано в направлении близком к направлению максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах (чаще – по линии мощности);

б) вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность с выходом во вмещающие породы.

Разведочное пересечение может быть выполнено с применением разных технических средств: скважин, шурфов, подземных горных выработок и др. Их выбор зависит от задач разведки, природных особенностей объекта, технико-экономических соображений. Чем сложнее строение полезного ископаемого, тем в большей степени должно быть вскрыто тело оцениваемой залежи. Оптимальным при этом является использование разведочных горных выработок.

Разведочное пересечение должно быть сплошным, что обеспечивает полную информацию по изучаемому направлению. Вычисленные по нему средние значения свойств наиболее близки к действительным. Они расходятся только на величину технических погрешностей экспериментальных наблюдений.

Разведочные сечения (разрезы) могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к телам полезных ископаемых, а также горизонтальными или вертикальными. Разведочные пересечения в пределах разрезов могут располагаться параллельно под разными углами или пересекая друг друга. Если сведения о строении и свойствах полезного ископаемого накапливаются по линиям на основе данных разведочных пересечений, то площади (объемы) между смежными разведочными разрезами остаются неосвещенными. Чтобы иметь сведения о свойствах полезного ископаемого в пределах этих площадей, необходимо располагать характеристикой изменчивости залежи и геологической информацией, которая может быть получена только по принципу аналогии.

Несколько иной смысл вкладывал в понятие разведочной системы основоположник учения о поисках и разведке МПИ В. М. Крейтер (1961). В основе предложенной им систематики предлагалось брать необходимый комплекс технических средств разведки. Под системой разведки он понимал «такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и произвести необходимое опробование для подсчета промышленных запасов полезного ископаемого». Все разведочные системы В. М. Крейтер объединил в три группы, взяв за основу технические средства разведки: группы буровых, горных и горно-буровых систем. Позднее в развитие представлений о разведочных системах уже иными авторами были положены такие базовые понятия как характер изменчивости свойств полезных ископаемых, особенность анизотропии в строении залежей, возможности их изучения на основе комплекса технических средств. Так, А. Б. Каждан (1984) предложил классификацию разведочных систем, разделив их на три класса: системы вертикальных, горизонтальных и продольных разрезов, а также входящих в них ряда групп и видов (табл.).

РАЗВЕДОЧНАЯ СЕТЬ, ЕЁ ТИПЫ, ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

Типы разведочных сетей

Обоснованность запланированной в проекте разведочной системы раскрывает выбранная разведочная сеть. Под *разведочной сетью* (РЗС) следует понимать взаиморасположение в объекте разведки локальных наблюдений и измерений разведочных параметров (Шевелев, 2004). Практика показала, что при одной и той же разведочной системе могут быть реализованы разные РЗС и, наоборот, разными разведочными системами могут быть созданы одинаковые разведочные сети.

Разведочную сеть характеризуют ряд показателей.

Анизотропия РЗС – это различие в размещении наблюдений и замеров по разным направлениям пространства. Анизотропия проявляется в форме и ориентировке ее ячеек. Если форма ячеек изометричная (квадратная, треугольная), то сеть изотропна. Если ячейка сети обладает удлиненной формой (прямоугольной, ромбической) с одинаковой ориентировкой, то сеть анизотропна.

Геометрия сети может быть разной. Выделяют правильные, неправильные и линейные сети.

Правильные сети – расположение разведочных пересечений подчиняется строгому геометрическому порядку (квадратная, прямоугольная, ромбическая).

Неправильные сети – отсутствует общая геометрическая упорядоченность в расположении разведочных пересечений.

В *линейных сетях* – разведочные пересечения располагаются в плоскости разведочных сечений и образуют отдельные линии на плоскости проекции; они могут быть параллельными или пересекающимися.

РЗС формирует представление об объекте разведки, соответствие которого в действительности можно проверить только в процессе отработки месторождения. Поэтому следует стремиться к обоснованию и реализации на практике «оптимальной» разведочной сети. По мнению В. В. Шевелева (2004) для этого необходимо выполнение ряда условий.

Первое: при ограниченных ассигнованиях на разведку оптимальная РЗС должна быть обеспечена лимитированным количеством разведочных пересечений, позволяющим выполнить разведку с наибольшей точностью и детальностью.

Второе (дополняющее первое): требования по точности и детальности разведки (категоризации запасов) следует реализовать наименьшим количеством разведочных пересечений.

Третье: у разведочной сети должна быть «оптимальная геометрия», отвечающая структурно-морфологическим особенностям объекта.

На примере четырех ведущих морфологических типов полезных ископаемых ниже рассмотрены условия выбора разведочных сетей (Волков, 2006).

1. Горизонтальные пластовые, пластообразные и линзообразные залежи, имеющие в плане изометричную или близкую к ней форму. Элементы анизотропии свойств не выражены. К этой группе следует отнести месторождения осадочного генезиса и кор выветривания: часть месторождений железных руд, марганца, никеля, бокситов, углей, фосфоритов. Если залежь должна быть изучена с одинаковой точностью по всей площади, то для достижения этой цели наиболее эффективна *квадратная сеть* разведочных пересечений (рис. 20). Она дает возможность получить серии взаимно пересекающихся разрезов. Подобная сеть позволяет на отдельных участках более сложного строения дальнейшее развитие РЗС путем проходки детализационных профилей (рис. 21).

При разведке рассматриваемого типа залежей возможны и другие варианты сетей, отвечающих тем же условиям равномерности расположения точек наблюдений. К ним можно отнести *треугольную сеть,* позволяющую построить равноточные разрезы по трем направлениям. При одинаковом расстоянии между точками пересечения у треугольной сети есть преимущество – расстояние до центра ячейки оказывается меньшим (рис. 22). Но треугольная сеть в практике разведок почти не используется (возможности ее дальнейшего развития отсутствуют).

2. Горизонтальные пластовые и пластообразные залежи, обладающие заметно выраженной в плане протяженностью в одном направлении – более распространенный в природе класс залежей по сравнению с предыдущим, шире охватывающий те же типы осадочных и экзогенных месторождений. Наличие у тел длины и ширины определяет анизотропию их строения. Поперек вытянутости залежей изменчивость выше, вдоль тел – меньше. Условию получения равномерной изученности залежей в данном случае наиболее соответствует *прямоугольная сеть,* стороны которой ориентированы по направлению

длины и ширины тела. Короткая сторона ячейки располагается по ширине, а длинная – вдоль вытянутости объекта (рис. 23). Прямоугольная сеть обладает возможностями ее развития – сгущение на отдельных участках, проходка детализационных профилей.

Примером рассматриваемой группы залежей служат сильно вытянутые извилистые в плане тела лентообразной формы с резко выраженной анизотропией свойств (рис. 24). Геометрически правильная прямоугольная сеть при этом нарушается, и она становится близкой к сети следующего типа.

3. Наклонные залежи с отчетливо выраженными элементами залегания являются наиболее распространенным типом объектов разведки. Их морфология соответствует пластам, пластообразным залежам. Залежи такого типа обладают анизотропией морфологии, условий залегания и внутреннего строения. Разведочная сеть подчинена этим признакам. Применяется система параллельных вертикальных сечений (при выдержанном простирании) или непараллельных (при изменчивом простирании), располагающихся на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 25). Способы развития сети точек наблюдений близки к описанным выше. Например, детализация имеющихся профилей, проходка промежуточных линий и выработок.

4. Для крутопадающих залежей, имеющих облик штоков, характерны сложные виды анизотропии (состава, свойств). В этом случае используется комбинированный способ разведки с применением горных выработок и буровых скважин. В одном из вариантов разведки крутопадающее рудное тело рассекается горными выработками по нескольким горизонтальным сечениям. В каждом сечении проходятся поперечные горные выработки и горизонтальные скважины с целью оконтуривания и изучения залежи (рис. 26).

В учебном пособии (Рудничная…, 1986) приведена более лаконичная систематика разведочных сетей. Выделены две системы разведки – по сетке и параллельным сечениям.

В системе разведки по сетке задействованы правильные разведочные сети – квадратная, прямоугольная, ромбическая. Эти РС применяются для крупных по размерам, простых по морфологии и внутреннему строению рудных тел, залегающих горизонтально или слабо наклонно – пластов, пластообразных тел, штокверков, плащеобразных залежей (рис. 27).

В системе разведки по параллельным сечениям следует выделять: а) горизонтальные сечения для крутопадающих тел сложной формы и строения (трубообразных, линейных оруденелых зон); б) вертикальные сечения для любых по форме тел с переменными углами падения, сложным внутренним строением и глубокозалегающим. Иногда системы горизонтальных и вертикальных сечений могут применяться на одной и той же залежи. Здесь верхняя часть разведуется горизонтальными сечениями (горными выработками в комбинации с подземными скважинами), а глубокие горизонты – скважинами с поверхности и подземным бурением, создающими вертикальные сечения.

Принципиальная схема разведки рудных тел линзообразной формы с использованием горноразведочных работ и буровых скважин отражена на рисунке 28.

Плотность разведочной сети, её обоснование

Обсуждение вопроса о плотности разведочной сети имеет высокую актуальность. С одной стороны, этот вопрос касается детальности изучения объекта, а с другой – связан с

затратами средств и времени. Выбор плотности сети ориентируется на изучение *наиболее изменчивых параметров залежей.* В одних случаях для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежей; в других – для оценки качества минерального сырья результаты исследования изменчивости линейных запасов или содержаний.

Разведочная сеть создается в плоскости залежей. Плотность (густота) разведочной сети определяется площадью, приходящей на одно разведочное пересечение. Плотность разведочной сети (R) есть безразмерный показатель – отношение объёма залежи (Q) к объему разведочной ячейки (q), т. е. $R=Q/q$. Однако в практике разведки практически всегда используют параметры, характеризующие расстояние между разведочными пересечениями, как в плоскости разведочных сечений, так и между ними.

Плотность разведочной сети зависит от размеров скоплений полезных ископаемых, сложности их геологического строения, целей разведочных работ, размеров оцениваемых (подсчетных) блоков. Чем гуще РЗС, чем меньше размер ее ячейки, тем большей разрешающей способностью она обладает и тем более глубокий уровень в строении оцениваемых объектов она вскрывает. По мере сгущения РЗС у наблюдаемой изменчивости разведочных параметров меняется соотношение между ее случайной и закономерной составляющими в сторону увеличения последней. Суммарная изменчивость остается постоянной, что выражается в постоянстве величины ее дисперсии при разной густоте РЗС (Шевелев, 2004).

Мерой, определяющей степень сгущения разведочной сети, служит выявляемая доля координированной изменчивости свойств залежей полезных ископаемых. Только при ее наличии правомерна геометризация параметров залежей. Составляющая неслучайной (координированной) изменчивости может быть выявлена и оценена горно-геометрическими и математическими методами.

В практике геологоразведочных работ при оптимизации РЗС задействуют следующие методы (способы):

- аналогии;
- разрежения (сгущения) разведочной сети;
- сравнения данных разведки с данными эксплуатации;
- геометро-статистический;
- совокупность математических методов

и ряд других способов.

Способ аналогии применяется в соответствии с принципом аналогии. Первоначально разведочная сеть принимается по аналогии с другими близкими по геологическому строению объектами. Месторождения должны относиться к одному геолого-промышленному типу. В данном случае задействуется *межобъектная аналогия.* Наибольшее значение способ приобретает на стадии оценочных работ в связи с недостатком сведений о геологическом строении оцениваемого объекта.

Способ базируется на отнесении разведуемого объекта к определенной группе сложности строения и выборе плотности РЗС на основе обобщения данных разведки многочисленных месторождений, приведенных в «Методических указаниях по

применению классификации запасов…», МПР РФ, 2007. Накопленный опыт указывает на определенную условность отнесения объектов к той или иной группе. Индивидуальность объектов является основной причиной ошибок при использовании метода. Чем необычней по строению, составу оцениваемые недра, тем ниже оказывается возможность использования способа аналогии.

В пределах месторождения возможно применение *внутриобъектной аналогии* – использование апробированных разведочных сетей на участках выборочной детализации или в пределах отработанных частей залежей. Способ аналогии является наиболее используемым. Однако в рекомендациях ГКЗ подчеркивается, что он является приближенным и обязательно требует заверки соответствующими экспериментами и расчетами.

Способ разрежения относится к категории экспериментальных. Основан на предположении, что достигнутая на объекте густота сети наблюдений заведомо обеспечивает требуемую точность результатов, что чаще не является бесспорным. Способ сводится к последовательному разрежению исходной разведочной сети в 2, 3, 4 и т. д. раз. По разреженной РС определяются средние параметры разведочного участка, сосредоточенные в них запасы, строятся геологические разрезы. Затем производится их сравнение с «истинными» характеристиками, полученными на основе всех разведочных данных по исходной сети. Обнаруживающиеся различия рассматриваются как погрешности, к которым приводит конкретное разрежение сети. Задавая допустимый уровень погрешности, можно установить минимальную густоту сети, при которой во всех вариантах пространственного расположения точек наблюдений погрешности оценки параметра не превысят допустимого значения. Изменение наблюдаемого облика залежи полезного ископаемого при последовательном разрежении сети точек наблюдений отражено на рисунке 29. В тоже время следует отметить, что способ разрежения, как метод сравнения, следует применять в качестве общетеоретического исследования, а не оперативного средства для оценки сети разведуемого объекта (Шевелев, 2004).

Способ сгущения разведочной сети – экспериментальный способ, имеющий конкретную прикладную направленность. Он применяется в тех случаях, когда имеющаяся сеть точек наблюдений признана недостаточно густой или необходим контроль правильности представлений о геологической модели объекта. При последовательном сгущении сети следует постоянно анализировать изменение представлений о морфологии рудных тел, условиях их залегания и иных геологоразведочных параметров. Одним из показателей достаточности РЗС является однозначная увязка геологических элементов и рудных тел на планах и разрезах.

Следует учитывать, что при каждом сгущении сети имеется только один вариант пространственного положения начального пункта сети. Для этого варианта определяется среднее значение исследуемого параметра и вероятная погрешность его оценки. Достаточной признается такая густота сети, которая обеспечивает погрешности ниже допустимой, а увязка данных по соседним разведочным выработкам становится однозначной.

Способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации заключается в сравнении разведочной модели недр с наиболее достоверной, основанной на наиболее детальном изучении недр в процессе эксплуатационных работ. Различие, которое при этом фиксируется, рассматривается как показатель, оценивающий правильность и точность разведки (Комплексная ГЭО…, 1990; Сборник нормативно-методических документов…, 1998, Шевелев, 2004). Данные разведки и отработки сопоставляются в контурах запасов, ранее прошедших экспертизу в ГКЗ РФ, с учетом отработки запасов за пределами этих контуров

Сравнению подлежат запасы полезного ископаемого и их компонентов, все подсчетные параметры (мощность тел полезных ископаемых, содержание полезных и вредных компонентов, объемная масса, площадь тела полезного ископаемого, коэффициент рудоносности и т. д.).

При сопоставлении должны анализироваться не только параметры и общие цифры запасов, но и выявленные изменения в представлениях об особенностях геологического строения месторождения; анализируется их влияние на количество и качество запасов полезного ископаемого. Должны вскрываться причины расхождений сопоставляемых данных разведки и отработки. Должна быть доказана достоверность данных эксплуатационной разведки, эксплуатационного опробования очистных выработок, геолого-маркшейдерского и фабричного учета, достоверность учета потерь и разубоживания (рис. 2, 30, 31).

Необходимо отметить, что результаты эксплуатации месторождения нельзя рассматривать как безошибочные. При разработке месторождения не всегда полностью учитываются потери и разубоживание минерального сырья, а это искажает представление о морфологии и качестве тел полезных ископаемых. Подготовительные и очистные работы часто не проводятся в тектонически сложных зонах, на участках размыва залежей, их расщепления или выклинивания, что снижает достоверность собранных сведений. Поэтому на практике применение способа чаще ведется путем сравнения не с данными добычи, а с результатами эксплуатационного опробования.

В результате сопоставления данных разведки и разработки даются рекомендации, направленные на повышение достоверности исходных разведочных данных, методики разведки, оконтуривания и подсчета запасов.

Геометро-статистический способ имеет достаточно надежный и относительно простой математический аппарат, широкий диапазон применения. Возможности использования метода для решения комплекса горно-геологических задач рассмотрены ранее (см. раздел 11.3). Здесь приведена методика решения лишь одной задачи – определения рациональной плотности разведочной сети.

Для решения прикладных геологоразведочных задач обычно используют данные эксплуатационной разведки. Подбор данных проводится на профилях, ориентированных по простиранию и падению рудных тел. Размеры между точками наблюдений соответствуют расстояниям между точками отбора проб в горных выработках или скважинах. Длина профилей соответствует параметрам рудных тел по исследуемым направлениям. Обработка материалов заключается в построении одномерных графиков изменчивости геологических

параметров в системе координат: содержание полезного компонента (мощность залежи) – расстояние. Затем проводится выравнивание (сглаживание) исходных данных, оценка уровненного строения, частотных и амплитудных характеристик изучаемых полей (геохимических, морфометрических).

Для обоснования плотности и геометрии разведочной сети применяется *способ геометрической автокорреляции,* соответствующий геометро-статистической модели (Рудничная…, 1986; Петруха, 2003). Способ позволяет вычислять значение радиуса геометрической автокорреляции (R_q, м) после выравнивания исходных данных по формуле: $R_q=L(1+2K_q)^{-1}$, *где* L – длина участка аппроксимации (исследуемого профиля), м; K_q – количество экстремальных значений аппроксимирующей поле функции на профиле; q – структурный уровень. Оптимальный шаг разведки принимается равным среднему значению радиуса геометрической автокорреляции, вычисленному по сечениям рудного тела (по простиранию и падению).

Геометро-статистическая модель используется для установления связи между уровнями частотной изменчивости параметра (R_q) и категориями разведанных запасов. Применение модели оправдано при преобладании закономерной составляющей изменчивости признака над случайной составляющей или при их равных соотношениях.

Обоснование оптимальной плотности разведочной сети для медноколчеданных месторождений Урала, выполненное Л. М. Петрухой (1991), позволило установить, что распределение меди, цинка, серы в рудных телах месторождений в основном изометричное. Оценка анизотропии (A) изменчивости геологоразведочных параметров, определенной как соотношение значений (R_q) по простиранию и падению рудных тел ($A=R_{q1} / R_{q2}$), показала, что среднее значение A=1,1, т. е. близко к единице. В связи с этим разведочная сеть на медноколчеданных месторождениях должна быть квадратной, а не прямоугольной (как это отражено в Методических рекомендациях ГКЗ).

Обоснование плотности разведочной сети с использованием аппарата стационарной случайной функции и геостатистической модели рассмотрены ранее (см. раздел 11.3).

Контрольные вопросы к теме 3

1. Принципы разведки. Для чего они разработаны?
2. В чем заключается принцип последовательных приближений?
3. Как реализуется принцип аналогии?
4. В чем заключается принцип максимальной эффективности?
5. На какие этапы и стадии подразделяется процесс геологического изучения недр?
6. На какой стадии геологоразведочных работ рудопроявление переходит в разряд месторождений?
7. Что такое – месторождение оценённое, месторождение разведанное?
8. Какой документ подготавливается по результатам разведки месторождения? Каково его содержание?
9. Какие виды горных выработок применяются при разведке? Охарактеризуйте условия их применения.
10. Перечислите преимущества и недостатки применения при разведке буровых скважин.

11. Какие геофизические методы применяются при изучении поверхности месторождений?
12. Какие задачи при разведке позволяет решать каротаж скважин?
13. Какие данные позволяют получить применение геофизических методов при изучении межскважинного пространства?
14. Что такое система разведки?
15. Типы разведочных сетей.
16. Плотность разведочной сети; какие факторы определяют ее обоснование?
17. В чем сущность способов аналогии и разрежения при обосновании плотности разведочной сети?
18. Как осуществляется сопоставление данных разведки и эксплуатации при обосновании плотности сети наблюдений?
19. Что лежит в основе математических методов обоснования плотности разведочной сети (статистического, геометро-статистического, геостатистического и др.)?

Тема 4
Подсчет запасов полезных ископаемых

КОНДИЦИИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Кондиции на минеральное сырье представляют собой совокупность требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям их разработки, обеспечивающим наиболее полное комплексное и безопасное использование недр на рациональной экономической основе с учетом экологических последствий эксплуатации месторождения (Методические рекомендации…, 2007; Временное руководство…, 1997). Кондиции – это основной инструмент геолого-экономической оценки месторождений. Они разрабатываются и уточняются в процессе геолого-экономической оценки месторождений по материалам их разведки и эксплуатации на основе специального технико-экономического обоснования (ТЭО).

Для подсчета запасов рудных месторождений, а также отдельных видов нерудного сырья (горно-химического, плавикового шпата, барита, графита, талька, асбеста, слюды), кондиции могут включать следующие параметры:

- бортовое содержание компонента в пробе или условия оконтуривания рудных тел в геологических границах;
- минимальное содержание компонента в краевой выработке;
- минимальное промышленное содержание компонента в подсчетном блоке, запасы которого относятся к балансовым;
- коэффициенты приведения содержания попутных компонентов к основному в комплексных рудах и минимальное их содержание, учитываемое при приведении;
- максимально допустимое содержание вредных примесей в краевой пробе, оконтуривающей выработке и по месторождению;
- минимальная мощность тел полезного ископаемого или минимальный метропроцент (метрограмм);
- максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;
- минимальный коэффициент рудоносности для месторождений с прерывистым и гнездовым распределением полезных компонентов;
- минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым.

По остальным типам месторождений полезных ископаемых (карбонатные породы, магнезиты, дуниты, цементное сырье и другие) кондиции для подсчета запасов включают:

- требования к качеству полезного ископаемого (или получаемой из него продукции) в соответствии с действующими стандартами и техническими условиями или обусловленными результатами технологических испытаний;
- условия подсчета запасов по сортам (классам, маркам) конечной продукции;
- минимальную мощность тела полезного ископаемого;
- максимально допустимую мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур полезного ископаемого;

- минимальный выход конечной продукции.

Для каждого месторождения, в зависимости от геологического строения, горно-технических условий разработки и требований промышленности к качеству минерального сырья, учитывают только те их перечисленных параметров, которые необходимы для геолого-экономической оценки его промышленного назначения.

Рассмотрим важнейшие кондиционные показатели.

Бортовое содержание – это наименьшее содержание полезных компонентов в пробах, включенных в подсчет запасов, при оконтуривании по мощности тела полезного ископаемого в случае отсутствия четких геологических границ. Оно должно отвечать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. В комплексных месторождениях бортовое содержание выражается суммой содержаний полезных компонентов, имеющих промышленное значение. Эта сумма должна быть приведена к содержанию условного основного компонента, имеющего максимальную извлекаемую стоимость. Примеры оконтуривания месторождений при различных вариантах бортового содержания приведены на рисунках (рис. 32, 33).

Бортовое содержание определяется на основе повариантных подсчетов запасов. В качестве исходного варианта целесообразно применять бортовое содержание месторождения, аналогичного оцениваемому (по типу оруденения, размерам, морфологии рудных тел, вещественному составу руд, условиям разработки). Варианты с более высокими или низкими бортовыми содержаниями следует подбирать таким образом, чтобы разница в запасах руды, подсчитываемых при снижении (повышении) бортовых содержаний, составляла, как правило, не менее 10 % от общих запасов ближайшего варианта. Количество вариантов обычно не превышает 5 и чаще всего ограничивается значением 3. В случаях, когда сведения о бортовом содержании на аналогичном месторождении отсутствуют, первоначальную ориентировочную величину этого параметра в качестве исходного варианта определяют аналитическим путем, исходя из цены полезного компонента, коэффициента сквозного извлечения, разубоживания при добыче, удельных затрат на добычу и переработку. Последние определяются, исходя из укрупненных показателей намеченных систем добычи и переработки полезных ископаемых и предполагаемого масштаба месторождения. Для аналитического выражения бортового содержания применяются следующие формулы:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{борт} = [(З_д + З_о) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_д$ и $З_о$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $Ц_к$ – цена 1 т полезного компонента в концентрате без налога на добавленную стоимость (НДС), руб.; $И_о$ – коэффициент извлечения при обогащении, доли ед.; р – разубоживание при добыче, доли ед.;

б) при ценах на товарные концентраты ($Ц_к$) с установленным в них содержанием ($С_к$) полезного компонента:

$$С_{борт} = [((З_д + З_о) \cdot С_к) / (Ц_к \cdot И_о \text{ x } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Оконтуривание рудных тел в соответствии с вычисленной величиной бортового содержания и подсчет запасов позволяют установить, какова будет экономическая

эффективность разработки месторождения, а также наметить величину прочих вариантов бортового содержания. При этом верхний предел бортового содержания не должен быть выше минимального промышленного содержания, подсчитанного с учетом налогов, платежей и отчислений; нижний предел бортового содержания не должен быть ниже уровня содержаний, при которых полезный компонент не извлекается в товарную продукцию.

Минимальное содержание компонента в краевой выработке устанавливается в тех случаях, когда выявлено закономерное снижение содержаний полезных компонентов в краевых частях рудного тела. Оконтуривание рудных тел в соответствии с минимальным содержанием в краевых выработках должно соответствовать наибольшему экономическому эффекту разработки месторождения. Это минимальное содержание определяется вариантным способом.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке – это содержание, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат и получение минимальной установленной прибыли.

Минимальное промышленное содержание без учета налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%,$$

где $З_у$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб.; $К_у$ – удельные капитальные вложения в строительство горнопромышленного предприятия, руб.; Е – учетная ставка банка, доли ед.; при отсутствии инфляции принимается 5-6 %;

б) при ценах на товарные концентраты:

$$С_{мин} = [(З_у + К_у \cdot Е) \cdot С_к] / [(Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Минимальное промышленное содержание с учетом налогов, платежей и отчислений определяется по формулам:

а) при ценах на содержащийся в концентрате полезный компонент

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) / (Ц_к \cdot И_о \text{ х } (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%\ ,$$

где $З_{ун}$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение 1 т руды с учетом налогов, которые входят в структуру эксплуатационных затрат; $Н_у$ – налоги, платежи, отчисления на прибыль в расчете на 1 т годовой добычи руды;

б) при ценах на товарные концентраты

$$С_{мин.\ н} = [(З_{ун} + К_у \cdot Е + Н_у) \cdot С_к / (Ц_к \cdot И_о \cdot (1\text{-}р))] \cdot 100\ \%.$$

Приведенное содержание полезных компонентов комплексных руд к содержанию условного компонента осуществляется с использованием переводных коэффициентов. Эти коэффициенты определяются исходя из соотношения цен полезных компонентов и коэффициентов извлечения при обогащении руд. Минимальное содержание, учитываемое при приведении к содержанию условного компонента, принимается равным содержанию, при котором минеральное образование не извлекается при принятой технологии обогащения:

$$К_{пр} = (Ц_п \cdot И_п) / (Ц_о \cdot И_о),$$

где $Ц_о$ и $Ц_п$ – цена 1 т основного и попутного компонента в концентрате, руб.; $И_о$ и $И_п$ – соответственно их коэффициенты извлечения, доли ед.

Максимальные допустимые содержания вредных примесей у полезных ископаемых, используемых без обогащения, устанавливаются в пробе или в интервале разведочной выработки в соответствии с требованиями промышленности. Если при отработке месторождения предусматривается усреднение добытого минерального сырья, максимально допустимое содержание вредных примесей может быть установлено для подсчетного блока. При обогащении полезного ископаемого, когда вредные примеси полностью или частично переходят в концентрат и не извлекаются из него в дальнейшем, соответствующие ограничения вводятся для подсчетного блока. В случае, когда для удаления вредных примесей из концентрата требуется дополнительная переработка, их содержание в подсчетном блоке учитывается через величину минимального промышленного содержания полезного компонента.

Минимальная мощность полезного ископаемого и *максимально допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных полезных ископаемых* устанавливается исходя из принятого способа и системы разработки месторождения. Целесообразность отработки рудных тел меньшей мощности, но с повышенным содержанием полезных компонентов, определяется по *метропроценту* (*метрограмму*) исходя из установленной минимальной мощности тела полезного ископаемого и бортового содержания.

В случае сложного строения рудных тел, когда рудные интервалы чередуются с безрудными, для уточнения величины максимально допустимой мощности прослоев пустых пород и некондиционных руд проводится подсчет запасов при разной мощности этих слоев по каждому из оцениваемых вариантов бортового содержания. Оценка влияния прослоев на размеры и форму рудных тел и последующую эффективность добычи и переработки полезного ископаемого позволяет установить оптимальную величину этого параметра кондиций.

Коэффициент рудоносности применяется в случае невозможности выделить и оконтурить в процессе геологоразведочных работ отдельные рудные тела. Минимальная величина коэффициента рудоносности устанавливается для подсчетного блока, исходя из минимально приемлемой рентабельности разработки месторождения, при определении которой наряду с общепринятыми затратами учитываются дополнительные, связанные с доразведкой и оконтуриванием рудных тел и их селективной выемкой.

Минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых, при которых они относятся к балансовым ($Q_{мин}$), устанавливаются исходя из дополнительных расходов, связанных с их вскрытием и отработкой, по формуле:

$$Q_{мин} = [К_д \cdot (1\text{-}р)] / [(Ц_{из} – З_{ун} – Н_у – К_д \cdot Е) \cdot (1\text{-}п)],$$

где $К_д$ – капитальные вложения, необходимые на проходку дополнительных вскрышных выработок, руб.; $Ц_{из}$ – извлекаемая в концентрат ценность полезных компонентов из 1 т руды, руб.; п – потери при добыче, доли ед.

ОКОНТУРИВАНИЕ ЗАПАСОВ

Оконтуривание является одной из самых ответственных операций при подсчете запасов. Оно заключается в ограничении рудных тел или их разведанных участков на площади и в разрезе.

Оконтуривание запасов ведется по промышленным кондициям. Запасы оконтуриваются по трем направлениям: *мощности, простиранию и падению* рудной залежи. Исходными материалами для оконтуривания служат данные геологической документации и результаты опробования.

Контур может представлять собой: 1) естественные границы рудных тел; 2) линию с бортовым содержанием; 3) линию с нулевым содержанием полезного компонента; 4) линию с минимальной промышленной мощностью рудного тела; 5) линии разных типов и сортов руд; 6) линии, разграничивающие запасы разных категорий; 7) линии участков с разными условиями вскрытия и разработки; 8) линии предельного содержания вредных примесей. Некоторые типы контуров приведены на рисунках 34, 35.

Если тело не имеет естественных природных границ, его оконтуривают чаще всего по бортовому содержанию или по минимальной промышленной мощности.

При оконтуривании запасов различают внутренний и внешний контуры. *Внутренний контур* – линия, соединяющая крайние точки с кондиционными содержанием и мощностью; *внешний контур* – линия, проведенная за пределами этих точек по более низким (некондиционным) показателям. Площадь между внутренним и внешним контурами принято называть *межконтурной полосой* (рис. 36).

Оконтуривание начинается с определения *опорных точек,* через которые затем проводится линия контура. Положение опорных точек устанавливают методами интерполяции и экстраполяции. *Метод интерполяции* заключается в определении мощности или содержания между смежными выработками. *Метод экстраполяции* состоит в определении мощности или содержания за пределами выработок. Различают *ограниченную экстраполяцию,* когда внешняя контурная линия проводится между рудной и безрудной точками, и *неограниченную экстраполяцию*, когда эта линия проводится за пределами контура выработок, где данные о параметрах рудного тела отсутствуют.

Положение опорной точки между двумя пробами определяется с помощью интерполяции, если содержание полезного компонента изменяется закономерно, то есть переход между рудой и вмещающими породами постепенный. При незакономерном изменении содержания промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами с кондиционным и некондиционным содержанием или даже через крайнюю кондиционную пробу. Положение опорной точки при экстраполяции принимается на половине, трети или четверти расстояния между выработками или определяется по естественным формам выклинивания рудных тел.

Для полого залегающих плоских изометричных тел площадь оконтуривается в плане, для крутопадающих плоских тел – на продольных разрезах и вертикальных проекциях. Для крутопадающих тел с выдержанными углами падения оконтуривание площади иногда проводят на проекции, параллельной плоскости падения.

Как во внутренних, так и во внешних контурах, производится блокировка запасов по категориям, типам и сортам руд, условиям залегания, вскрытия, разработки и т. д.

Вначале оконтуривание выполняется по отдельным выработкам, затем по отдельным разведочным сечениям (вертикальным или горизонтальным) и только потом в целом по рудному телу.

*Оконтуривание рудных тел в пределах отдельных разведочных выработок з*ависит от их ориентировки относительно рудного тела. В *секущих* выработках при наличии четких геологических контактов с вмещающими породами границы тела определяются по данным непосредственных наблюдений в забое горных выработок или по керну буровых скважин. При отсутствии четких геологических контактов границы тела полезного ископаемого определяются по результатам опробования и проводятся между породами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента. При этом возможны 2 случая: а) если опробование выполнено сплошной бороздой, контур тела проводится по границе последней пробы, показавшей кондиционное содержание; б) если опробование проводится с интервалом между пробами, то границы промышленной части тела проводят между пробами способом интерполяции.

При незакономерном изменении содержания полезного компонента промышленный контур проводят обычно через середину расстояния между пробами, показавшими кондиционное и некондиционное содержание полезного компонента (рис. 37).

В *прослеживающих* выработках кроме распределения полезного компонента необходимо учитывать и характер выклинивания рудного тела. При резком выклинивании контур проводится по данным непосредственных наблюдений. При постепенном выклинивании учитывается характер изменения содержания и мощности.

Если содержание полезного компонента снижается постепенно, а мощность остается постоянной, то оконтуривание производится по содержанию. Здесь существуют те же два варианта, что и для секущих выработок: при опробовании сплошной бороздой контур проводят через границу последней кондиционной пробы, а при поинтервальном опробовании – методом интерполяции по приведенной выше формуле.

Если наблюдается постепенное уменьшение мощности тела, а содержание остается постоянным, то контур проводится либо по мощности, либо по метропроценту (метрограмму). Граница промышленной части тела определяется по следующим формулам:

$$X=L(M_{мин}-M_B)/(M_A-M_B),$$

где X – расстояние от точки B с некондиционной пробой пробы до контура тела; L – расстояние между кондиционной (A) и некондиционной (B) пробами; M_A и M_B –мощности тела соответственно в точках A и B; $M_{мин}$ – минимальная мощность, установленная кондициями;

$$X=L(M\%_{мин} - M\%_B)/(M\%_A - M\%_B),$$

где $M\%_{мин}$ – минимальный метропроцент, установленный кондициями; $M\%_A$ и $M\%_B$ – значение метропроцента соответственно в точках A и B.

Положение контура тела может быть намечено также по данным непосредственных замеров мощности в выработках.

Наконец, при одновременном уменьшении мощности тела и содержания полезного компонента оконтуривание производится по минимальному метропроценту (метрограмму).

Положение контура тела между двумя точками можно определять также графическим способом или специальной палеткой (транспарантом).

Учитывая, что расстояния между пробами обычно небольшие, особенно для руд цветных, редких металлов и золота, нередко поступают проще: проводят контур посередине между кондиционной и некондиционной пробами.

Оконтуривание тел полезных ископаемых по совокупности разведочных выработок производится на планах, разрезах или проекциях. При этом различают 3 случая проведения контура: 1) по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках; 2) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными; 3) между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – отсутствием полезного ископаемого.

Проведение контура по опорным точкам, установленным непосредственно в выработках, выполняется двумя путями. При наличии четких геологических границ рудных тел опорные точки наносятся на планы, разрезы или проекции по данным непосредственных замеров в выработках (рис. 38). При отсутствии четких границ опорные точки определяются в пределах каждой выработки по данным химических анализов описанными выше способами. Оконтуривание состоит в соединении опорных точек.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, другая – некондиционными, производится в зависимости от характера распределения полезного компонента. При равномерном распределении и постепенном изменении содержания полезного компонента опорные точки определяются рассмотренным выше способом интерполяции с использованием приведенных формул, графически или с помощью палетки. При неравномерном распределении полезного компонента или неравномерном изменении мощности контур обычно проводят через середину расстояния между выработкой с кондиционными и выработкой с некондиционными показателями. На месторождениях с крайне неравномерным распределением полезного компонента контур рудного тела часто проводят через крайние кондиционные выработки.

Проведение контура тела полезного ископаемого между двумя крайними выработками, одна из которых характеризуется кондиционными показателями, а другая фиксирует полное отсутствие тела полезного ископаемого, осуществляется в зависимости от характера выклинивания тела. При резком выклинивании промышленный контур проводят через середину расстояния между выработками, то есть способом ограниченной экстраполяции. Кондиционная мощность тела, вскрытая выработкой, распространяется до середины расстояния между выработками. При закономерном, постепенном выклинивании рудного тела нулевой контур также проводят через середину расстояния между выработками, а положение подсчетного контура определяется способом интерполяции между выработкой с промышленной концентрацией полезного ископаемого и принятым нулевым контуром (рис. 39).

Описанные приемы оконтуривания тел обычно применяются для определения положения контура не только между разведочными выработками (рис. 40), но и между разведочными разрезами (линиями).

Определение контуров тел полезных ископаемых за пределами разведочных выработок, или неограниченная экстраполяция, практикуется для запасов низких категорий C_1 и C_2, подлежащих дальнейшей разведке. При оконтуривании используются разнообразные геологические, морфологические, геофизические, статистические и геометрические приемы.

ПАРАМЕТРЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Подсчет запасов полезных ископаемых в общем случае осуществляется по следующей схеме:

1) определяется объем залежи V как произведение площади S на среднюю мощность M: $V = S \cdot M$;

2) определяется запас руды Q как произведение объема V на объемную массу D: $Q = V \cdot D$, при этом обязательно учитывается естественная влажность руд;

3) определяется запас металла P как произведение запаса руды Q на среднее содержание металла C: $P = Q \cdot C \cdot 10^{-2}$, если содержание выражено в %, или $P = Q \cdot C \cdot 10^{-6}$, если в г/т.

Для одних полезных ископаемых (многие виды строительных материалов, природный газ, а в западных странах и нефть) подсчет запасов останавливается на вычислении объема. Количество некоторых иных видов сырья (железные руды, хромиты и др.) подсчитываются в виде запасов руды. Для большинства рудных элементов требуется расчет запасов металла.

Из приведенной схемы видно, что основными параметрами, необходимыми для подсчета запасов, являются площадь, средняя мощность, объемная масса руды и среднее содержание в ней полезных компонентов. Кроме того, могут использоваться разные поправочные коэффициенты.

Площадь устанавливается в результате оконтуривания рудных тел на планах и проекциях. Простые по конфигурации площади измеряются как геометрические фигуры, сложные – с помощью палетки, планиметра или курвиметра. В современных условиях площадь определяется с помощью компьютерных программ.

При наклонном залегании тела полезного ископаемого необходимо привести полученный замер площади к истинному значению, для чего вводят поправку на угол падения залежи β для замеров на плане по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \cos\beta,$$

для замеров на вертикальной проекции по формуле:

$$S_{ист.} = S_{изм.} / \sin\beta.$$

Мощность тела полезного ископаемого в пределах контура подсчета запасов определяется по данным горных и буровых работ, а также каротажа скважин. Если рудные тела имеют четкие геологические границы с вмещающими породами, их мощность устанавливается непосредственно с помощью замеров. Если четких геологических контуров нет, мощность рассчитывают по результатам секционного опробования по бортовому или минимальному промышленному содержанию полезного компонента.

В горных выработках мощность определяют замером расстояния от кровли до подошвы залежи при их документации и опробовании. Мощность рудных тел по данным бурения устанавливают прямыми или косвенными способами. Прямой способ – это расчет

мощности по керну при колонковом бурении и по данным опробования шлама при ударном бурении, косвенные – по данным каротажа скважин или по наблюдениям в процессе бурения за изменением скорости углубки скважин, за цветом или составом шлама.

Разведочные выработки часто пересекают тело полезного ископаемого не по истинной мощности, а под некоторым углом. При пологом залегании замеряется вертикальная мощность $M_в$, при крутом падении – горизонтальная $M_г$. По керну или геофизическим данным мощность определяется длиной рудного интервала $M_{скв}$. Эти так называемые наблюдаемые мощности отличаются от истинной мощности $M_{ист}$ и приводятся к ней по геометрическим формулам (рис. 41):

$$M_{ист.} = M_г \cdot \mathrm{Sin}\alpha,$$

$$M_{ист.} = M_в \cdot \mathrm{Cos}\alpha;$$

$$M_{ист.} = M_{скв.} \cdot \mathrm{Cos}(\alpha\text{-}\beta) \cdot \mathrm{Cos}\gamma,$$

где α – угол падения залежи, β – зенитный угол наклона скважины в месте пересечения залежи; γ – угол между азимутальным направлением скважины и азимутом падения залежи.

Среднее значение мощности определяется среднеарифметическим или средневзвешенным способом. Метод среднего арифметического применяют при более или менее равномерном распределении пунктов замера мощностей. В этом случае средняя мощность M определяется по формуле:

$$M = \sum m / n,$$

где n – количество замеров мощности.

Способ средневзвешенного применяется при резко неравномерном распределении точек замера и установленном направлении закономерностей изменчивости мощности. Средневзвешенная мощность рассчитывается по формуле:

$$M=\sum m \cdot l / \Sigma l,$$

где l – расстояние, на которое распространяется влияние значения данного замера мощности.

Объемная масса руды должна быть установлена с учетом естественной пористости, трещиноватости и кавернозности полезного ископаемого. Она определяется лабораторным или полевым способами. При применении лабораторного способа объемная масса определяется путем взвешивания образцов, покрытых пленкой парафина, в воздухе и в воде или взвешиванием и определением их объема в мерном сосуде. При полевом способе проходится горная выработка и вся добытая горная масса взвешивается, а пройденное пространство замеряется. Соотношение массы полезного ископаемого и объема даст объемную массу. Считается, что для определения объемной массы этим способом достаточно 10 м^3 полезного ископаемого. Этот способ более точный.

Объемная масса должна определяться для каждого сорта и типа полезного ископаемого, запасы которых учитываются самостоятельно. Количество определений объемной массы должно быть достаточным для надежного обоснования средних величин. Считается, что для однообразных по сложению полезных ископаемых достаточно 10-20, а для более сложных 20-30 определений объемной массы типичного материала для каждого сорта полезного ископаемого.

При этом обязательно учитывается *естественная влажность руды*, которая может достигать у отдельных полезных ископаемых 30-40 % и более. Учет естественной влажности необходим в связи с тем, что анализы проводятся с сухими навесками после просушивания проб при 105-110 ºС, а содержание полезных компонентов определяется для воздушно-сухой массы. Поэтому необходима поправка в содержание на влажность руды по формуле:

$$C_{вл.} = C_{сух.} \cdot (100 - B) / 100,$$

где $C_{вл.}$ – содержание полезного компонента по влажной руды, % или г/т; $C_{сух.}$ – то же в сухой руде; В – влажность, при которой определена объемная масса, %.

Чаще пересчитывают не содержание на сырую руду, а объемную массу сырой руды $D_{вл.}$ на сухую $D_{сух.}$ по формуле:

$$D_{сух.} = D_{вл.} \cdot (100 - B) / 100.$$

Естественная влажность определяется как отношение потери массы штуфа в результате высушивания к массе влажного образца и вычисляется путем сравнения массы проб влажного минерального сырья $Q_{вл.}$ с массой тех же проб, просушенных до постоянной массы при 105-110 ºС, $Q_{сух.}$, по формуле:

$$B = 100 \cdot (1 - Q_{сух.} / Q_{вл.}).$$

Необходимо учитывать, что влажность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от глубины залегания полезного ископаемого, времени года, уровня грунтовых вод и др.

Среднее содержание определяется как среднеарифметическое или средневзвешенное по скважине, выработке, горизонту, блоку, участку и месторождению в целом. Чаще всего применяют среднее содержание, взвешенное на длину проб, то есть на их мощность.

Поправочные коэффициенты вводятся для *уменьшения запасов* при прерывистом (дискретном) оруденении, разобщенности рудных тел, наличии безрудных даек, участков пустых пород, валунов и т. п. Коэффициенты для *увеличения запасов* применяются при избирательном выкрашивании рудных компонентов из керна, при намыве ценных компонентов при разработке россыпей. Могут вводиться поправочные коэффициенты на систематические погрешности химанализов, замеров мощностей в скважинах и др.

МЕТОДЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Существует довольно много разных методов подсчета запасов. Все они основаны на определении объема подсчетных контуров, которые сравниваются с равновеликими геометрическими фигурами. Запасы подсчитываются по простейшим формулам:

$$V = S \cdot m,\ Q = V \cdot d,\ P = Q \cdot C / 100,$$

где V – объем тела полезных ископаемых, S – площадь тела на проекции, m – средняя мощность, Q – запасы руды, d – объемная масса руды, C – среднее содержание полезного компонента в %.

Наибольшим распространением пользуются методы геологических и эксплуатационных блоков, разрезов и статистический.

Метод геологических блоков является универсальным для подсчета запасов плоских тел. При этом методе выделяют блоки разной величины, отличающиеся по степени разведанности, мощности, содержанию полезных компонентов, типам и сортам руд, технологическим свойствам, гидрогеологическим и горнотехническим условиям (рис. 42).

Частным случаем этого метода является *метод среднего арифметического,* когда все тело рассматривается как один подсчетный блок.

Метод эксплуатационных блоков применяется также для подсчета запасов плоских тел, разделенных горными выработками и буровыми скважинами на эксплуатационные блоки. Оконтуривание и подсчет запасов по каждому блоку аналогично методу геологических блоков (рис. 43).

Метод разрезов применяют для подсчета запасов изометричных, трудообразных и сложных по форме тел (рис. 44, 45). Разрезы могут быть *вертикальными* или *горизонтальными*. Заключенная между смежными разрезами часть рудного тела рассматривается как призма, если площади смежных сечений близки, или как пирамида, если эти сечения существенно различаются по площади. Объем части рудного тела между двумя разрезами определяется соответственно по формуле для призмы или пирамиды. Объем крайних блоков, каждый из которых опирается на один разрез, определяется по формуле клина. При непараллельных разрезах вносятся соответствующие поправки к подсчету объемов. Среднее содержание определяют вначале для каждого разреза. В блоке, ограниченном двумя разрезами, оно вычисляется как среднеарифметическое или средневзвешенное на площадь сечения.

При крайне дискретном оруденении подсчет запасов проводят *статистическими методами*. Это относится в основном к месторождениям IV группы, когда совмещаются разведка и эксплуатация. По результатам этих работ оценивается средняя продуктивность исследуемого участка и распространяется на менее изученную потенциально рудоносную часть месторождения.

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ СОПУТСТВУЮЩИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

К попутным полезным ископаемым относятся минеральные комплексы (горные породы, руды, подземные воды, рассолы), добыча которых при разработке основного полезного ископаемого экономически целесообразна. К *попутным компонентам* относятся заключенные в полезных ископаемых минералы, металлы и другие химические элементы в их соединениях, которые не имеют определяющего значения для промышленной оценки месторождения, но при переработке полезных ископаемых могут быть рентабельно извлечены и реализованы на внутреннем или международном рынке.

Попутные полезные ископаемые и компоненты в зависимости от форм нахождения, связи с основными для данного месторождения полезными ископаемыми и компонентами и с учетом требований, предъявляемых промышленностью к условиям их разработки (извлечения), разделяются на три группы (Шевелев, 2004). *К первой группе* относятся попутные полезные ископаемые, образующие самостоятельные пласты, залежи или рудные тела в породах, вмещающих основные рудные тела:

- железные руды на марганцевых месторождениях;

- серный колчедан, барит-полиметаллические руды, золотосодержащие кварциты на медноколчеданных месторождениях;
- свинцовые и медно-свинцовые руды на месторождениях медистых песчаников;
- огнеупорные глины, каолины на месторождениях бокситов и угля и др.

К этой же группе относятся вскрышные породы, по составу и свойствам пригодные для производства строительных материалов или для других целей, а также торф и в некоторых случаях почвенно-растительный слой и породы, пригодные для использования в сельском хозяйстве.

К жидким попутным полезным ископаемым относятся подземные воды, участвующие в обводнении подземных горных выработок, если они пригодны для водоснабжения, извлечения из них ценных компонентов или бальнеологических целей.

Ко второй группе относятся попутные компоненты, образующие собственные минералы, которые при обогащении могут быть выделены в самостоятельные концентраты или промпродукты, а в отдельных случаях накапливающиеся в продуктах обогащения основных компонентов в количестве, допускающем их последующее извлечение на экономически рациональной основе.

В эту группу могут быть объединены:
- титановые, медные и ванадийсодержащие минералы, золото- и кобальтсодержащий пирит, иногда апатит, гатчеттолит, бадделеит в железных рудах;
- сера (пирит и другие сульфиды), минералы свинца, цинка, серебра, самородное золото, кобальтсодержащий пирит в медноколчеданных рудах;
- молибденит в меднопорфировых месторождениях в гранитоидах, ванадийсодержащие минералы, апатит, титаномагнетит – в габброидах;
- минералы кобальта и серебра в медно-никелевых месторождениях;
- минералы меди, висмута, серебра, барит, флюорит в полиметаллических рудах и др.

К третьей группе относятся разного рода примеси в минералах основных и попутных компонентов (изоморфные, механические, микровключения собственных минералов и др.), а также органические, металлические или металлоорганические соединения в углях и углистых породах. Преобладающую часть попутных компонентов третьей группы составляют рассеянные элементы, широко распространенных в разных твердых полезных ископаемых при весьма низком содержании. К этой же группе относятся примеси в рудных минералах золота, серебра, платиноидов, тантала, молибдена и др.

При обогащении полезных ископаемых эти компоненты накапливаются в концентратах основных компонентов, а при переработке концентратов или непосредственном использовании полезных ископаемых в металлургическом, химическом, энергетическом и других производствах концентрируются в товарных продуктах или отходах.

К этой же группе относятся попутные компоненты, присутствующие в нефти и газе и выделяемые лишь при их переработке, а также заключенные в подземных минерализованных водах или рассолах. Состав попутных компонентов третьей группы зависит от вида полезного ископаемого и типа руд.

В полиметаллических рудах присутствует сурьма, кадмий, теллур, таллий, галлий, иногда германий.

Медноколчеданные руды обычно содержат селен, кадмий, теллур, реже таллий, индий, иногда кобальт, висмут, галлий и германий. В медистых песчаниках присутствует рений, реже германий, селен и таллий. В медно-никелевых рудах содержатся платиноиды, кобальт, сера, селен, теллур, таллий, галлий, германий.

Для медно-молибденовых руд характерно присутствие рения, селена, теллура, в меньшей степени индия, германия и галлия. Высокими концентрациями рения и низкими селена, теллура, германия и галлия характеризуются молибденовые руды.

Сульфидно-касситеритовым рудам обычно свойственны повышенные концентрации индия, кварц-касситеритовым и вольфрамитовым – скандия, иногда тантала. В кварц-золоторудных месторождениях нередко присутствует теллур, а в золотосульфидных – индий, кадмий, селен, теллур и платина.

Бокситы содержат галлий, ванадий, скандий, алуниты и нефелины – галлий и ванадий. Иногда в алюминиевом сырье в небольшом количестве содержится германий. В месторождениях калийных солей присутствует бром и рубидий, иногда цезий, в некоторых месторождениях каменной соли – литий.

В апатит-нефелиновых рудах содержится титан, галлий, стронций, редкие земли.

Угли и углистые породы могут содержать повышенное содержание германия, урана, галлия, реже – ванадия и рения. В подземных водах наряду с йодом и бромом присутствуют соединения магния, калия, бора, иногда лития, рубидия, цезия, стронция, германия и другие компоненты.

Изучение и геолого-экономическая оценка попутных полезных ископаемых и компонентов производится на всех стадиях геологоразведочных работ и в процессе освоения месторождения.

Запасы попутных полезных ископаемых (компонентов руд) должны подсчитываться способом, отвечающим характеру их залегания в месторождении или распределения в рудах, также учитывающим особенности промышленного использования запасов, которые определяют уровень и показатели их оценки.

При подсчете запасов попутных полезных ископаемых первой группы, образующих самостоятельные рудные и нерудные залежи во вскрыше месторождений, используются способы, применяемые при подсчете запасов аналогичных видов сырья в самостоятельных месторождениях.

Подсчет запасов попутных компонентов второй группы осуществляется в контурах запасов основного полезного ископаемого в соответствии с существующими для них требованиями. Для их изучения и оценки проводятся специальные минералого-геохимические исследования руд и отбираются групповые пробы.

Запасы попутных компонентов третьей группы подсчитываются и учитываются в месторождениях, целесообразность промышленного освоения которых обеспечивается экономикой извлечения основного компонента. При этом подсчет запасов попутных компонентов данной группы выполняется исключительно в пределах контура подсчета балансовых и забалансовых запасов основного компонента.

Комплексное изучение полезных ископаемых должно сопровождаться статистической обработкой результатов опробования на основные и попутные компоненты для обоснования возможности подсчета попутных компонентов корреляционно-регрессионным способом. Статистической обработке должно предшествовать выявление по данным минералогических исследований геохимической связи между отдельными попутными и основными компонентами, выражающейся в преобладании приуроченности того или иного попутного компонента к минералам одного из основных компонентов.

Параметры кондиций для подсчета запасов должны содержать:

- для каждого технологического типа полезного ископаемого – перечень попутных компонентов, запасы которых подлежат подсчету как балансовые;
- минимальное содержание попутных компонентов, учитываемые при приведении к условному содержанию основного компонента; переводные коэффициенты;
- минимальные содержания попутных компонентов в подсчетных блоках и отдельных рудных телах (залежах, пластах), если раздельная выемка и переработка полезных ископаемых с целью извлечения этих компонентов технически возможна и экономически целесообразна;
- дополнительные условия подсчета валовых и извлекаемых запасов попутных компонентов: по содержанию в рядовых или групповых пробах, по содержанию в минералах или концентратах, в целом по месторождению, по отдельным рудным телам или в подсчетных блоках.

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

Сопоставление данных разведки и эксплуатации показывает, что расхождения в определении контуров рудных тел, подсчетных параметров, количественных и качественных показателей неизбежны. Причины этого в том, что разведка осуществляется по прерывистой сети наблюдений, а за пределами разведочных выработок параметры оруденения определяются путем интерполяции и экстраполяции. С другой стороны, при эксплуатации имеют место потери и разубоживание руд, которые при проектировании эксплуатации учитываются приближенно, что тоже вносит свой вклад в расхождение данных разведки и эксплуатации.

Небольшие отклонения рассматриваются как погрешности подсчета запасов. Если ошибки значительны, то говорят о неподтверждении запасов или качества минерального сырья.

Погрешности, возникающие при подсчете, подразделяются на три основные группы: геологические, технические и методические.

Геологические погрешности, или ошибки аналогии, возникают в результате распространения фактических данных, полученных при разведке по отдельным выработкам и скважинам, на соседние участки. Эти погрешности подвержены резким колебаниям, величина их зависит от степени изменчивости параметров оруденения, а также от плотности и равномерности разведочной сети. Геологические погрешности приводят к наиболее крупным ошибкам подсчета запасов, достигающим для категорий А и В до 10-15 %, а в отдельных случаях и выше.

Наиболее типичными геологическими ошибками являются объединение разрозненных мелких рудных тел в крупные, включение в один блок разных по качеству, технологии переработки или условиям залегания руд.

Технические погрешности связаны с техникой замеров и определения исходных параметров для подсчета запасов. Эта группа включает точность замеров мощности, химических анализов, определения объемной массы, естественной влажности и т. д.

Технические ошибки могут быть случайными и систематическими. Неизбежные случайные погрешности обычно не оказывают существенного влияния на точность определения запасов, поскольку, обладая переменным знаком, они взаимно компенсируются.

Систематические погрешности значительно более опасны, так как искажают результаты подсчета запасов, регулярно завышая или занижая их. Если имеются данные о систематических погрешностях, то категории запасов должны быть снижены. Систематические погрешности и их величина устанавливаются специальными контрольными методами, которые позволяют определить соответствующие поправочные коэффициенты и откорректировать результаты подсчета. К ним относятся коэффициент рудоносности, поправочный коэффициент к результатам химических анализов, к объемной массе и др. Систематические погрешности считаются недопустимыми и требуют устранения, хотя это не всегда удается.

Методические погрешности связаны с применением разных методов подсчета запасов. В целом, применение того или иного метода не оказывает существенного влияния на результаты подсчета. Различия обычно составляют 1-5 %, что находится в пределах точности технических операций подсчета. Снизить методические погрешности до минимума позволяет выбор метода подсчета запасов, который наиболее полно соответствует методике разведки и особенностям геологического строения месторождения, дает возможность учитывать распределение качественных показателей (типов и сортов руд) и в то же время сократить затраты времени и средств на разведку.

Оценка погрешностей подсчета запасов в процессе разведки является довольно сложной операцией. В действующих нормативных документах рекомендуется осуществлять подсчет запасов несколькими методами (Шевелев, 2004; Авдонин 2007).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

В последнее время при подсчете запасов все в большей степени используют компьютерные технологии. В том числе, применяют приемы блочного моделирования, реализуемые на основе геоинформационных систем (Micromine, Surpak, Datamine и др.).

При обосновании методики моделирования необходимо учитывать особенности геологического строения месторождения, степень его изученности и последовательность проведения разведочных работ. Общая схема компьютерного моделирования и подсчета запасов включает:

- импорт базы геологоразведочных данных;
- проверку базы данных, ввод дополнительной информации;

- статистический анализ данных опробования и определение природных (естественных) бортовых содержаний компонентов;
- оконтуривание рудных тел с использованием кондиций и естественного бортового содержания;
- геометризацию месторождения – каркасное моделирование рудных тел, тектонических нарушений и т. д. (рис. 46);
- геостатистический анализ исследуемых компонентов;
- определение параметров интерполяции;
- блочное моделирование (рис.47);
- интерполяцию содержаний в блочную модель, используя альтернативные методы (обычный кригинг, индикаторный кригинг, метод обратных расстояний и др.);
- оценку запасов и их сравнение с более ранними оценками;
- классификацию запасов/ресурсов.

Схема построения блочной модели (БМ) показана на рисунке 48 (Рекомендации…, 2014).

Блочное моделирование основывается на разделении пространства месторождения на элементарные блоки (ячейки), в которых значения свойств объекта (в частности содержания полезного компонента) интерполируются из исходных данных опробования с учетом рассчитанных весовых коэффициентов. Для этого используются разные методы интерполяции, среди которых чаще применяются метод обратных расстояний (детерминистический способ) и кригинг (геостатистический метод).

Наиболее перспективным является *кригинг*, в основе которого лежат геостатистические исследования данных опробования. Геостатистика на сегодня является наиболее мощным инструментом для получения достоверной информации о запасах полезных ископаемых в недрах, оптимального планирования их отработки и проведения геологоразведочных работ. Геостатистический метод решает *две основные задачи*: нахождение наиболее вероятной оценки запасов руды и определение точности этой оценки.

Предварительной стадией геостатистического исследования является статистический анализ: расчет гистограммы распределений значений содержаний компонентов полезных ископаемых по классам, построение графика накопленных частот, подбор законов распределения данных и определение основных статистических параметров. Вид гистограммы позволяет фиксировать явные погрешности в исходных данных геологического опробования. Следующий этап – вариограммный анализ (вариография). Используется экспериментальная вариограмма, которая строится по результатам опробования (выборочным данным) и учитывает все пары проб, удаленных на некоторое расстояние. Вариограммный анализ начинается без учета направления вектора расстояния. Полученная функция отражает такие свойства случайной величины как: стационарность, наличие эффекта самородков, значение порога и зону влияния. Эти характеристики подбираются в интерактивном режиме с помощью моделирования теоретической функцией, аппроксимирующей дискретную экспериментальную вариограмму. Для дальнейшего исследования необходимо изучить характер корреляционных связей между пробами в различных направлениях, для чего следует

построить вариограммы по направлениям. Для каждого направления определяется зона влияния (см. раздел «11.3. Математические способы…). Это необходимый шаг для выявления анизотропии залежи и взаимного влияния значений случайных величин.

Следующей стадией после вариограммного анализа залежи является ее моделирование и оценка запасов. Размеры блоков блочной модели выбираются с таким расчетом, чтобы получить наиболее детальную оценку запасов по всему объему месторождения. Заключительный этап анализа – кригинг (геостатистическая оценка содержаний полезных ископаемых).

Кригинг. Предпосылкой развития геостатистических методов послужило расхождение между содержаниями многих металлов в разведочных пробах и в реально извлекаемых объемах руд. Точность оценки зависит от ряда факторов: количества проб и их значений, расположения проб (здесь важна равномерность их размещения), расстояния между пробами и точкой в середине оцениваемого блока, наличие пространственной непрерывности рассматриваемой переменной. Кригинг – метод интерполяции, который учитывает все эти факторы, был придуман южноафриканским горным инженером Д. Криге и потом усовершенствован Ж. Матероном.

В большинстве методов интерполяции сначала задается диаметр поискового круга (или эллипса). Все точки, попавшие в поисковый круг, используются для расчета взвешенного среднего, которое будет приписано середине элементарного блока. Веса, с которыми будут учитываться исходные точки, зависят (в той или иной мере) от расстояния от узла до этой точки. Разные методы интерполяции – это разные способы взвешивания исходных данных в зависимости от расстояния. В кригинге, как методе интерполяции, взвешивание производится сложнее, чем в других методах. Допустим, что в поисковый круг попали несколько проб. Расстояния между пробами и расстояния между серединой оцениваемого блока или его границами используется для снятия вариограмных значений с модельной вариограммы. Затем вариограмные значения заносятся в матрицы системы линейных уравнений; рассчитываются коэффициенты уравнений, которые и являются весами значений компонента в пробах. После рассчитывается оценка элементарного блока модели рудной залежи.

При решении способом, выбранным Ж. Матероном, появляется небольшое по величине число μ – множитель Лагранжа. Чем множитель меньше, тем более надежно решена система линейных уравнений.

Кригинговая оценка рассчитывается по формуле:

$$Z_k = \sum_{i=1}^{n} a_i Z_i,$$

где Z_k – кригинговая интерполяционная оценка изучаемой переменной; Z_i – значения переменной в n точках, попавших в круг поиска; a_i – веса. Обычно на практике в поисковый круг попадает несколько десятков или также сотен окружающих проб. Соответственно и матричное уравнение расширяется до сотен строк и столбцов. Считается, что кригинг – это интерполяционная процедура, дающая оценки с наименьшей дисперсией.

Другие методы интерполяции основаны на наличии заданной аналитической зависимости между значениями в пространстве, выраженной формулой. Наиболее часто используются линейные интерполяторы. К ним относится *метод обратных расстояний*

(IDW).При его использовании учитываются расстояния ячейки от близлежащих разведочных выработок. Чем дальше находится разведочная выработка от ячейки, тем слабее ее влияние. Значение параметра *z* в ячейке находят по формуле средневзвешенного:

$$z = \sum_{i=1}^{n}(z_i p_i / \sum p_i),$$

где z_i – значения параметра в разведочных выработках; p_i – весовые коэффициенты, зависящие от расстояния *r* ячейки от разведочных выработок; *n* – количество близлежащих разведочных выработок. Весовые коэффициенты определяют по формуле $p_i = 1/r_i^2$. В расчет параметра *z* включают разведочные выработки, расположенные не далее некоторого заранее заданного расстояния от ячейки. Если центр ячейки совпадает с какой-либо разведочной выработкой, значение *z* принимается таким же, как в разведочной выработке (Поротов, 2004).

В ГКЗ за последние два десятилетия накоплен достаточно большой опыт применения блочного моделирования при подготовке ТЭО и подсчете запасов. Примерами объектов, где блочное моделирование использовалось для решения сформулированных задач, являются золоторудные месторождения (Наталкинское, Тасеевское, Куранах, Дегдекан, Чертово Корыто, Верненское, участок Перевальный, Попутненское, Штурмовское и др.), урановорудные (Орловское, Березовское, Горное), медно-порфировые (Михеевское, Песчанка, Молмыж, Томинское и др.), редкометалльные (Зашихинское), а также ряд других. Запасы золоторудного месторождения Кючус утверждены ГКЗ по данным блочного моделирования (Рекомендации…, 2014).

Удовлетворительная сопоставимость результатов подсчета запасовдля разных вариантов кондиций отмечается для месторождений с зональным типом пространственного размещения оруденения, например, на медно-порфировых объектах (Песчанка, Томинское, Михеевское, Молмыж). Для корректной геометризации запасов в них может быть применена методика локального анизотропного кригинга (ЛАК). Она позволяет определить ориентировку осей анизотропии в локальных участках объекта на основе минимизации дисперсии по пробам, попадающим в границы эллипсоида при разных вариантах его положения. Эта процедура наиболее эффективна при достаточно плотной сети наблюдений.

На месторождениях сложного строения с высокой изменчивостью геологоразведочных параметров расхождения в оценке запасов отмечаются наиболее часто. Дополнительными факторами, осложняющими применение блочного моделирования, являются недостаточная плотность сети по отдельным участкам месторождения и высокие значения эффекта самородков. К объектам этого типа можно отнести жильные зоны, штокверки и штокверкоподобные золоторудные месторождения.

Основным приемом, позволяющим добиться удовлетворительной сопоставимости результатов для разных способов подсчета запасов, является построение каркасов, опирающихся на рудные интервалы, выделенных по соответствующим кондиционным показателям. Этот прием требует построения отдельных «жестких» каркасов для каждого варианта бортового содержания, но считается достаточно трудоемким.

Таким образом, информационные технологии являются т*ехническим*, а геостатистическое и блочное моделирование месторождений твердых полезных ископаемых – *методическим средством* подсчета запасов и технико-экономического

обоснования кондиций, удовлетворяющим требованиям международного аудита. Учет их необходим для рационального недропользования в Российской Федерации, а также привлечения иностранных инвестиций.

Контрольные вопросы по теме 4

1. Содержание и назначение промышленных кондиций
2. Основные кондиционные показатели
3. Применение и определение бортового содержания
4. Применение и определение минимального промышленного содержания
5. Виды контуров запасов полезных ископаемых
6. Последовательность оконтуривания запасов
7. Методические приемы оконтуривания запасов
8. Определение параметров подсчета запасов
9. Характеристика ведущих методов подсчета запасов
10. Особенности подсчета запасов попутных полезных ископаемых

Тема 5
Геолого-экономическая оценка месторождений

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЭО

Геолого-экономическая оценка (ГЭО) месторождений заключается в определении количества и качества запасов полезного ископаемого в недрах, выявлении условий залегания и добычи, обосновании технико-экономических показателей разработки. ГЭО – важнейшая составная часть геологоразведочного процесса. Она призвана определить промышленную значимость объекта в наиболее эффективном варианте его возможного промышленного освоения.

Основными задачами ГЭО являются (Временное…, 1998):

- определение количества и качества балансовых и забалансовых запасов, а также обоснование кондиций для их подсчета;
- расчет технико-экономических показателей промышленной ценности месторождения;
- обоснование оптимального варианта освоения месторождения;
- расчет размера регулярных платежей за право пользования недрами и др.

ГЭО промышленного значения месторождений производится на всех без исключения стадиях геологоразведочных работ и разработки (см. раздел 5 «Стадийность ГРР»). Однако содержание этого вида исследования во многом зависит от фактического материала, позволяющего дать объективную оценку качества и количества выявленных запасов или прогнозных ресурсов. Только на стадии разведки, в меньшей степени на стадии оценочных работ, могут быть получены достаточно полные сведения о геологическом строении объекта, позволяющие объективно охарактеризовать качество и количество запасов полезного ископаемого, технологические свойства минерального сырья, горнотехнические, гидрогеологические, экологические условия отработки. На стадиях регионального геологического изучения недр и поисковых работ оцениваются лишь прогнозные ресурсы. Практическая значимость прогнозных ресурсов определяется по результатам их ГЭО, когда устанавливается вероятное промышленное значение прогнозируемых месторождений.

Геологическое обоснование прогнозных ресурсов осуществляется в соответствии с Методическим руководством (Методическое руководство по оценке…, Богданов и др., 1986) и с учетом современных представлений по геолого-промышленных типам месторождений (на основе принципиальных геолого-генетических моделей процессов рудообразования).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭО

Географо-экономическая характеристика района

Приводится географическое и административное положение месторождения, его удаленность от ближайшей железнодорожной станции, автомобильных дорог, населенных пунктов и возможного потребителя сырья; природно-климатические условия; освоенность района, население, его занятость, возможные источники энергоснабжения, обеспеченность стройматериалами.

Геологическое строение района

Приводятся краткие сведения об изученности и геологическом строении района, о закономерностях размещения месторождений всех видов минерального сырья.

Геологическое строение месторождения

Особенности геологического строения; структурные, литологические и иные факторы, определяющие условия залегания, морфологию рудных тел, вещественный состав руд, распределение основных и попутных компонентов, а также вредных примесей; наличие обогащенных участков и закономерности их размещения; сведения об изменчивости основных параметров рудных тел по простиранию и падению. Наличие промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, подлежащих раздельной добыче и переработке; характеристика их качества. Наличие и закономерности распределения безрудных прослоев, характеристика слагающих их пород.

Для россыпных месторождений – характеристика особенностей формы, размеров и состава продуктивного «пласта», состава и мощности «торфов», строение плотика; содержание ценных компонентов; размер, форма и прочие особенности зерен полезных минералов, пробность золота.

Группа сложности месторождения в соответствии с классификацией запасов и прогнозных ресурсов.

Методика геологоразведочных работ

Сведения о проведенной топографической съемке, системе координат и привязке разведочных выработок.

Изученность поверхности месторождения – геологическая съемка, геохимические и геофизические исследования, проходка шурфов и канав.

Изученность глубоких горизонтов месторождения – система разведки; плотность разведочной сети; обоснование участка, разведанного по более высокой категории; сводная таблица видов и объемов геологоразведочных работ; объем выработок, участвующих в подсчете запасов.

Глубина, диаметры и конструкция разведочных скважин, способ и технология бурения, результаты замеров зенитных и азимутальных искривлений скважин. Выход керна линейный, по массе или объемный; интервалы с низким выходом керна, избирательное истирание керна, поправочные коэффициенты, выход шлама по массе или объемный при шарошечном или ударном бурении.

Методика и техника геофизических работ – основные результаты, случайные и систематические погрешности геофизических измерений.

Методика опробования буровых скважин и горных выработок, качество опробования, оценка достоверности результатов, наличие систематических погрешностей, поправочные коэффициенты, схема обработки проб. Групповые пробы, методика их составления.

Аналитические работы: объемы, методы проведения основных, контрольных и арбитражных анализов, соответствие их действующим стандартам или другим нормативным документам. Результаты обработки данных контроля, качество анализов,

оценка влияния низкого качества анализов на результаты подсчета запасов (определение мощности, площади рудных тел, содержания и т. п.). Обоснованность предполагаемых поправочных коэффициентов.

Методы и число определений объемной массы для разных типов и сортов полезных ископаемых. Обоснование значений объемной массы, принятых для подсчета запасов.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия. Основные водоносные горизонты, наиболее обводненные участки и зоны, их взаимосвязь с поверхностными водотоками, химический состав и бактериологическое состояние поверхностных и подземных вод; величина ожидаемых, а также максимально возможных водопритоков в горные выработки. Для россыпных месторождений, предназначенных для дражной отработки – возможность устройства плотин с целью подъема воды.

Источники питьевого и технического водоснабжения горного предприятия, оценка дальнейшего использования подземных вод месторождения для целей водоснабжения или извлечения ценных компонентов, а также их очистки при сбросе в поверхностные водотоки.

Инженерно-геологические особенности пород месторождения – состав, трещиноватость, тектоническая нарушенность, способность полезных ископаемых к самовозгоранию, радиационная характеристика полезного ископаемого и вмещающих горных пород, возможность возникновения оползней, селевых потоков и т. д. При наличии многолетней мерзлоты необходимо выявить глубины распространения и температурный режим.

ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Способ разработки месторождения

Выбор способа разработки месторождения зависит от глубины и условий залегания тел полезных ископаемых и производится с учетом экономико-географических и горно-технологических факторов. Оценке подлежат следующие варианты освоения месторождения:

- открытый способ,
- подземный,
- открытый и подземный (комбинированный),
- геотехнологический.

Применение открытого способа разработки устанавливается с помощью предельного коэффициента вскрыши ($К_в^п$), вычисляемого по формуле:

$$К_в^п = (С_п – С_о) / С_в,$$

где $С_п$ – себестоимость добычи 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $С_о$ – то же при открытых работах без учета затрат на выемку пустых пород; $С_в$ – себестоимость 1 т вскрыши, руб.

При комбинированном способе границу освоения месторождения открытым способом устанавливают исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого открытым и подземным способами.

Система разработки

Выбор системы разработки и ее основных элементов производится исходя из анализа геологических и горнотехнических условий месторождения.

Потери и разубоживание

Их величину следует устанавливают в значениях, характерных для принятой системы разработки с учетом горно-геологических условий месторождения.

Величина потерь обычно составляет:

- 3-7 % при системах отработки с креплением и закладкой очистного пространства;
- 8-20 % с открытым выработанным пространством и магазинированием руды;
- 15-20 % с массовым обрушением;
- 4-6 % при открытом способе разработки.

Величины разубоживания:

- 5-10 % при системах с магазинированием, креплением и закладкой выработанного пространства;
- 15-20 % при системах с массовым обрушением;
- 5-10 % при открытом способе разработки.

Производительность предприятия и продолжительность периода разработки являются важнейшими оценочными показателями, определяющими себестоимость добычи, капитальные вложения в промышленное строительство и сроки строительства предприятия. Устанавливаются в зависимости от запасов месторождения, особенностей геологического строения, горно-технических условий эксплуатации. Если существуют ограничения потребности в данном сырье, особые природоохранные и другие факторы, регламентирующие добычу, то ограничивается и производительность предприятия.

В зависимости от величины эксплуатационных запасов, горно-геологических особенностей месторождения и способа отработки, годовую производительность можно определить, руководствуясь горно-техническими условиями. Порядок ее расчета установлен в нормах технологического проектирования и осуществляется при оценке объекта по результатам разведки в базовых вариантах оконтуривания.

Для расчета годовой производительности по добыче руды при оценке по результатам поисковых и оценочных работ можно использовать метод аналогии или рекомендовать упрощенные методы, отражающие статистическую зависимость между величиной эксплуатационных запасов и средней продолжительностью работы рудника. В этих целях используются табличные материалы, подготовленные ВИЭМС и представленные в методических разработках для практических занятий.

Для расчета эксплуатационных запасов руд ($З_э$) используется следующая формула:

$$З_э = З \cdot (1 - п) / (1 - р),$$

где З – запасы полезного ископаемого в недрах, тыс. т; п – потери при добыче, доли ед., р – разубоживание при добыче, доли ед.

Коэффициент изменения качества руды при добыче (Р) можно рассчитать, допуская отсутствие полезного компонента в засоряющих породах, по формуле:

$$Р = 1 – р.$$

Этот упрощенный метод, предложенный Тэйлором (Хилл, 1999), позволяет рассчитывать годовую производительность как частное от деления эксплуатационных запасов на срок эксплуатации.

Следует подчеркнуть, что рассчитанная тем или иным способом годовая производительность предприятия является проектной и ее достижение требует определенного срока. Применительно к оценочным расчетам в условиях рыночных отношений неучет фактора времени достижения проектной производительности приводит к существенному искажению результатов экономической эффективности освоения месторождения независимо от того, проводится ли оценка по результатам поисковых, оценочных или разведочных работ.

Нужно учитывать также опыт рационального обеспечения запасами горнорудных предприятий:

- на 20-25 лет обычно обеспечиваются запасами рудники и карьеры черной металлургии, а крупные горнодобывающие комбинаты – не менее чем на 40 лет;
- на 30-40 лет – крупные горнорудные предприятия алюминиевой, медной, свинцово-цинковой и никелевой промышленности;
- на 20-30 лет – крупные предприятия по добыче вольфрама, молибдена, олова и др.;
- на 15-20 лет – золоторудные предприятия;
- на 5-10 лет – небольшие предприятия, эксплуатирующие богатые месторождения цветных металлов, золота и ценных видов неметаллического сырья, а также россыпные месторождения благородных и редких металлов, горнодобывающие предприятия химической промышленности и промышленности строительных материалов.

При определении фактического коэффициента вскрыши отстраивают схему освоения месторождения открытым способом. Верхний контур карьера откладывают соответственно результирующему углу наклона бортов карьера. Эти углы зависят от крепости пород (по М. М. Протодьяконову) и глубины карьера. Рекомендуемые значения также приводятся в специальных таблицах, представленных в методических разработках для практических занятий.

Для выполнения расчетов следует:

- вынести на план контуры верхнего и нижнего оснований карьера, а при необходимости и промежуточного контура (на уровне рыхлых отложений);
- определить объем карьера ($V_к$) по формулам:

$$V_к = [(S_в + S_н) / 2] \cdot H \text{ или } V_к = [(S_в + S_н + \sqrt{S_B \cdot S_H}) / 3] \cdot H,$$

где $S_в$ и $S_н$ – площади верхнего и нижнего оснований карьера, м^2; H – глубина карьера, м. Вторая формула применяется, если $S_в > S_н$ на 40 %;

- вычислить объемный коэффициент вскрыши ($K_в$):

$$K_в = (V_к – V_р) / V_р,$$

где $V_к$ – объем карьера, м^3; $V_р$ – объем руды, м^3;

- рассчитать (при необходимости) предельный коэффициент вскрыши ($K_в^п$):

$$K_в^п = (З_п – З_о) / З_в,$$

где $З_п$ – затраты (себестоимость) на добычу 1 т руды при подземном способе разработки, руб.; $З_о$ – то же при открытых работах; $З_в$ – затраты на выемку 1 т вскрышных пород при открытом способе, руб.

Если фактически коэффициент вскрыши меньше предельного ($К_в<К_в^п$), то целесообразен открытый способ разработки месторождения; если отмечена обратная зависимость ($К_в>К_в^п$), то подземный.

Расчет годовой производительности горнодобывающего предприятия во многом определяется горнотехническими условиями отработки и зависит, в первую очередь, от величины эксплуатационных запасов. Таблицы для упрощенного определения годовой производительности также приводятся в методических разработках для лабораторных занятий (Угрюмов, Дворник, 2004; Баранников, Макарова, 2002).

Годовая производительность по руде ($А_р$) может быть также определена по формуле:

$$А_р = З / Т,$$

где $Т$ – срок существования рудника, лет.

Производительность горнодобывающего предприятия по горной массе ($А_{гм}$) определяется по формуле:

$$А_{гм} = А_р \cdot (1+К_в).$$

Для расчета производительности по горной массе также можно воспользоваться эмпирической зависимостью:

$$А_{гм} = 42S – 10^5 \cdot S^2,$$

где S – средняя по глубине горизонтальная площадь проектного карьера.

Расчет годовой производительности по нормам технологического проектирования осуществляется, как правило, в базовых вариантах оконтуривания. В промежуточных вариантах годовую производительность по руде ($А_р$) рассчитывают по формуле:

$$А_р = \sqrt[a+b]{З_э},$$

где $З_э$ – эксплуатационные запасы руды, тыс. т; a, b – числовые коэффициенты, определяемые путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} А_{р1} = \sqrt[a+b]{З_{э2}} \\ А_{р2} = \sqrt[a+b]{З_{э1}} \end{cases}$$

В соответствии с принятой системой разработки и выбранной производительностью в горнотехнической части также рассматриваются: условия воздухо- и водоснабжения, вентиляции, откатки и подъема полезного ископаемого при подземной разработке, транспортировки вскрыши в отвал, а полезного ископаемого на фабрику. С учетом этого выбирается основное оборудование, режим работы предприятия, определяются укрупнено объемы работ по электро-, тепло- и водоснабжению.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

Обоснование технологии переработки минерального сырья. Базируется на данных изучения его вещественного состава, структурно-текстурных особенностей, физико-механических и других свойств, на результатах технологических испытаний, а также передового опыта переработки (обогащения) аналогичных видов минерального сырья. При

наличии на месторождении нескольких технологических типов руд, подлежащих раздельной переработке, технология переработки обосновывается для каждого из них.

Объемы и виды технологических исследований. Должны быть достаточны для выбора технологической схемы переработки минерального сырья и обоснования ее основных показателей. К ним относятся качество получаемой товарной продукции, ее выход от исходного минерального сырья, а для рудных месторождений – извлечение основных и попутных компонентов в товарную продукцию в процентах.

В соответствии с выбранной схемой обогащения составляется материальный баланс, согласно которому количество металла, поступившего на обогащение, равно количеству металла, просуммированного по продуктам обогащения. Связь основных показателей обогащения выражается в виде следующей формулы:

$$И_{об} = (В_к \cdot М_к) / М_р,$$

где $И_{об}$ – извлечение при обогащении, %; $В_к$ – выход концентрата, %; $М_к$ и $М_р$ – содержание металла в концентрате и добытой руде, соответственно, %.

При упрощенных расчетах, когда широко используются технико-экономические показатели предприятий-аналогов, коэффициент извлечения металла в концентрат иногда принимают по аналогии. В этом случае может оказаться необходимым обосновать уже другой показатель – выход концентрата (Вк) в тоннах по формуле:

$$В_к = [И_{об} \cdot М_р \cdot (1 - р)] / М_к,$$

где р – показатель разубоживания, доли ед.

При этом расход руды на получение 1 т концентрата (q):

$$q = 1 / В_к.$$

Добытое полезное ископаемое может перерабатываться на вновь построенной на месторождении обогатительной фабрике или на действующих в регионе предприятиях, имеющих свободные мощности или требующих увеличения мощностей по переработке сырья. Выбор местонахождения обогатительной фабрики обосновывается экономическими расчетами.

Производительность обогатительной фабрики по руде в конкретных условиях зависит от масштаба производства снабжающих ее рудников. Как правило, при оценке месторождений она принимается равной годовой производительности предприятия по добыче руды.

При оценке рудных месторождений конечной товарной продукцией обычно является сам металл. Поэтому процесс переработки минерального сырья следует оценивать, включая металлургический передел. Для этого необходимы сведения о технологической схеме переработки концентратов, извлечении полезных компонентов в конечную товарную продукцию, а также перечень выпускаемой конечной товарной продукции по маркам. Эти показатели принимаются по фактическим данным металлургических предприятий, на которых предусматривается переработка концентратов и промпродуктов из руд оцениваемого месторождения.

Сквозное извлечение металла в конечный товарный продукт (И) с учетом металлургического передела:

$$И = И_{об} \cdot И_м,$$

где $И_м$ – извлечение при металлургическом переделе, доли ед.

Изучение поведения попутных компонентов в процессе переработки. Изучается содержание попутных компонентов в продуктах обогащения, баланс распределения каждого попутного компонента по минералам и продуктам.

Определение состава и свойств отходов. Исследуется состав и свойства отходов, возможность их промышленного использования, целесообразность учета количества отдельных видов отходов или утверждение их запасов.

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изучение и прогнозирование воздействия результатов геологоразведочных работ, а также разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду, является обязательной составной частью ГЭО (Временное…, 1998). Полученные при этом данные должны способствовать ликвидации их негативных последствий, получению исходных данных, необходимых для комплексного промышленного освоения, а также разработке рационального комплекса природоохранных мероприятий, определению их стоимости на разных стадиях изучения и геолого-экономической оценке месторождений. Результаты отмеченных исследований проходят экологическую экспертизу.

Влияние геологоразведочных работ и промышленного освоения месторождений на окружающую среду многоаспектно. Оно может выражаться в нарушении природного ландшафта территории, изменении режима поверхностных и подземных вод, загрязнении воздушного и водного бассейнов, выводе из хозяйственного оборота или снижении продуктивности плодородных земель и других негативных воздействиях. Характер и степень этого влияния в значительной мере обусловлены способом ведения геологоразведочных работ и отработки месторождения, а также составом добываемых и перерабатываемых полезных ископаемых, технологией их обогащения, металлургического и химического передела, степенью очистки отходящих газов и сточных вод.

Предотвращение или нейтрализация отрицательного воздействия освоения месторождения на природную среду возможны только при наличии максимально полной информации о характере объекта и условиях его эксплуатации. Она должна быть получена в процессе разведочных работ и использована для выработки соответствующих проектных решений и природоохранных мероприятий.

Все эти вопросы, разобранные с той или иной степенью достоверности (в зависимости от собранного материала), находят отражение в разрабатываемых ТЭД и ТЭО.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ

В данном разделе приводится обоснование величины инвестиций (капитальных вложений и оборотных средств) в освоение месторождения, а также эксплуатационных затрат, связанных с добычей и обогащением полезного ископаемого. Рассчитываются показатели эффективности освоения месторождений, выбирается оптимальный вариант их освоения.

В практике оценки месторождений полезных ископаемых существует два основных метода определения капитальных затрат и производственных (эксплуатационных)

расходов: 1 – прямой расчет и 2 – метод аналогии. *Прямые расчеты* более точны и надежны. Они позволяют учесть все специфические особенности проекта. Однако на ранних стадиях изучения объекта данных для прямого расчета недостаточно, и тогда для предварительной оценки необходимых вложений используется *метод аналогии*, который может применяться в двух модификациях. В первом случае выбирается непосредственный объект-аналог – месторождение того же геолого-промышленного типа, расположенное в том же регионе, близкое по геологическим, горнотехническим и горно-технологическим условиям. Технико-экономические показатели объекта-аналога принимаются за основу для проведения расчетов. Вторая модификация предусматривает оценку необходимых затрат с помощью укрупненных показателей – удельных капиталовложений на разные виды работ. Удельные капвложения – это затраты, отнесенные на единицу объема работ – на 1 т руды, на 1 км строительства дороги, на 1 км проведения ЛЭП и т. д. Удельные показатели определяются отраслевыми институтами – ВИЭМС в Москве, ИГД в Екатеринбурге и др. на основе анализа деятельности профильных предприятий, и позиционируются как соответствующие нормативы.

Обоснование инвестиций в освоение месторождений

Инвестиции включают в себя капитальные вложения на фонды промышленного и непромышленного назначения, а также инвестиции в оборотный капитал.

К *фондам промышленного назначения* относятся рудник с комплексом горно-капитальных выработок, зданий, сооружений и оборудования; обогатительная фабрика с объектами хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения; участок автомобильных дорог и железнодорожных путей от месторождения до существующих путей сообщения; службы энерго-, водо- и теплоснабжения, канализации и т. д. *Непромышленные фонды* – это объекты социального, жилищного и бытового назначения.

1. Капитальные вложения в строительство рудника.

Определяются в соответствии с намеченным способом разработки, исходя из годовой производительности и капитальных удельных вложений на горно-капитальные работы, оборудование, здания и сооружения в соответствии с глубиной разработки и с учетом территориального поправочного коэффициента. Учитываются также затраты на получение лицензий: права на пользование землей и недрами, на определенные виды деятельности; организационные расходы, включая регистрацию предприятия; затраты по компенсации потерь от изъятия земель и другие расходы, связанные со строительством объектов.

Капитальные вложения в строительство карьера, рудника могут быть определены по формуле:

$$K_{\text{р}} = K_{\text{ур}} \cdot A_{\text{р}},$$

где $K_{\text{ур}}$ – удельные капитальные затраты на 1 т годовой производительности по руде или горной массе, руб.; $A_{\text{р}}$ – производительность рудника по руде или горной массе, т/год. Удельные показатели принимаются в соответствии с действующими нормативами, приведенными в методических разработках к лабораторным занятиям.

2. Капитальные вложения в строительство обогатительной фабрики.

Определяются с учетом ее производительности и удельных затрат на 1 т производственных мощностей по переработке минерального сырья, а также территориального поправочного коэффициента.

Для определения капитальных вложений в строительство обогатительной фабрики на основе удельных показателей используется формула:

$$K_{ф} = K_{уд} \cdot A_{ф},$$

где $K_{уд}$ – удельные капвложения на 1 т годовой производительности, руб.; $A_{ф}$ – годовая производительность фабрики.

3. Капитальные вложения в строительство автомобильных и железных дорог, линий электропередач, водоснабжение и прочее также определяются в соответствии с нормативами удельных капитальных вложений на 1 км сооружений, их протяженностью и поправочными коэффициентами, учитывающими район строительства и рельеф местности.

4. Капитальные вложения на предстоящие геологоразведочные работы учитываются, исходя из запасов месторождения, а также из удельных затрат на разведку 1 т руды запасов категорий $A+B+C_1$, и относятся к первому году строительства горнорудного предприятия. Они определяются по данным объектов-аналогов или методом прямого расчета путем составления сметы на проведение геологоразведочных работ.

5. Прочие капитальные вложения в строительство объектов жилищного, коммунального и культурно-бытового назначения определяются исходя из числа трудящихся на горном предприятии и удельных затрат на одного человека при строительстве этих объектов.

6. Общие капитальные затраты ($K_{общ}$) определяются как сумма затрат на строительство рудника (карьера), обогатительной фабрики, затрат на транспорт, строительство линий электропередач, затрат на геологоразведочные работы и прочих.

Прочие капитальные вложения ориентировочно можно принять в размере 10-15 % для малых и средних объектов и 20-25 % для крупных от суммы капитальных затрат на строительство рудника (карьера) и обогатительной фабрики.

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты, связанные с добычей и обогащением полезного ископаемого, состоят из цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов. Они определяют себестоимость продукции горно-обогатительного предприятия. Эксплуатационные затраты также устанавливаются прямым расчетом или с использованием показателей существующих предприятий, разрабатывающих аналогичные месторождения в сходных географо-экономических условиях.

1. Цеховые эксплуатационные затраты

При подземной добыче полезного ископаемого цеховые эксплуатационные затраты определяются с помощью укрупненных нормативных показателей себестоимости добычи руды в зависимости от годовой производительности рудника, глубины разработки, варианта вскрытия и системы добычи.

При открытой добыче цеховые затраты рассчитываются с помощью укрупненных нормативов в зависимости от годовой производительности, типов и размеров основного оборудования, транспортных средств, глубины карьера и коэффициента вскрыши.

Затраты на рекультивацию нарушенных земель, которые входят в цеховые эксплуатационные затраты, определяются исходя из площади нарушенных земель и удельных затрат на рекультивацию 1 га.

Затраты по обогащению полезного ископаемого определяются с помощью укрупненных нормативных показателей цеховой себестоимости в соответствии с намеченной производительностью фабрики, способом обогащения и составом руд.

2. Общекомбинатские расходы зависят от цеховой себестоимости добычи, обогащения и составляют обычно 8-10 % от цеховых расходов.

3. *Внепроизводственные расходы* складываются из цеховых погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки концентрата до линии железной дороги общего пользования. Укрупненно они могут быть приняты в размере 3-5 % от цеховой себестоимости.

Затраты по охране окружающей среды зависят от характера производственной деятельности и местных условий, рассчитываются отдельно и включаются в эксплуатационные затраты.

Общая величина эксплуатационных затрат определяется как сумма цеховых, общекомбинатских и внепроизводственных расходов, а также затрат по охране среды.

Показатели эффективности освоения месторождения

При оценке эффективности освоения месторождения соизмерение разновременных затрат и показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к базисному моменту времени – началу строительства горнодобывающего предприятия. Это реализуется их умножением на коэффициент дисконтирования:

$$K_{\text{д}} = \frac{1}{(1+\text{E})^{t}},$$

где t – номер расчетного года, начиная от начала строительства горнодобывающего предприятия; E – норма дисконтирования, которая принимается равной приемлемой для инвестора норме дохода или прибыли на капитал (процентная ставка). Эта норма устанавливается на таком уровне, который позволил бы инвестору не только компенсировать риск, но и получить требуемую прибыль. Обычно эта норма при постоянных ценах в горной промышленности колеблется в следующих пределах:

- от 10-12 % при разработке месторождений строительных материалов;
- 15-18 % при разработке месторождений черных и цветных металлов;
- до 20-25 % при разработке месторождений золота.

Кроме того, для учета фактора времени в экономических расчетах применяется коэффициент ежегодной ренты (аннуитета), который определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{а}} = \frac{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} - 1}{(1+\text{E})^{\text{Тэ}} \text{ x E}}$$

Коэффициенты дисконтирования и аннуитета, рассчитанные для разных значений E и t, приводятся в виде справочных таблиц в методических разработках по практике ГЭО.

Основными показателями экономической эффективности освоения месторождения являются:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);
- срок окупаемости капитальных вложений (То);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- рентабельность предприятия по отношению к производственным фондам (Рф);
- рентабельность предприятия по отношению к эксплуатационным затратам (Рэ).

Чистый дисконтированный доход определяется как сумма чистых доходов за весь расчетный период:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^t}\right),$$

где t = 1, 2, 3…T – количество лет от начала строительства до ликвидации предприятия; Ц_t – стоимость продукции (выручка) в t-м году, руб.; З_t – эксплуатационные затраты, произведенные в том же году без учета амортизационных отчислений, руб.; K_t – капитальные вложения (инвестиции) в t-м году, руб.; Е – норма дисконтирования.

С использованием соответствующего коэффициента дисконтирования формула несколько упрощается:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - \text{З}_t)\cdot K_{\text{д}}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot K_{\text{д}}\right).$$

Если ЧДД положителен, освоение месторождения эффективно; при отрицательном ЧДД освоение окажется неэффективным как не отвечающее установленной норме дохода.

На начальных стадиях изучения месторождения не представляется возможным определить величину выручки, эксплуатационных затрат и капитальных вложений по отдельным годам. Поэтому величины выручки и затрат принимаются постоянными за все время разработки, а величину капитальных вложений – постоянной за все время строительства. Средняя величина дохода определяется по формуле:

$$\text{Д}_\text{г} = \text{Ц}_\text{г} - \text{З}_\text{г},$$

где $\text{Д}_\text{г}$ – среднегодовой доход; $\text{Ц}_\text{г}$ – среднегодовая стоимость продукции (выручка) за год; $\text{З}_\text{г}$ – среднегодовые эксплуатационные затраты, включая амортизационные отчисления.

Среднегодовой доход с амортизационными отчислениями ($\text{Д}^1_\text{г}$) будет:

$$\text{Д}^1_\text{г} = \text{Д}_\text{г} + \text{А}_\text{о},$$

где $\text{А}_\text{о}$ – амортизационные отчисления.

В этом случае ЧДД определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{э}}\text{ x Е}} - K_\text{г}\cdot\frac{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}-1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}\text{ x Е}},$$

где $K_\text{г}$ – среднегодовая величина капитальных вложений; $T_\text{э}$ – срок эксплуатации месторождения; $T_\text{с}$ – срок строительства предприятия.

Подставляя коэффициенты дисконтирования и аннуитета, формулу можно значительно упростить:

$$\text{ЧДД} = \text{Д}^1_\text{г}\cdot K_{\text{аэ}}\cdot K_{\text{дс}} - K_\text{г}\cdot K_{\text{ас}},$$

где $K_{\text{аэ}}$ – коэффициент аннуитета на срок эксплуатации, $K_{\text{дс}}$ – коэффициент дисконтирования на срок строительства, $K_{\text{ас}}$ – коэффициент аннуитета на срок строительства.

Индекс доходности (ИД) показывает, во сколько раз приведенные доходы превышают приведенные капитальные вложения:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_t)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)}$$

Или на начальных этапах изучения месторождения:

$$\text{ИД} = \frac{Д_г^1\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_э}-1}{(1+\text{E})^{T_э}\cdot\text{E}}\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^{T_c}}}{\text{Кг}\cdot\frac{(1+\text{E})^{T_c}-1}{(1+\text{E})^{T_c}\text{ x E}}}.$$

Или с использованием коэффициентов:

$$\text{ИД} = (Д^1_г \cdot К_{аэ} \cdot К_{дс}) / (К_г \cdot К_{ас}).$$

Разработка месторождения эффективна, если индекс доходности больше 1.

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_о$) – временной интервал с момента начала разработки месторождения, за который приведенные доходы уравнивают приведенные капитальные вложения. Срок окупаемости определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{To}\left[(\text{Ц}_t - 3_e)\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right] = \sum_{t=1}^{To}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{E})^t}\right)$$

или на начальных стадиях изучения месторождений

$$T_о = -\frac{\log\left\{1-\frac{K_г}{Д_г^1}[(1+\text{E})^{tc}-1]\right\}}{\log(1+E)}.$$

Логарифмирование производится по любому основанию, так что можно применять как натуральные логарифмы, так и десятичные.

Возможно определение $T_о$ и графическим способом (рис. 49).

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта, при которой величина приведенных доходов уравнивает приведенные капитальные вложения. ВНД определяется из условия (в неявной форме):

$$\sum_{t=1}^{T}\left[(\text{Ц}_t - 3_e)\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t\cdot\frac{1}{(1+\text{ВНД})^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения месторождения ВНД определяется из условия:

$$Д^1_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_э}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_э}\cdot\text{ВНД}} = К_г\cdot\frac{(1+\text{ВНД})^{T_c}-1}{(1+\text{ВНД})^{T_c}\cdot\text{ВНД}}$$

Ориентировочная величина ВНД определяется соотношением: ВНД = 75 / $T_о$, %.

На практике часто применяется простой графический способ определения ВНД. Для этого рассчитывается 3 значения ЧДД при разной величине Е и строится график, на котором в выбранном масштабе по вертикальной оси откладываются ЧДД, а по горизонтальной – Е. По трем точкам проводится прямая, которая пересечет горизонтальную ось в точке, соответствующей значению ВНД (рис. 50).

Рентабельность разработки месторождения по отношению к основным производственным фондам ($Р_ф$) вычисляется по формуле:

$$Р_ф = П_ч / Ф \cdot 100\ \%, \text{ или } Р_ф = Д_г / К \cdot 100\ \%,$$

где $П_ч$ – среднегодовая прибыль после уплаты налогов; Ф – стоимость производственных фондов предприятия (основных и оборотных средств); $Д_г$ – среднегодовой доход; $К$ – капитальные вложения в освоение месторождения.

Рентабельность предприятия по отношению к годовым эксплуатационным затратам ($Р_з$) может быть определена по формулам:

$$Р_з = П_ч / З_г \cdot 100\ \% \text{ или } Р_з = Д_г / З_г \cdot 100\ \%,$$

где $З_г$ – годовые затраты, руб.

С учетом, платежей, налогов и отчислений расчет показателей ГЭО осуществляется в следующем порядке.

Величина годовой прибыли ($П_г$) определяется по формуле:

$$П_г = Ц_г – (З_г + Н_э),$$

где $Ц_г$ – среднегодовая стоимость продукции без налога на добавленную стоимость (выручка); $З_г$ – среднегодовые эксплуатационные затраты с учетом амортизационных отчислений; $Н_э$ – величина налогов, платежей, отчислений, учитываемая в структуре эксплуатационных затрат. К ним относятся, в первую очередь, налог на добычу и дорожный налог.

Величина чистой годовой прибыли ($П_ч$) определяется по формуле:

$$П_ч = П_г – Н_п,$$

где $Н_п$ – величина налогов, платежей, отчислений, изымаемая из прибыли. Основную их часть составляют налоги на прибыль и на имущество.

Величина чистой годовой прибыли с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) определяется по формуле:

$$П^1_ч = П_ч + А_о,$$

где $А_о$ – амортизационные отчисления, определяемые в соответствии с действующими нормами амортизации.

При расчетах показателей эффективности используется чистая годовая прибыль с амортизационными отчислениями ($П^1_ч$) за исключением расчета рентабельности ($Р_ф$, $Р_з$), где используется чистая годовая прибыль $П_ч$.

Вычисление показателей экономической эффективности освоения месторождения с учетом существующих налогов, платежей и отчислений осуществляется по формулам:

$$ЧДП = \sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] - \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right),$$

$$ИП = \frac{\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right]}{\sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)}$$

$T_о$ определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{To}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right] = \sum_{t=1}^{To}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+Е)^t}\right)$$

ВНП определяется из условия:

$$\sum_{t=1}^{T}\left[П_t^1 \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right] = \sum_{t=1}^{T}\left(K_t \cdot \frac{1}{(1+ВНД)^t}\right)$$

На начальных стадиях изучения используются соответственно следующие формулы:

$$ЧДП = П_ч \cdot \frac{(1+Е)^{Tэ}-1}{(1+Е)^{Tэ} \cdot Е} - K_г \cdot \frac{(1+Е)^{Tс}-1}{(1+Е)^{Tс} \cdot Е} \text{ или}$$

$$ЧДД = П_ч \cdot К_{аэ} – K_г \cdot K_{ас},$$

$$\text{ИП} = \frac{\text{П}^1_\text{ч} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_\text{э}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_\text{э}} \cdot \text{Е}} \cdot \frac{1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}}}}{\text{Кг} \cdot \frac{(1+\text{Е})^{T_\text{с}} - 1}{(1+\text{Е})^{T_\text{с}} \cdot \text{Е}}}, \text{ или ИП} = \text{П}_\text{ч} \cdot K_\text{аэ} / K_\text{г} \cdot K_\text{ас},$$

$$T_\text{о} = - \frac{\log\left\{1 - \frac{K_\text{г}}{\text{П}^1_\text{ч}}[(1+\text{Е})^{T_\text{с}} - 1]\right\}}{\log(1+E)},$$

ВНП определяется из условия:

$$\text{П}^1_\text{ч} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_\text{э}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_\text{э}} \cdot \text{ВНД}} = K_\text{г} \cdot \frac{(1+\text{ВНД})^{T_\text{с}} - 1}{(1+\text{ВНД})^{T_\text{с}} \cdot \text{ВНД}},$$

$$\text{Р}_\text{ф} = \text{П}_\text{ц} / \Phi \cdot 100\ \%,$$

$$\text{Р}_\text{з} = \text{П}_\text{ц} / \text{З}_\text{г} \cdot 100\ \%.$$

Денежный поток при разработке месторождения является дополнительным показателем эффективности освоения. Его составляющими являются приток и отток средств по годам с начала деятельности горного предприятия. Источниками притока средств являются выручка от реализации производственной продукции и реализации остаточных производственных фондов при ликвидации предприятия, сокращение величины оборотных средств. Основными составляющими оттока средств являются эксплуатационные расходы, налоговые выплаты, платежи и отчисления, которые не входят в структуру эксплуатационных затрат, увеличение оборотных средств, отчисления в развитие геологоразведочных работ и т. д. Суммарная разность между притоком и оттоком средств за весь период существования предприятия называется *чистым денежным потоком*. Если величины этого потока приводят к началу разработки месторождения, то суммарная величина этих значения является дисконтированным чистым денежным потоком. При определении денежного потока при разработке месторождения конкретным частным предприятием при оттоке средств, кроме того, учитывается погашение взятого кредита банка на строительство горного предприятия и выплата процентов по этому кредиту.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обоснование оптимального варианта освоения месторождения осуществляется на основе сопоставления его технико-экономических показателей при разных значениях бортового содержания, а именно: величины запасов полезных компонентов, размера капитальных вложений, эксплуатационных затрат, чистого дисконтированного дохода и т. д. Полный перечень этих показателей, а также пример повариантных технико-экономических расчетов для полиметаллического месторождения приводится в методических разработках для лабораторных занятий по дисциплине «Разведка и ГЭО МПИ».

Ни один из показателей не является достаточным для окончательного вывода о предпочтении того или иного варианта оконтуривания или подсчета запасов. Однако каждый из них должен отвечать заранее обусловленным требованиям инвестора: чистый дисконтированный доход и внутренняя норма доходности должны быть не меньше заранее установленной величины; срок окупаемости капитальных вложений – не более намеченного времени и т. п.

В целом, промышленное значение месторождения определяется экономической эффективностью его разработки. Наряду с этим необходимо учитывать потребность промышленности в данном виде минерального сырья, наличие трудовых ресурсов, а также социальное положение населения в районе расположения объекта, экологическую ситуацию и т. п. Неполное удовлетворение потребности конкретного района в минеральном сырье может служить основанием для предложения о снижении налогов и предоставлении льгот при разработке месторождения.

Контрольные вопросы к теме 5

1. Цели и задачи ГЭО МПИ
2. Геологические показатели ГЭО
3. Горнотехнические показатели ГЭО
4. Технологические показатели ГЭО
5. Обоснование инвестиций в освоение месторождения
6. Определение эксплуатационных затрат при разработке
7. Назначение и применение коэффициента дисконтирования, ставки дисконта, коэффициента аннуитета
8. Основные показатели эффективности освоения месторождения
9. Определение чистого дисконтированного дохода
10. Определение индекса доходности
11. Определение срока окупаемости инвестиций
12. Определение внутренней нормы доходности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Становление учения о разведке недр прошло длинный исторический путь, постепенно накапливая опыт и знания при изучении и оценке различных типов месторождений полезных ископаемых. К настоящему времени *разведка* представляет *самостоятельную научную дисциплину,* имеющую объекты изучения, методологические подходы, геолого-экономическую основу оценки полученных результатов.

Накопленный опыт разведки и геолого-экономической оценки месторождений получил отражение в многочисленных литературных источниках: монографиях, учебниках и учебных пособиях, научных статьях, методических разработках и рекомендациях. Направления совершенствования геологоразведочных работ, обоснованные еще в 80-90-е годы XX столетия, во-многом актуальными и в настоящее время. К числу сформулированных при этом задач следует отнести (Комплексная…, 1990):

- повышение достоверности утверждаемых по результатам разведки запасов;
- обоснование комплексного использования минерального сырья на основе совершенствования рациональной технологии переработки полезных ископаемых;
- совершенствование методов опробования и способов обработки проб;
- повышение уровня изученности вещественного состава и технологических свойств полезного ископаемого;
- повышение роли геофизических и геохимических исследований при оконтуривании залежей полезных ископаемых, изучении их внутреннего строения;
- совершенствование методики разведки и геолого-экономической оценки месторождений на основе обобщения передового отечественного и зарубежного опыта.

В то же время нельзя оперировать только накопленным опытом. С течением времени меняются экономические условия хозяйствования, совершенствуются подходы к оценке промышленной значимости месторождений. В современных условиях необходимо внедрение в геологоразведочный процесс геоинформационных технологий. При этом возможны следующие направления сбора информации и её обобщения:

- перевод накапливаемой геологической информации по месторождениям с бумажных носителей на цифровые;
- создание банка цифровых данных по всем разведанным пересечениям, включающим результаты опробования, аналитических, инженерно-геологических и иных исследований;
- разработка цифровых моделей месторождений, позволяющих на базе 3D моделирования анализировать форму и условия залегания тел полезных ископаемых, пространственное распределение качественных показателей в объеме рудных тел, оценивать роль и значение рудоконтролирующих факторов на прилегающих к месторождению территориях (в пределах рудных районов и узлов);
- производить подсчет запасов и ГЭО, обосновывать кондиции на минеральное сырье, укреплять и стабилизировать добычу минерального сырья требуемого качества на горнорудных предприятиях и т. д.

Все изложенное определяет высокую актуальность подготовки квалифицированных кадров в рамках высшей школы, владеющих не только глубокими геологическими

знаниями, но и современными приемами сбора и обработки накопленной информации с использованием IT-технологий.

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

для обучающихся по специальности:

***21.05.03* Технология геологической разведки**

Екатеринбург

Под промышленными типами понимаются такие естественные геолого-минералогические типы месторождений, при эксплуатации которых в сумме во всем мире извлекается несколько процентов данного вида полезного ископаемого.

Кроме этого, промышленными называются месторождения с балансовыми запасами, которые экономически целесообразно разрабатывать при современном состоянии техники отработки и технологии переработки руд. Промышленный тип месторождения определяется прежде всего геологическими условиями залегания и морфологией рудных тел, минеральным и вещественным составом руд, от которых зависят методы отработки месторождения и технология получения металлов.

По своему содержанию дисциплина «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых» – это ветвь науки о геологии месторождений, главной задачей которой является изучение определенных геолого-промышленных типов месторождений в земной коре. Познание закономерностей размещения месторождений, строения слагающих их рудных тел, изучение масштабов объектов, их характерных особенностей, все это необходимо для организации и проведении геологоразведочных работ различного назначения и в совокупности составляет основные цели изучения дисциплины «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых».

Целью освоения учебной дисциплины «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых» является ознакомление студентов с главными и второстепенными типами месторождений полезных ископаемых по каждому виду минерального сырья. Приобретение студентами навыков на основе описания месторождения, по геологической карте или разрезу, и по предоставленной коллекции образцов отнесение месторождения к определенному геолого-промышленному типу.

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- приобретение студентами знаний по минеральным типам руд, их структурно-текстурным особенностям, требованиям промышленности к рудам различных промышленных типов месторождений, их качеству и величине запасов.

- получение представлений по комплексному использованию руд для разработки рациональной системы их обогащения.

Обоснование затрат времени на самостоятельную работу обучающихся

Суммарный объем часов на СРО *очной формы обучения* составляет 118 часов.

№ п/п	*Виды самостоятельной работы*	*Единица измерения*	*Норма времени, час*	*Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.*	*Принятая трудоемкость СРО, час.*
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					82
1	Повторение материала лекций	1 тема	0,1-4,0	2,0 х 13= 26	26
2	Самостоятельное изучение тем курса	1 тема	1,0-8,0	3,0 х 13 = 39	39
3	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	0,3-0,5	0,4 х 13 = 4,2	4
4	Подготовка к практическим занятиям	1 занятие	0,3-2,0	0,35 х 37= 13	13
Другие виды самостоятельной работы					
5	Подготовка к экзамену	1 экзамен		27+9	27+9
	Итого:				118

Содержание учебной дисциплины

Раздел 1. Общие сведения о дисциплине промышленные типы месторождений полезных ископаемых

Основные понятия, задачи и содержание дисциплины. Группировка промышленных месторождений по запасам. Понятие качества руд. Требования

промышленности к качеству полезного ископаемого (кондиции). Разделение руд по качеству. Промышленная классификация.

Раздел 2. Промышленные типы месторождений черных металлов

Главные и второстепенные промышленные типы месторождений железа. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд. Главные промышленные минералы железных руд. Ценные и вредные примеси. Масштабы месторождений. Примеры месторождений главных и второстепенных промышленных типов.

Промышленные типы месторождений марганца. Области применения марганцевых руд. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам марганцевых руд. Главные промышленные минералы руд марганца. Ценные и вредные примеси. Масштабы месторождений. Примеры месторождений.

Промышленные типы месторождений хрома. Области применения хромитовых руд. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам хромитовых руд. Главные промышленные минералы руд хрома. Ценные и вредные примеси. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Раздел 3. Промышленные типы месторождений легирующих металлов

Промышленные типы месторождений титана и ванадия; области применения этих металлов. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд титана и ванадия. Главные промышленные минералы руд титана и ванадия. Ценные и вредные примеси. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений никеля. Области применения этого металла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд никеля. Главные промышленные минералы руд никеля. Ценные и вредные примеси. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений кобальта. Области применения этого металла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд кобальта. Главные промышленные минералы руд кобальта. Ценные и вредные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений вольфрама. Области его использования. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам вольфрама. Главные промышленные минералы руд. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений молибдена. Области использования этого металла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам молибдена. Главные промышленные минералы руд. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Раздел 4. Промышленные типы месторождений цветных металлов

Главные промышленные типы месторождений алюминия. Области применения этого металла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд алюминия. Минералы, ценные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов. Второстепенные промышленные типы и потенциальные источники получения алюминия (не из бокситов).

Главные промышленные типы месторождений меди. Области применения этого металла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд меди. Главные промышленные минералы руд меди. Ценные и вредные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Главные промышленные типы месторождений свинца и цинка. Области применения этих металлов. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд свинца и цинка. Главные промышленные минералы руд свинца и цинка.

Ценные и вредные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Главные промышленные типы месторождений сурьмы и ртути. Области применения этих металлов. Кондиции, предъявляемые промышленностью к различным типам руд сурьмы и ртути. Главные промышленные минералы руд сурьмы и ртути. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Раздел 5. Промышленные типы месторождений благородных металлов

Главные промышленные типы месторождений золота. Области использования золота и изделий из него. Кондиции, предъявляемые промышленностью к золоторудным месторождениям. Главные промышленные минералы руд золота. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Главные промышленные типы месторождений платины и платиноидов. Области ее использования. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам. Главные промышленные минералы руд. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из выделяемых промышленных типов.

Раздел 6. Промышленные типы месторождений редких и радиоактивных металлов

Промышленные типы месторождений лития. Области использования лития и его соединений. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам лития. Главные промышленные минералы руд лития. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений бериллия. Области его использования. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам бериллия.

Главные промышленные минералы руд бериллия. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов. Промышленные типы экзогенных и метаморфогенных месторождений урана. Минералы урановых руд в этих типах месторождений. Примеры месторождений. Коэффициент радиоактивного равновесия.

Промышленные типы гидротермальных месторождений урана. Перечислите их и дайте характеристику их промышленной ценности. Минералы урановых руд в этих типах месторождений. Примеры месторождений. Промышленные типы месторождений ниобия и тантала. Области использования этих металлов. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам ниобия и тантала.

Главные промышленные минералы руд. Подразделение месторождений по содержанию главных полезных элементов. Связь месторождений тантала и ниобия с различными породными комплексами. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений циркония. Области использования этого металла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам циркония. Главные промышленные минералы руд. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Раздел 7. Промышленные типы месторождений химического и агрохимического сырья

Промышленные типы месторождений минеральных солей. Области применения солей и их соединений. Минеральный состав главных промышленных руд. Масштабы месторождений различных типов. Промышленные типы месторождений фосфатного сырья. Области использования апатитов и фосфоритов. Кондиции для месторождений апатитового и фосфоритового сырья. Главные минеральные разновидности руд фосфоритов и апатитов. Форма рудных тел. Примеры для каждого промышленного типа.

Промышленные типы месторождений серы. Области использования серы и ее соединений. Кондиции, предъявляемые промышленностью к серным рудам. Форма рудных тел месторождений различных генетических типов. Примеры месторождений для каждого из геолого-промышленных типов. Промышленные типы месторождений бора. Области использования руд бора. Кондиции, предъявляемые промышленностью к борным рудам. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из геолого-промышленных типов.

Раздел 8. Промышленные типы месторождений индустриального сырья

Промышленные типы месторождений слюд. Области использования слюды. Минеральный состав главных промышленных руд. Кондиции, предъявляемые промышленностью к слюдяным рудам. Масштабы месторождений слюд. Примеры месторождений для каждого из выделяемых промышленных типов. Промышленные типы месторождений талька и пирофиллита. Области их использования. Генетические типы месторождений. Формы и размеры промышленных тел в главных месторождениях. Примеры месторождений для каждого из выделяемых промышленных типов.

Промышленные типы месторождений графита. Области использования графита в промышленности. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам графита. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Промышленные типы месторождений магнезита и брусита. Области использования магнезита и брусита в промышленности. Кондиции, предъявляемые промышленностью к рудам магнезита и брусита. Примеры месторождений. Промышленные типы месторождений хризотил-асбеста. Области применения изделий из хризотил-асбеста. Основные типы руд и содержание в них асбестового волокна. Условия образования месторождений различных промышленных типов и их масштабы. Примеры месторождений ведущих геолого-промышленных типов.

Промышленные типы месторождений амфибол-асбеста. Области применения амфибол-асбеста. Основные минеральные разновидности руд. Условия образования месторождений различных промышленных типов и их масштабы. Примеры месторождений ведущих геолого-промышленных типов.

Промышленные типы месторождений цеолитов. Области использования цеолитового сырья. Условия образования и генетическая природа цеолитовых месторождений. Основные разновидности цеолитов. Промышленные типы месторождений барита и витерита. Области использования этих минералов и их руд. Кондиции, предъявляемые промышленностью к баритовым и витеритовым рудам. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из геолого-промышленных типов.

Раздел 9. Промышленные типы месторождений оптического сырья.

Основные промышленные типы месторождений кварца. Условия их образования и вмещающие породы главных промышленных типов месторождений. Примеры наиболее известных месторождений главных геолого-промышленных типов. Промышленные типы месторождений флюорита. Области использования флюоритового сырья. Кондиции, предъявляемые добывающей промышленностью к качеству флюоритовых руд. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

Раздел 10. Промышленные типы месторождений алмазов и камнесамоцветного сырья.

Промышленные типы месторождений алмазов с примерами для каждого из них. Области использования алмазов. Основные разновидности алмазов, в том числе по месту их использования. Кондиции для месторождений коренных руд и для россыпей. Разновидности месторождений ювелирных, ювелирно-поделочных и поделочных камней. Главные минералы, относящиеся к каждой из перечисленных групп. Месторождения, представленные ювелирными, ювелирно-поделочными и поделочными камнями. Условия

образования этих месторождений и вмещающих их пород. Примеры месторождений основных геолого-промышленных типов.

Раздел 11. Промышленные типы месторождений цементного сырья.

Промышленные типы месторождений строительных материалов. Применение. Деление на основные типы сырья по крупности материала и по использованию. Промышленные типы месторождений цементного сырья. Процесс производства портланд-цемента.

Раздел 12. Промышленные типы месторождений керамического сырья (каолина, глин, пегматитов, гранитов).

Промышленные типы месторождений керамического сырья. Области использования разнообразных керамических изделий. Кондиции, предъявляемые промышленностью к керамическому сырью. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из геолого-промышленных типов.

Раздел 13. Промышленные типы месторождений стекольного сырья

Промышленные типы месторождений стекольного сырья. Области использования стекла. Кондиции, предъявляемые промышленностью к стекольному сырью. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из геолого-промышленных типов.

План лабораторных занятий по дисциплине «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых»

1. Знакомство с литературой по описанию конкретных месторождений полезных ископаемых;
2. Описание каждого месторождения в табличной форме;
3. Зарисовка плана или разреза месторождения;
4. Изучения коллекции образцов по каждому месторождению;
5. Коллоквиум по каменному материалу.

На лабораторные занятия преподавателем объявляется список месторождений подлежащих изучению студентами. Этот список, как правило, не превышает четырех-пяти объектов за занятие по одному или двум близким видам минерального сырья. Студентам дается время 40-50 минут от занятия, для изучения литературы и описания месторождений.

Описание месторождений производится в отдельной тетради, которая озаглавливается – «Каталог месторождений». На титульном листе каталога должна быть написана фамилия студента, группа, изучаемая дисциплина. Пример оформления титульного листа дается в приложении № 1.

Характеристика месторождения полезных ископаемых производится на развернутом листе тетради в табличной форме. На одном листе следует помещать не более двух месторождений. В таблице описания месторождений левый лист делится пополам и на правой его половине помещается разрез месторождения. Всего на странице помещаются следующие столбцы по порядку:

1. Номер по порядку;
2. Название месторождения;
3. Генетический класс месторождения;
4. Извлекаемые полезные ископаемые;
5. Масштаб месторождения;
6. Разрез месторождения с условными обозначениями.

Правый лист делится на три равных столбца:

1. Формы рудных тел;
2. Минеральный состав руд и вмещающие породы;
3. Структуры и текстуры руд.

Пример заполнения таблицы приводится на рисунке 1.

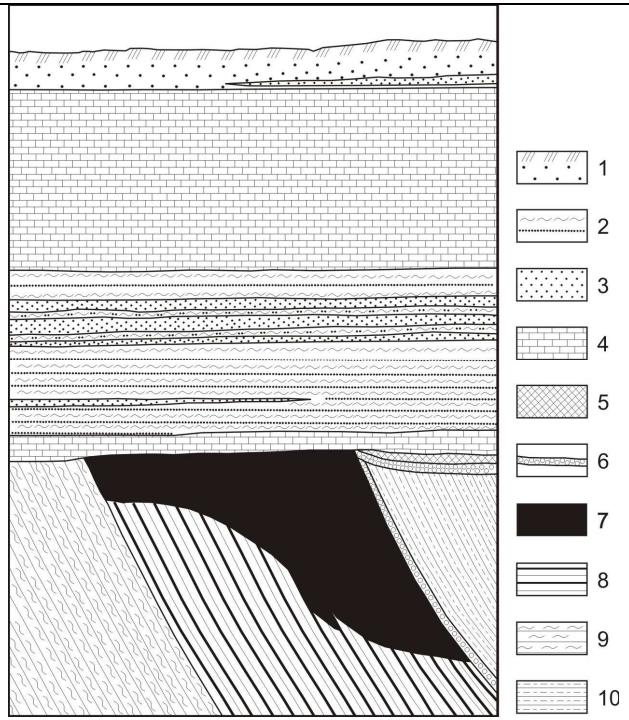
№пп	Название месторождения	Генетический класс	Извлекаемые ПИ	Масштаб месторождения	Разрез (план) месторождения	Форма рудных тел	Минеральный состав руд и вмещающих пород	Структуры и текстуры руд
1	КМА (Яковлевское)	Метаморфизованный	Fe	12 000 млн. т.	 1 – ПРС и суглинки; 2 – пески и глины; 3 – песчаники; 4 – мел, мергели, известняки; 5 – руда переотложенная; 6 – бокситы; 7 – богатая руда; 8 – железистые кварциты; 9 – кварц-слюдистые микросланцы; 10 – кварц-графит-биотитовые микросланцы.	Пластовая, смятая в складки, пластообразная, плащеобразная	Магнетит, гематит, мартит. Железистые кварциты	Структуры: Мелко- и скрытозернистые, Текстуры: массивные, полосчатые, плойчатые, слоистые.

Рис.1. Пример заполнения каталога месторождений

Зарисовка плана или разреза месторождения обязательно делается от руки, что позволяет, с одной стороны, научить студента делать геологические зарисовки с условными обозначениями и другими атрибутами геологической документации. С другой стороны рисунок от руки позволяет лучше запоминать особенности геологического строения каждого из месторождений, что понадобится студентам для правильного ответа на один из вопросов экзаменационного билета.

Вторая часть лабораторного занятия продолжительностью 40-50 минут отводится для изучения каменного материала по отдельным месторождениям полезных ископаемых. Каждая коллекция состоит из 15-20 образцов характеризующих минеральный состав основных полезных ископаемых месторождения, минералы-спутники полезного ископаемого, наиболее характерные их структуры и текстуры, а также вмещающие породы, содержащие полезные минералы.

Список месторождений необходимых для изучения на лабораторных занятиях по курсу «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых»:

Железо

Яковлевское месторождение (КМА);
Керченская группа месторождений (Крым);
Соколовское месторождение (Южный Урал);
Качканарское месторождение (Средний Урал);
Кусинское месторождение (Средний Урал);
Западно-Каражальское (Казахстан);
Ковдорское месторождение (Кольский п-ов);

Марганец

Никопольское месторождение (Украина);

Хром

Кемпирсайская группа месторождений;
Центральное месторождение (Полярный Урал, массив Рай-Из);
Сарановское месторождение (Северный Урал);

Титан

Иршинская ильменитовая россыпь (Украина);

Никель

Талнахское месторождение (Сибирь);
Бурыктальское месторождение (Южный Урал);
Ховуаксинское месторождение (Тува);
Черемшанское месторождение (Средний Урал);

Молибден и вольфрам

Коунрадское месторождение (Казахстан);
Каджаранское месторождение (Армения);
Тырныаузское месторождение (Северный Кавказ);
Месторождение Восток-II (Дальний Восток);
Джидинское месторождение (Забайкалье);

Алюминий

Месторождение Красная шапочка СУБР (Северный Урал);
Тихвинское месторождение (Ленинградская обл.);

Медь

Гайское месторождение (Южный Урал);
Сафьяновское месторождение (Средний Урал);
Дегтярское месторождение (Средний Урал);
Джезказганское месторождение (Центральный Казахстан);
Удоканское месторождение (Забайкалье);

Свинец и цинк

Риддер-Сокольное месторождение (Рудный Алтай);
Садонское месторождение (Осетия);
Тетюхенское (Дальнегорское, Верхнее) месторождение (Дальний Восток);
Миргалимсайское месторождение (Южный Казахстан);

Олово

Депутатаское месторождение (Якутия);

Сурьма

Сарылахское месторождение (Якутия);
Кадамджайское месторождение (Рудный Алтай);

Ртуть

Хайдарканское месторождение (Киргизия);
Никитовское месторождение (Украина);

Золото

Месторождение Мурун-Тау (Узбекистан);
Кочкарское месторождение (Южный Урал, Челябинская обл.);
Березовское месторождение (Средний Урал);
Воронцовское месторождение (Средний Урал);
Балейское месторождение (Забайкалье);
Месторождение Сухой Лог (Иркутская область);

Уран

Далматовское месторождение (Курганская область)

Алмазы

Трубка «Мир»
Трубка «Аргайл»

Графит

Курейское (Ногинское)
Завальевское

Слюды

Мамско-Чуйская провинция
Слюдяногорское
Ковдорское

Асбест

Баженовское
Сысертское

Тальк
Шабровское
Киргитейское

Магнезит
Саткинское

Кварц
Кыштымское

Соли
Верхнекамское

Апатиты и фосфориты
Каратау
Егорьевское
Хибиногорское
Просяновское-глины
Дальнегорское-бор
Гаудакское-сера
Вознесенское-флюорит

На заключительном этапе обучения дисциплины «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых» на последнем в семестре лабораторном занятии проводится коллоквиум по каменному материалу. Студенту выдается пять образцов разных полезных ископаемых, которые необходимо охарактеризовать по следующему плану:

1. Структура полезного ископаемого;
2. Текстура руды;
3. Минеральный состав руды;
4. Извлекаемое полезное ископаемое;
5. Возможный генетический класс месторождения;

Также по возможности необходимо по выданной преподавателем коллекции образцов полезных ископаемых определить возможный геолого-промышленный тип месторождения полезных ископаемых, возможные типы руд, их минеральный состав, назвать промышленные кондиции и возможные масштабы месторождений.

Критерии оценивания: правильное определение структуры руды – 1 балл, правильное определение текстуры руды – 1 балл, правильное и подробное определение минерального состава руды – 1 балл, выявление полезного ископаемого – 1 балл, геолого-промышленный тип МПИ – 1 балл.

Кроме этого на коллоквиуме студентам выдаются разрезы или планы неизвестных им месторождений и по строению геологического разреза месторождения рудных или нерудных полезных ископаемых необходимо провести обоснование возможного геолого-промышленного типа месторождения – 2 баллов, представление графического материала – 1 балл, выводы по первоочередным промышленным типам минерального сырья – 2 балла.

Критерии оценки:

оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если работа соответствует всем критериям, выполнена самостоятельно и без существенных замечаний (9-10 баллов)

оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если работа соответствует всем критериям, выполнена практически самостоятельно, а имеющиеся ошибки и неточности были сразу исправлены после указания на них преподавателем (7-8 баллов)

оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа не совсем соответствует критериям, выполнена с большими ошибками и неточностями, а при исправлении имеющихся ошибок и неточностей, указанных преподавателем возникли трудности (5-6 баллов)

оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если работа не соответствует критериям, выполнена с существенными ошибками и неточностями, а ошибки и неточности, указанные преподавателем не были исправлены (0-4 балла)

Для изучения дисциплины самостоятельно рекомендуется пользоваться широким перечнем литературных и методических источников, имеющихся в библиотеке университета и выставленных на сайтах. Перечень последних приведен ниже.

Ниже приводятся контрольные вопросы по курсу «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых», в экзаменационном билете содержится один теоретический вопрос по металлическим полезным ископаемым и одно практико-ориентированное задание в одном семестре (Часть 1), во втором семестре теоретический вопрос и практико-ориентированное задание посвящено неметаллическим полезным ископаемым

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МПИ» Часть 1

1. Главные и второстепенные промышленные типы месторождений железа. Кондиции, минералы, ценные и вредные примеси. Масштабы месторождений. Примеры.
2. Промышленные типы месторождений марганца. Области применения таких руд. Кондиции, минералы, ценные примеси. Масштабы месторождений. Примеры.
3. Промышленные типы месторождений хрома. Области применения таких руд. Кондиции, минералы, ценные примеси. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.
4. Промышленные типы месторождений титана и ванадия. Области применения этих металлов. Кондиции, минералы, ценные примеси. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.
5. Промышленные типы месторождений никеля. Области применения этого металла. Кондиции, минералы, ценные примеси. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.
6. Промышленные типы месторождений кобальта. Области применения этого металла. Кондиции, минералы, ценные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов.
7. Главные промышленные типы месторождений алюминия. Области применения этого металла. Кондиции, минералы, ценные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры для каждого из промышленных типов. Второстепенные промышленные типы и потенциальные источники получения алюминия (не из бокситов).
8. Главные промышленные типы месторождений меди. Области применения этого металла. Кондиции, минералы, ценные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
9. Главные промышленные типы месторождений свинца и цинка. Области применения этих металлов. Кондиции, минералы, ценные примеси. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

10. Главные промышленные типы месторождений сурьмы и ртути. Области применения этих металлов. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
11. Главные промышленные типы месторождений золота. Области его использования Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
12. Промышленные типы месторождений лития. Области его использования Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
13. Промышленные типы месторождений бериллия. Области его использования. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
14. Промышленные типы экзогенных и метаморфогенных месторождений урана. Перечислите их и дайте характеристику их промышленной ценности. Минералы урановых руд в этих типах месторождений. Примеры. Что такое коэффициент радиоактивного равновесия?
15. Промышленные типы гидротермальных месторождений урана. Перечислите их и дайте характеристику их промышленной ценности. Минералы урановых руд в этих типах месторождений. Примеры.
16. Промышленные типы месторождений ниобия и тантала. Области их использования. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
17. Промышленные типы месторождений вольфрама. Области его использования. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
18. Промышленные типы месторождений молибдена. Области его использования. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
19. Промышленные типы месторождений циркония. Области его использования. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
20. Главные промышленные типы месторождений платины и платиноидов. Области ее использования Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из выделяемых промышленных типов.

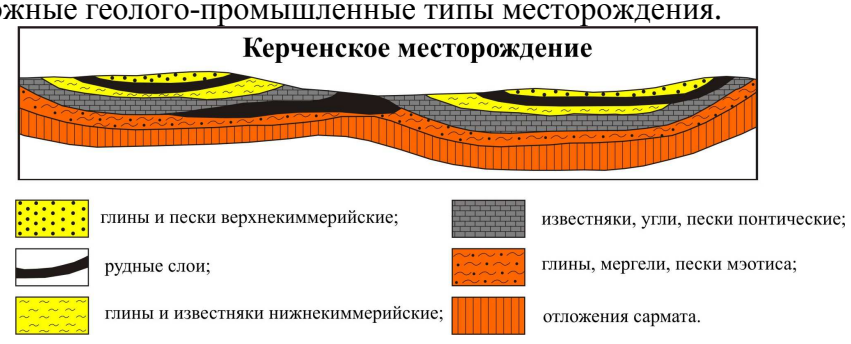
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МПИ» Часть 2

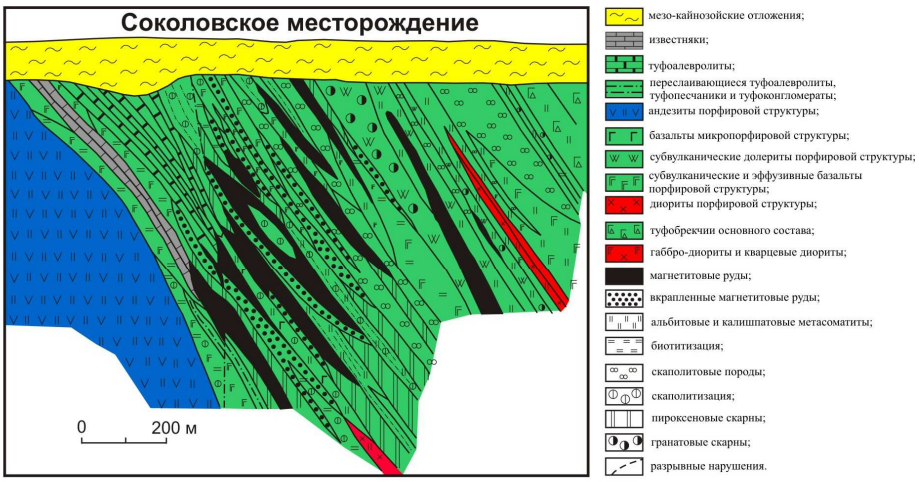
1. Промышленные типы месторождений строительных материалов. Применение. Деление на основные типы сырья по крупности материала и по использованию
2. Промышленные типы месторождений слюд. Области использования. Минеральный состав, кондиции, масштабы месторождений. Примеры.
3. Промышленные типы месторождений алмазов. Где они используются. Перечислите их разновидности. Кондиции для коренных руд и для россыпей. Назовите главные промышленные типы месторождений с примерами для каждого из них.
4. Промышленные типы месторождений талька и пирофиллита. Области их использования. Генетические типы. Форма и размеры промышленных тел. Примеры.
5. Промышленные типы месторождений графита. Области использования. Кондиции. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
6. Промышленные типы месторождений минеральных солей. Области применения. Минералы, масштабы месторождений различных типов.

7. Промышленные типы месторождений фосфатного сырья. Области использования. Кондиции, минералы. Форма рудных тел. Примеры для каждого промышленного типа.
8. Промышленные типы месторождений магнезита и брусита. Применение. Кондиции. Примеры.
9. Промышленные типы месторождений хризотил-асбеста. Применение. Основные типы руд и содержание в них асбестового волокна. Условия образования. Примеры.
10. Промышленные типы месторождений амфибол-асбеста. Области применения. Основные минеральные разновидности. Условия образования. Примеры.
11. Разновидности месторождений ювелирных, ювелирно-поделочных и поделочных камней. Какие из минералов относятся к каждой из перечисленных групп и какими месторождениями они представлены. Условия их образования и вмещающие породы. Примеры.
12. Основные промышленные типы месторождений кварца. Условия их образования и вмещающие породы. Примеры.
13. Промышленная классификация неметаллических полезных ископаемых. Деление различных видов сырья на основные группы по свойствам и главным направлениям применения в промышленности. Основные требования, предъявляемые к качеству неметаллического сырья.
14. Промышленные типы месторождений флюорита. Области его использования. Кондиции. Форма рудных тел. Масштабы месторождений. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
15. Промышленные типы месторождений цеолитов. Области их использования, условия образования и генетическая природа. Охарактеризуйте основные их разновидности.
16. Промышленные типы месторождений цементного сырья. На базе каких пород производится цемент. Рассмотрите процесс производства портланд-цемента.
17. Промышленные типы месторождений серы. Области использования. Кондиции. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
18. Промышленные типы месторождений бора. Области использования. Кондиции. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
19. Промышленные типы месторождений барита и витерита. Области использования. Кондиции. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
20. Промышленные типы месторождений керамического сырья. Области использования. Кондиции. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.
21. Промышленные типы месторождений стекольного сырья. Области использования. Кондиции. Форма рудных тел. Примеры месторождений для каждого из промышленных типов.

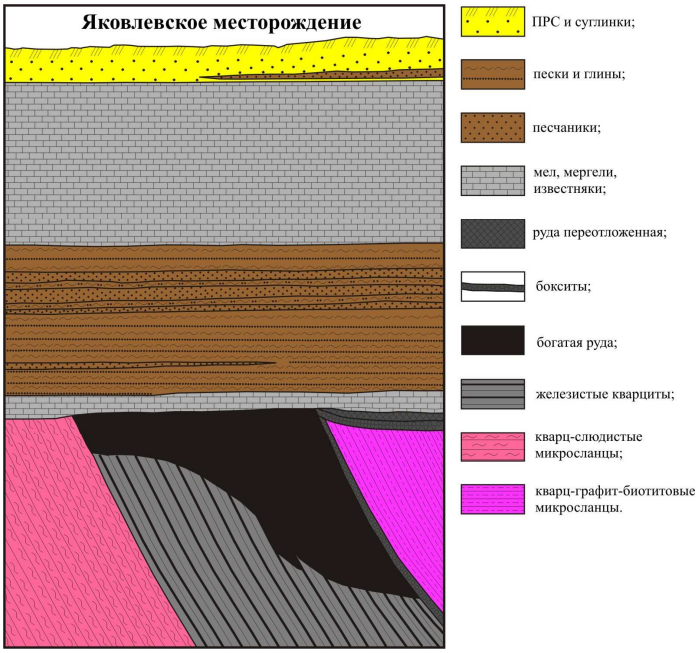
ПРАКТИКООРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

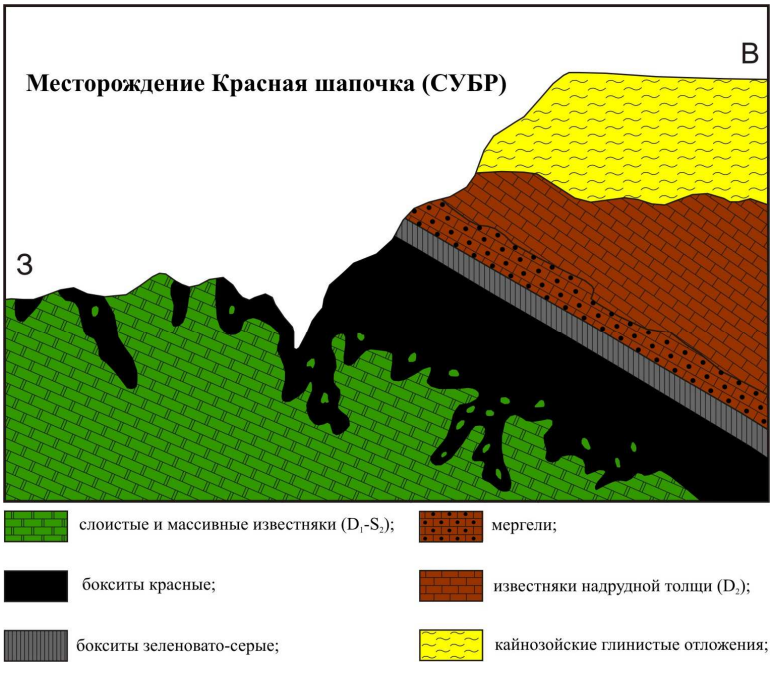
По строению геологического разреза месторождения полезных ископаемых определить возможные геолого-промышленные типы месторождения.

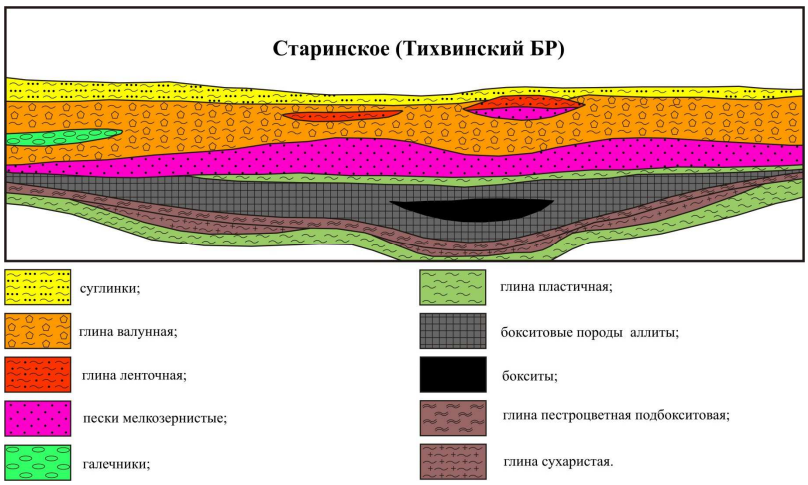



Соколовское месторождение
0
200 м
мезо-кайнозойские отложения;
известняки;
туфоалевролиты;
переслаивающиеся туфоалевролиты, туфопесчаники и туфоконгломераты;
андезиты порфировой структуры;
базальты микропорфировой структуры;
субвулканические долериты порфировой структуры;
субвулканические и эффузивные базальты порфировой структуры;
диориты порфировой структуры;
туфобрекчии основного состава;
габбро-диориты и кварцевые диориты;
магнетитовые руды;
вкрапленные магнетитовые руды;
альбитовые и калишпатовые метасоматиты;
биотитизация;
скаполитовые породы;
скаполитизация;
пироксеновые скарны;
гранатовые скарны;
разрывные нарушения.

1 2 3 4 5 6


Яковлевское месторождение
ПРС и суглинки;
пески и глины;
песчаники;
мел, мергели, известняки;
руда переотложенная;
бокситы;
богатая руда;
железистые кварциты;
кварц-слюдистые микросланцы;
кварц-графит-биотитовые микросланцы.


Месторождение Красная шапочка (СУБР)
В
З
слоистые и массивные известняки (D_1-S_2);
мергели;
бокситы красные;
известняки надрудной толщи (D_2);
бокситы зеленовато-серые;
кайнозойские глинистые отложения;



МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Основная литература

1. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.В. Авдонин [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М. : Академический Проект, Трикса, 2016. — 719 c. — 978-5-8291-2504-2. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/60030.html

2. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые. Учебное пособие. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ; ИКЦ «Академкнига», 2007.-459 с.

3. Промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых. Учебное пособие / Малахов И.А., Бурмако П.Л., Алексеев А.В .- Екатеринбург, Изд.УГГГУ, 2007. 208 с

4. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых. Учебное пособие / Малахов И.А., Алексеев А.В., Бурмако П.Л. - Екатеринбург, Изд.УГГГУ, 2010. 208 с.

2 Дополнительная литература

1. Курс рудных месторождений: учебник для вузов / Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф. М.: Недра, 1986.-360 с.

2. Курс рудных месторождений: учебник / Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Яковлев Г.Ф. М.: Недра, 1981.-348 с

3. Яковлев П.Д. Промышленные типы рудных месторождений. Учебное пособие для вузов –М.: Недра, 1986. –358с

4. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых: Учебник для вузов /Карякин А.Е., Строна П.А.,Шаронов Б.Н. и др. М.: Недра, 1985.- 286с.

5. Геолого-промышленные типы месторождений урана: Учебное пособие / В.Е. Бойцов, А.А. Верчеба, 2008. -310 с.

Алгоритм работы студентов для качественного усвоения дисциплины включает в себя следующие действия:

1. Изучение рабочей программы дисциплины, что позволит правильно сориентироваться в системе требований, предъявляемых к студенту со стороны преподавателя.
2. Посещение и конспектирование лекций.
3. Обязательная подготовка к лабораторным занятиям.
4. Изучение основной и дополнительной литературы.
5. Выполнение всех видов самостоятельной работы, в т. ч. изучение каменного материала по ведущим месторождениям.

Приложение № 1

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых

КАТАЛОГ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

по дисциплине **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Студент: Иванов И.И.

Группа: РМ-18

Екатеринбург, 2019

МИНОБРНАУКИ РОССИЙ

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

ФТД.01 ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..…3

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ…….……..….6

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…8

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ……..12

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ……...……...….13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……...…..28

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 лекций, 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 (в т.ч. подготовка к практико-ориентированным заданиям 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 «*Технологии интеллектуального труда*» обращают 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 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 «*Технологии интеллектуального труда*» являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);

- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т.ч. ответы на вопросы для самопроверки, подготовка к выполнению практико-ориентированных заданий);

- подготовка к зачету.

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

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Особенности информационных технологий для людей с ограниченными возможностями.

Информационные технологии
Универсальный дизайн
Адаптивные технологии

Тема 2. Тифлотехнические средства/ Сурдотехнические средства/ Адаптивная компьютерная техника (Материал изучается по подгруппам в зависимости от вида ограничений здоровья обучающихся)

Брайлевский дисплей
Брайлевский принтер
Телевизионное увеличивающее устройство
Читающая машина
Экранные лупы
Синтезаторы речи
Ассистивные тифлотехнические средства
Ассистивные сурдотехнические средства
Адаптированная компьютерная техника
Ассистивные технические средства

Тема 3. Дистанционные образовательные технологии

Дистанционные образовательные технологии
Иинформационные объекты

Тема 4. Интеллектуальный труд и его значение в жизни общества

Система образования
Образовательная среда вуза
Интеллектуальный труд
Интеллектуальный ресурс
Интеллектуальный продукт

Тема 5. Развитие интеллекта – основа эффективной познавательной деятельности

Личностный компонент
Мотивационно-потребностный компонент
Интеллектуальный компонент
Организационно-деятельностный компонент
Гигиенический компонент
Эстетический компонент
Общеучебные умения
Саморегуляция

Тема 6. Самообразование и самостоятельная работа студента – ведущая форма умственного труда.

Самообразование
Самостоятельная работа студентов
Технологии интеллектуальной работы
Технологии групповых обсуждений

Тема 7. Технологии работы с информацией студентов с ОВЗ и инвалидов

Традиционные источники информации
Технологии работы с текстами
Технологии поиска, фиксирования, переработки информации
Справочно-поисковый аппарат книги
Техника быстрого чтения
Реферирование
Редактирование
Технология конспектирования
Методы и приемы скоростного конспектирования

Тема 8. Организация научно-исследовательской работы

Доклад
Реферат
Курсовая работа
Выпускная квалификационная работа
Техника подготовки работы
Методика работы над содержанием Презентация

Тема 9. Тайм-менеджмент

Время
Планирования времени
Приемы оптимизации распределения времени

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;

• 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, 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 доскональное 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 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 заданиями 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.

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

1. В соответствии с опросником «Саморегуляция» (ОС) (модификация методики А.К. Осницкого) оцените свои качества, возможности, отношение к деятельности в протоколе (132 высказывания) по 4-х бальной шкале: 4 балла – да; 3 балла – пожалуй да; 2 балла – пожалуй нет; 1 балл – нет.

Текст опросника

1. Способен за дело приниматься без напоминаний.
2. Планирует, организует свои дела и работу.
3. Умеет выполнить порученное задание.
4. Хорошо анализирует условия.
5. Учитывает возможные трудности.
6. Умеет отделять главное от второстепенного.
7. Чаще всего избирает верный путь решения задачи.
8. Правильно планирует свои занятия и работу.
9. Пытается решить задачи разными способами.
10. Сам справляется с возникающими трудностями.
11. Редко ошибается, умеет оценить правильность действий.
12. Быстро обнаруживает свои ошибки.
13. Быстро находит новый способ решения.
14. Быстро исправляет ошибки.
15. Не повторяет ранее сделанных ошибок.
16. Продумывает свои дела и поступки.
17. Хорошо справляется и с трудными заданиям.
18. Справляется с заданиями без посторонней помощи.
19. Любит порядок.
20. Заранее знает, что будет делать.
21. Аккуратен и последователен.
22. Продумывает, все до мелочей.
23. Ошибается чаще из-за того, что смысл задания целом не понят, хотя все детали продуманы.
24. Старателен, хотя часто не выполняет заданий.
25. Долго готовится, прежде чем приступить к делу.
26. Избегает риска.
27. Сначала обдумывает, потом делает.
28. Решения принимает без колебаний.
29. Уверенный в себе.
30. Действует решительно, настойчив.
31. Предприимчивый, решительный.
32. Активный.
33. Ведущий.
34. Реализует почти все, что планирует.
35. Начатое дело доводит до конца.
36. Предпочитает действовать, а не обсуждать.

37. Обдумывает свои дела и поступки.
38. Анализирует свои ошибки и неудачи.
39. Планирует дела, рассчитывает свои силы.
40. Прислушивается к замечаниям.
41. Редко повторяет одну и ту же ошибку.
42. Знает о своих недостатках.
43. Сделает задание на совесть.
44. Как всегда сделает на отлично.
45. Для него важно качество, а не отметка.
46. Всегда проверяет правильность работы.
47. Старается довести дело до конца.
48. Стирается добиться лучших результатов.
49. Действует самостоятельно, мало советуясь с другими.
50. Предпочитает справляться с трудностями сам.
51. Может принять не зависимое от других решение.
52. Любит перемену в занятиях.
53. Легко переключается с одной работы на другую.
54. Хорошо ориентируется в новых условиях.
55. Аккуратен.
56. Внимателен.
57. Усидчив.
58. С неудачами и ошибками обычно справляется.
59. Неудачи активизируют его.
60. Старается разобраться в причинах неудач.
61. Умеет мобилизовать усилия.
62. Взвешивает все «за» и «против».
63. Старается придерживаться правил.
64. Всегда считается с мнением других.
65. Его нетрудно убедить в чем-то.
66. Прислушивается к замечаниям.
67. Нужно напоминать о том, что необходимо закончить дело.
68. Не планирует, мало организует свои дела, и работу.
69. Не выполняет заданий оттого, что отвлекается.
70. Условия анализирует плохо.
71. Не учитывает возможных трудностей.
72. Не умеет отделять главное от второстепенного.
73. Пути решения выбирает не лучшие.
74. Не умеет планировать работу и занятия.
75. Не пытается решать задачи разными способами.
76. Не может справиться с трудностями без помощи других.
77. Часто допускает ошибки в работе, часто их повторяет.
78. С трудом находит ошибки в своей работе.
79. С трудом находит новые способы решения.
80. С большим трудом и долго исправляет ошибки.

81. Повторяет одни и те же ошибки.
82. Часто поступает необдуманно, импульсивно.
83. С трудными заданиями справляется плохо.
84. Не справляется с заданием без напоминаний и помощи.
85. Не любит порядок.
86. Часто не знает заранее, что ему предстоит делать.
87. Непоследователен и неаккуратен.
88. Ограничивается лишь общими сведениями, общим впечатлением.
89. Ошибается чаще из-за того, что не продуманы мелочи, детали.
90. Не очень старателен, но задания выполняет.
91. Приступает к делу без подготовки.
92. Часто рискует, ищет приключений.
93. Сначала сделает, лотом подумает.
94. Решения принимает после раздумий и колебаний.
95. Часто сомневается в своих силах.
96. Нерешителен, небольшие помехи уже останавливают его.
97. Нерешительный.
98. Вялый, безучастный.
99. Ведомый.
100. Задумывает много, а делает мало.
101. Редко, когда начатое дело доводит до конца.
102. Предпочитает обсуждать, а не действовать.
103. Действует без раздумий, «с ходу».
104. Не анализирует ошибок.
105. Не планирует почти ничего, не рассчитывает своих сил.
106. Не прислушивается к замечаниям.
107. Часто повторяет одну и ту же ошибку.
108. Не хочет знать и исправлять свои недостатки.
109. Сделает «спустя рукава».
110. Сделает как получится.
111. Сделает из-за угрозы получения плохой оценки.
112. Не проверяет правильность результатов своих действий.
113. Часто бросает работу, не доделав ее.
114. Результат неважен – лишь бы поскорее закончить работу.
115. О его трудностях и делах знают почти все.
116. Всегда надеется на друзей, на их помощь.
117. Действует по принципу: как все, так и я!
118. Любит однообразные занятия.
119. С трудом переключается с одной работы на другую.
120. Плохо ориентируется в новых условиях.
121. Неаккуратен.
122. Невнимателен.
123. Неусидчив.
124. Ошибку может исправить, если его успокоить.

125. Неудачи быстро сбивают с толку.
126. Равнодушен к причинам неудач.
127. С трудом мобилизуется на выполнение задания.
128. Поступает необдуманно, импульсивно.
129. Не придерживается правил.
130. Не считается с мнением окружающих.
131. Его трудно убедить в чем-либо.
132. Не прислушивается к замечаниям.

Ключ для обработки и интерпретации данных

В тесте оценивается 132 характеристики саморегуляции. Они разбиты на тройки.

Всего 22 пары противоположных характеристик.

1. Целеполагание - 23. Неустойчивость целей.
2. Моделирование условий - 24. Отсутствие анализа условий.
3. Программирование действий - 25. Спонтанность действий.
4. Оценивание результатов - 26. Ошибки в работе.
5. Коррекции результатов и способ» действий - 27. Повторные ошибки.
6. Обеспеченность регуляции в целом - 28. Импульсивность.
7. Упорядоченность деятельности - 29. Непоследовательность, неаккуратность.
8. Детализация регуляции действий - 30. Поверхностность.
9. Осторожность в действиях - 31. Необдуманность, рискованность.
10. Уверенность в действиях - 32. Неуверенность в своих силах.
11. Инициативность в действиях - 33. Нерешительность.
12. Практическая реализуемость намерений - 34. Незавершенность дел.
13. Осознанность действий - 35. Действия наобум.
14. Критичность в делах и поступках -36. Равнодушие к недостаткам.
15. Ориентированность на оценочный балл -37. Попустительство.
16. Ответственность в делах и поступках - 38. Безответственность в делах.
17. Автономность - 39. Зависимость в действиях.
18. Гибкость, пластичность в действиях - 40. Инертность в работе.
19. Вовлечение полезных привычек в регуляцию действий - 41. «Плохиш».
20. Практичность, устойчивость в регуляции действий - 42. Равнодушие к ошибкам, неудачам.
21. Оптимальность (адекватность) регуляции усилий - 43. Отсутствие последовательности.
22. Податливость воспитательным воздействиям - 44. Самодостаточность.

Необходимо найти сумму в каждой из троек характеристик и сопоставить ее с их противоположностью.

4-6 баллов - слабое проявление характеристики.

7-9 баллов - ситуативное проявление.

10-12 баллов - выраженность характеристики.

Бланк для ответов

ФИ_____
Пол_____ Возраст (дата рождения)_____ Гр._____ Дата_____ № ___

Шкала ответов

4 – да; 3 – пожалуй да; 2 – пожалуй нет; 1 – нет.

№			S		№		S
1	1			23	67		
	2				68		
	3				69		
2	4			24	70		
	5				71		
	6				72		
3	7			25	73		
	8				74		
	9				75		
4	10			26	76		
	11				77		
	12				78		
5	13			27	79		
	14				80		
	15				81		
6	16			28	82		
	17				83		
	18				84		
7	19			29	85		
	20				86		
	21				87		
8	22			30	88		
	23				89		
	24				90		
9	25			31	91		
	26				92		
	27				93		

10	28			32	94	
	29				95	
	30				96	
11	31			33	97	
	32				98	
	33				99	
12	34			34	100	
	35				101	
	36				102	
13	37			35	103	
	38				104	
	39				105	
14	40			36	106	
	41				107	
	42				108	
15	43			37	109	
	44				ПО	
	45				111	
16	46			38	112	
	47				113	
	48				114	
17	49			39	115	
	50				116	
	51				117	
18	52			40	118	
	53				119	
	54				120	
19	55			41	121	
	56				122	
	57				123	
20	58			42	124	
	59				125	
	60				126	

21	61			43	127	
	62				128	
	63				129	
22	64			44	130	
	65				131	
	66				132	

Качественные характеристики саморегуляции

№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции		№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции
1	Целеполагание	За дело приниматься без напоминаний, планирует, организует свои дела и работу. Задания и поручения выполняет.		23	Неустойчивость целей	Не планирует, мало организует свою работу. Нужно напоминать о том, что необходимо закончить дело. Отвлекается.
2	Моделирование условий	Анализирует условия предстоящей деятельности, возможные трудности. Выделяет главное.		24	Отсутствие анализа условий	Не умеет отделять главное от второстепенного. Не предвидит ход дел, возможные трудности.
3	Программирование действий	Правильно планирует свои занятия и работу, избирает верный путь решения задачи.		25	Спонтанность действий	Не умеет планировать работу в занятия, затрудняется в выборе путей решения задач.
4	Оценивание результатов	Редко ошибается, умеет оценить правильность действий. Быстро обнаруживает свои ошибки.		26	Ошибки в работе	Часто допускает ошибки в работе, часто их повторяет. Не находит ошибок в своей работе.
5	Коррекция результатов и способов действий	Быстро находит новый способ решения. Быстро исправляет ошибки.		27	Повторные ошибки	С трудом находит новые способы решения. Повторяет одни и те же ошибки.
6	Обеспеченность регуляции в целом	Продумывает свои дела и поступки. Справляется с за-		28	Импульсивность	Часто поступает необдуманно, импульсивно. С трудными заданиями справляется плохо.

№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции	№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции
		даниями без посторонней помощи.			
7	Упорядоченность деятельности	Любит порядок. Аккуратен и последователен.	29	Непоследовательность	Часто не знает заранее, что ему предстоит делать, непоследователен и неаккуратен.
8	Детализация регуляции действий	Продумывает, все до мелочей. Ошибается чаще из-за того, что смысл задания целом не понят, хотя все детали продуманы.	30	Поверхностность	Ограничивается лишь общими сведениями, общим впечатлением. Ошибается чаще из-за того, что не продуманы мелочи, детали.
9	Осторожность в действиях	Долго обдумывает и готовится, прежде чем приступить к делу. Избегает риска.	31	Необдуманность, рискованность	Приступает к делу без подготовки. Сначала сделает, лотом подумает.
10	Уверенность в действиях	Уверенный в себе. Решения принимает без колебаний. Решителен. Настойчив.	32	Неуверенность в своих силах	Решения принимает после колебаний. Сомневается в своих силах. Нерешителен.
11	Инициативен в действиях.	Предприимчивый, решительный. Активный. Ведущий.	33	Нерешительность	Нерешительный. Вялый, безучастный. Ведомый.
12	Практическая реализуемость намерений	Реализует почти все, что планирует. Начатое дело доводит до конца.	34	Незавершенность дел	Редко, когда начатое дело доводит до конца. Предпочитает обсуждать, а не действовать.
13	Осознанность действий	Обдумывает, планирует свои дела и поступки. Анализирует свои ошибки и неудачи.	35	Действия наобум	Действует без раздумий, «с ходу», не рассчитывает своих сил.
14	Критичность в делах и поступках	Знает о своих недостатках. Редко повторяет	36	Равнодушие к недостаткам	Часто повторяет одну и ту же ошибку. Не хочет

№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции		№	Качества саморегуляции	Содержательные характеристики саморегуляции
		ошибки. Прислушивается к замечаниям.				знать и исправлять свои недостатки.
15	Ориентированность на оценочный балл	Сделает задание на совесть. Для него важно качество, а не отметка.		37	Попустительство	Делает все «спустя рукава», как получится. Делает из-за угрозы плохой оценки.
16	Ответственность в делах и поступках	Гарантирует доведение дел до конца. Всегда проверяет правильность работы.		38	Безответственность в делах	Не проверяет результатов своих действий. Часто бросает работу, не доделав до конца.
17	Автономность	Действует и принимает самостоятельные решения. Предпочитает сам справляться с трудностями.		39	Зависимость в действиях	Всегда надеется на друзей, на их помощь.
18	Гибкость, пластичность в действиях	Легко переключается с одной работы на другую. Хорошо ориентируется в новых условиях.		40	Инертность в работе	Любит однообразные занятия. С трудом переключается с одной работы на другую.
19	Вовлечение полезных привычек в регуляцию действий	Аккуратен. Внимателен. Усидчив.		41	«Плохиш»	Неаккуратен. Невнимателен. Неусидчив.
20	Практичность, устойчивость в регуляции действий	Справляется с неудачами и ошибками. Неудачи активизируют его. Старается разобраться в их причинах.		42	Равнодушие к ошибкам, неудачам	Неудачи быстро сбивают с толку. Равнодушен к их причинам.
21	Оптимальность (адекватность) регуляции усилий	Взвешивает все «за» и «против». Умеет мобилизовать усилия.		43	Отсутствие последовательности	Поступает необдуманно. С трудом мобилизуется на выполнение задания.
22	Податливость воспитательным воздействиям	Всегда считается с мнением других. Прислушивается к замечаниям.		44	Самодостаточность	Не считается с мнением окружающих. Не прислушивается к замечаниям.

Задание: На основе самодиагностики саморегуляции сформулируйте рекомендации по саморегуляции.

2. Выберите научную статью по своей специальности и напишите к ней аннотацию, реферат, конспект, рецензию.

Методические указания

АННОТАЦИЯ (от лат. annotatio - замечание, пометка) – это краткая характеристика статьи, рукописи, книги, в которой обозначены тема, проблематика и назначение издания, а также содержатся сведения об авторе и элементы оценки книги.

Перед текстом аннотации даются выходные данные (автор, название, место и время издания). Эти данные можно включить в первую часть аннотации.

Аннотация обычно состоит из двух частей. В первой части формулируется основная тема книги, статьи; во второй части перечисляются (называются) основные положения. Говоря схематично, аннотация на книгу (прежде всего научную или учебную) отвечает на вопросы о чем? из каких частей? как? для кого? Это ее основные, стандартные смысловые элементы. Каждый из них имеет свои языковые средства выражения.

Аннотация на книгу помещается на оборотной стороне ее титульного листа и служит (наряду с ее названием и оглавлением) источником информации о содержании работы. Познакомившись с аннотацией, читатель решает, насколько книга может быть ему нужна. Кроме того, умение аннотировать прочитанную литературу помогает овладению навыками реферирования.

Языковые стереотипы, с помощью которых оформляется каждая смысловая часть аннотации:

1. Характеристика содержания текста:

В статье (книге) рассматривается…; Статья посвящена…; В статье даются…; Автор останавливается на следующих вопросах…; Автор затрагивает проблемы…; Цель автора – объяснить (раскрыть)…; Автор ставит своей целью проанализировать…;

2. Композиция работы:

Книга состоит из … глав (частей)…; Статья делится на … части; В книге выделяются … главы.

3. Назначение текста:

Статья предназначена (для кого; рекомендуется кому)…; Сборник рассчитан…; Предназначается широкому кругу читателей…; Для студентов, аспирантов…; Книга заинтересует…

РЕФЕРАТ (от лат.referre- докладывать, сообщать) – это композиционно организованное, обобщенное изложение содержания источника информации (статьи, ряда статей, монографии и др.). Реферат отвечает на вопрос: «Какая информация содержится в первоисточнике, что излагается в нем?»

Реферат состоит из трех частей: общая характеристика текста (выходные данные, формулировка темы); описание основного содержания; выводы референта. Изложение одной работы обычно содержит указание на тему и композицию реферируемой работы, перечень ее основных положений с приведением аргументации, реже - описание методики и проведение эксперимента, результатов и выводов исследования. Такой реферат называется простым информационным.

Студенты в российских вузах пишут рефераты обычно на определенные темы. Для написания таких тематических рефератов может быть необходимо привлечение более чем одного источника, по крайней мере двух научных работ. В этом случае реферат является не только информационным, но и обзорным.

Реферирование представляет собой интеллектуальный творческий процесс, включающий осмысление текста, аналитико-синтетичесокое преобразование информации и создание нового текста. Реферат не должен превращаться в «ползанье» по тексту. Цель реферирования – создать «текст о тексте». Реферат – это не конспект, разбавленный «скрепами» типа *далее автор отмечает…* Обильное цитирование превращает реферат в конспект. При чтении научного труда важно понять его построение, выделить смысловые части (они будут основой для плана), обратить внимание на типичные языковые средства (словосочетания, вводные конструкции), характерные для каждой части. В реферате должны быть раскрыты проблемы и основные положения работы, приведены доказательства этих положений и указаны выводы, к которым пришел автор. Реферат может содержать оценочные элементы, например: *нельзя не согласиться, автор удачно иллюстрирует* и др. Обратите внимание, что в аннотации проблемы научного труда лишь обозначаются, а в реферате - раскрываются.

Список конструкций для реферативного изложения**:**

Предлагаемая вниманию читателей статья (книга, монография) представляет собой детальное (общее) изложение вопросов…; Рассматриваемая статья посвящена теме (проблеме, вопросу…);

Актуальность рассматриваемой проблемы, по словам автора, определяется тем, что…; Тема статьи (вопросы, рассматриваемые в статье) представляет большой интерес…; В начале статьи автор дает обоснование актуальности темы (проблемы, вопроса, идеи); Затем дается характеристика целей и задач исследования (статьи);

Рассматриваемая статья состоит из двух (трех) частей…; Автор дает определение (сравнительную характеристику, обзор, анализ)…; Затем автор останавливается на таких проблемах, как…; Автор подробно останавливается на истории возникновения (зарождения, появления, становления)…; Автор подробно (кратко) описывает (классифицирует, характеризует) факты…; Автор доказывает справедливость (опровергает что-либо)…; Автор приводит доказательства справедливости своей точки зрения…; В статье дается обобщение…, приводятся хорошо аргументированные доказательства…;

В заключение автор говорит о том, что…; Несомненный интерес представляют выводы автора о том, что…; Наиболее важными из выводов автора представляются следующие…; Изложенные (рассмотренные) в статье вопросы (проблемы) представляют интерес не только для…, но и для…

КОНСПЕКТИРОВАНИЕ – письменная фиксация основных положений читаемого или воспринимаемого на слух текста. При конспектировании происходит свертывание, компрессия первичного текста.

КОНСПЕКТ- это краткое, но связное и последовательное изложение значимого содержания статьи, лекции, главы книги, учебника, брошюры. Запись-

конспект позволяет восстановить, развернуть с необходимой полнотой исходную информацию, поэтому при конспектировании надо отбирать новый и важный материал и выстраивать его в соответствии с логикой изложения. В конспект заносят основные (существенные) положения, а также фактический материал (цифры, цитаты, примеры). В конспекте последующая мысль должна вытекать из предыдущей (как в плане и в тезисах). Части конспекта должны быть связаны внутренней логикой, поэтому важно отразить в конспекте главную мысль каждого абзаца. Содержание абзаца (главная мысль) может быть передано словами автора статьи (возможно сокращение высказывания) или может быть изложено своими словами более обобщенно. При конспектировании пользуются и тем и другим приемом, но важно передать самые главные положения автора без малейшего искажения смысла.

Различают несколько видов конспектов в зависимости от степени свернутости первичного текста, от формы представления основной информации:

1. конспект-план;
2. конспект-схема;
3. текстуальный конспект.

Подготовка конспекта включает следующие этапы:

1. Вся информация, относящаяся к одной теме, собирается в один блок – так выделяются смысловые части.

2. В каждой смысловой части формулируется тема в опоре на ключевые слова и фразы.

3. В каждой части выделяется главная и дополнительная по отношению к теме информация.

4. Главная информация фиксируется в конспекте в разных формах: в виде тезисов (кратко сформулированных основных положений статьи, доклада), выписок (текстуальный конспект), в виде вопросов, выявляющих суть проблемы, в виде назывных предложений (конспект-план и конспект-схема).

5. Дополнительная информация приводится при необходимости.

РЕЦЕНЗИЯ - это письменный критический разбор какого-либо произведения, предполагающий, во-первых, комментирование основных положений (толкование авторской мысли; собственное дополнение к мысли, высказанной автором; выражение своего отношения к постановке проблемы и т.п.); во-вторых, обобщенную аргументированную оценку, в третьих, выводы о значимости работы.

В отличие от рецензии ОТЗЫВ дает самую общую характеристику работы без подробного анализа, но содержит практические рекомендации: анализируемый текст может быть принят к работе в издательстве илина соискание ученой степени.

Типовой план для написания рецензии и отзывов:

1. Предмет анализа: *В работе автора…; В рецензируемой работе…; В предмете ана*лиза…

2. Актуальность темы: Работа посвящена актуальной теме…; Актуальность темы обусловлена…; Актуальность темы не вызывает сомнений (вполне очевидна)…

3. Формулировака основного тезиса: Центральным вопросом работы, где автор добился наиболее существенных (заметных, ощутимых) результатов, является…; В работе обоснованно на первый план выдвигается вопрос о…

4. Краткое содержание работы.

5. Общая оценка: Оценивая работу в целом…; Таким образом, рассматриваемая работа…; Автор проявил умение разбираться в…; систематизировал материал и обобщил его…; Безусловной заслугой автора является новый методический подход (предложенная классификация, некоторые уточнения существующих понятий); Автор, безусловно, углубляет наше представление об исследуемом явлении, вскрывает новые его черты…

6. Недостатки, недочеты: Вместе с тем вызывает сомнение тезис о том…; К недостаткам (недочетам) работы следует отнести допущенные автором длинноты в изложении (недостаточную ясность при изложении)…; Работа построена нерационально, следовало бы сократить…; Существенным недостатком работы является…; Отмеченные недостатки носят чисто локальный характер и не влияют на конечные результаты работы…; Отмеченные недочеты работы не снижают ее высокого уровня, их скорее можно считать пожеланиями к дальнейшей работе автора…; Упомянутые недостатки связаны не столько с…, сколько с…

7. Выводы: Представляется, что в целом работа… имеет важное значение…; Работа может быть оценена положительно, а ее автор заслуживает…; Работа заслуживает высокой (положительной, отличной) оценки…; Работа удовлетворяет всем требованиям…, а ее автор, безусловно, имеет (определенное, законное, заслуженное, безусловное) право…

Задание

а) Выберите научную статью по своей специальности и напишите к ней аннотацию, реферат, конспект, рецензию.

3. Проанализируйте отрывок из студенческой курсовой работы, посвященной проблеме связи заголовка и текста. Соответствует ли язык сочинения нормам научного стиля? На основании анализа проведите правку текста:

Заголовок, будучи неотъемлемой частью газетных публикаций, определяет лицо всей газеты. Сталкиваясь с тем или иным периодическим изданием, читатель получает первую информацию о нем именно из заголовков. На примере газеты «Спорт – экспресс» за апрель – май 1994 г. я рассмотрю связь: заголовок – текст, ведь, как говорится в народной мудрости «встречают по одежке, а провожают – по уму». Но даже при наличии прекрасной одежки (заглавий) и величайшего ума (самих материалов) стилистическая концепция газеты будет не полной, если будет отсутствовать продуманная и логичная связь между содержанием и заголовком. Итак, стараясь выбрать наиболее продуманные заглавия, я попытаюсь проследить за тем, по какому принципу строится связь между содержанием

и заголовком самой популярной спортивной газеты России «Спорт – экспресс». А к тому же я остановлюсь и на классификации заголовков по типу их связей с газетным текстом вообще.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*Технологии интеллектуального труда*» 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 «*Технологии интеллектуального труда*».

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.

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

ФТД.02 СРЕДСТВА КОММУНИКАЦИИ В УЧЕБНОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..…3

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ……..…..….6

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ…….…..…8

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ……12

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ……...…….….14

ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТА……...….36

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..…..45

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 лекций, 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 (в т.ч. подготовка к практико-ориентированным заданиям 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 «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*» обращают 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 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 «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*» являются:

- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);

- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т.ч. подготовка к выполнению практико-ориентированных заданий, подготовка реферата);

- подготовка к зачету.

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

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Сущность коммуникации в разных социальных сферах. Основные функции и виды коммуникации

Коммуникации
Межличностное общение
Речевые способности
Профессиональное общение

Тема 2. Специфика вербальной и невербальной коммуникации

Вербальная коммуникация
Невербальная коммуникация

Тема 3. Эффективное общение

Эффективное общение
Обратная связь
Стиль слушания

Тема 4. Основные коммуникативные барьеры и пути их преодоления в межличностном общении. Стили поведения в конфликтной ситуации

Конфликт
Барьер речи

Тема 5. Виды и формы взаимодействия студентов в условиях образовательной организации

Группа
Коллектив
Групповое давление
Феномен группомыслия
Феномен подчинения авторитету
Обособление
Диктат
Подчинение
Вызов
Выгода
Соперничество
Сотрудничество
Взаимодействие
Взаимопонимание

Тема 6. Формы, методы, технологии самопрезентации

Самопрезенгация
Публичное выступление

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;

• 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, 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 доскональное 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 –наиболеесложный 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 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 заданиями 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.

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Организуйте коллективную сетевую деятельность.

Методические указания:

Под организацией **коллективной сетевой деятельности** понимают совместные действия нескольких пользователей в сети электронных коммуникаций, направленные на получение информации. Участники совместной сетевой деятельности могут быть объединены общими целями, интересами, что позволяет им обмениваться мнениями, суждениями, а также совершать действия с различными объектами, такими как фотографии, программы, записи, статьи, представленными в цифровом виде.

Подобное взаимодействие может заключаться в различных его видах, таких как:

- - общение;
- - обмен данными;
- - организация трудовой деятельности;
- - совместное времяпрепровождение за сетевыми развлечениями.

Рассмотрим каждый из них. Одним из примеров организации **общения** в сети Интернет могут служить популярные на сегодняшний день сообщества **Livejournal** (www.livejoumal.ru), **Facebook** (www.facebook.com), **Twitter** (http://twitter.com) и др.

По своей сути это социальные сети, которые работают в режиме реального времени, позволяя участникам взаимодействовать друг с другом. Так, социальная сеть Livejournal (Живой журнал) предоставляет возможность публиковать свои и комментировать чужие записи, вести коллективные блоги («сообщества»), получать оперативную информацию, хранить фотографии и видеоролики, добавлять в друзья других пользователей и следить за их записями в «ленте друзей» и др.

Facebook позволяет создать профиль с фотографией и информацией о себе, приглашать друзей, обмениваться с ними сообщениями, изменять свой статус, оставлять сообщения на своей и чужой «стенах», загружать фотографии и видеозаписи, создавать группы (сообщества по интересам).

Система Twitter позволяет пользователям отправлять короткие текстовые заметки, используя web-интерфейс, sms-сообщения, средства мгновенного обмена сообщениями (например, Windows Live Messenger), сторонние программы-клиенты. Отличительной особенностью Твиттера является публичная доступность размещенных сообщений, что роднит его с **блогами** (онлайн-дневник, содержимое которого, представляет собой регулярно обновляемые записи — **посты).**

Другим способом общения, безусловно, является **электронная почта.** Принципы создания ящика электронной почты подробно рассматривались в практикуме параграфа 2.12. При всех своих плюсах электронная почта не позволяет организовать двусторонний оперативный диалог, максимально приближенный к обычному разговору. Отправив письмо, человек уверен, что оно оперативно будет доставлено в ящик адресата, но будет ли получен быстрый ответ? Кроме того, переписка может растянуться, что сводит к минимуму решение возможных актуальных проблем человека в настоящий момент времени.

Именно поэтому возникла необходимость в самостоятельном классе программ, которые выполняли бы две основные задачи:

- 1. Показать, находится ли собеседник в данный момент в сети Интернет, готов ли он общаться.
- 2. Отправить собеседнику короткое сообщение и тут же получить от него ответ.

Такие программы получили название IMS (англ. Instant Messengers Service — служба мгновенных сообщений). Часто такие программы называют **интернет-пейджерами.** В качестве примера подобных программ можно привести Windows Live Messenger, Yahoo!Messenger, ICQ.

Так, программа Windows Live Messenger является одним из компонентов Windows Live — набора сетевых служб от компании Microsoft. Ранее мы познакомились с такими его модулями, как Семейная безопасность и Киностудия. Доступ к Messenger можно получить по адресу http://download.ru.msn.com/ wl/messenger, либо через кнопку **Пуск** на своем персональном компьютере (предварительно установив основные компоненты службы Windows Live).

В настоящее время произошла интеграция Messenger и программы Skype, функции которой будут рассмотрены позже.

Чтобы начать «разговор», достаточно выполнить двойной щелчок мыши на имени собеседника и ввести сообщение в соответствующее окно. Если друга нет на месте, можно оставить ему сообщение, и он увидит его, когда снова войдет в программу.

Коммуникацию в реальном масштабе времени возможно осуществить с помощью **чатов** (англ. Chatter — болтать). Если ваш компьютер оснащен видеокамерой, вы сможете начать видеочат. Одной из наиболее интересных особенностей видео- чата в Messenger является то, что он позволяет делать через Интернет все, что ранее можно было делать только при личном общении. Например, можно легко обмениваться фотографиями и видеть, как собеседник реагирует на них.

Теперь рассмотрим, каким образом можно организовать коллективную сетевую деятельность, связанную с **обменом данными.** Сразу отметим, что для передачи или открытия доступа к файлам в локальной сети используются стандартные возможности операционной системы компьютера. Для этого достаточно в настройках определенной директории открыть общий доступ на чтение или запись другими пользователями сети.

В настоящее время популярнейшим способом обмена данными является размещение файлов на различных видеохостингах и в социальных сетях. **Хостинг** — это услуга по предоставлению вычислительных мощностей для размещения информации на сервере, постоянно находящемся в сети Интернет. Для размещения видеофайлов, как правило, используются такие крупные видеохос- тинги, как YouTube (www.youtube.com), Rutube (http://mtube.ru). Социальные сети, например Одноклассники (www.odnoklassniki.rn), ВКонтакте (http://vk.com) и др., также можно использовать для размещения видеофотоматериалов.

Хранение, обмен файлов возможно организовать и с помощью облачных сервисов, таких как Яндекс.Диск, SkyDrive, iCloud и т.д. Перечислим ряд достоинств подобного способа организации работы:

- не требуется денежных вложений - сервисы бесплатны;
- возможность резервного хранения данных;
- доступность информации из любой точки мира с разных устройств, подключенных к Интернету;
- пользователь самостоятельно определяет доступность к файлам другим людям;
- большой размер облачного хранилища (7-10 Гб);
- информация не привязана к одному компьютеру;
- доступ к файлам, хранящимся на устройствах с разными аппаратными платформами (Windows, Android, iOS).

В качестве примера рассмотрим работу с программой Яндекс.Диск, которую предварительно следует установить на свой компьютер с адреса http://disk. yandex.ru/download. После инсталляции программы на вашем устройстве создается папка Яндекс.Диск, в которой будет находиться ряд папок, таких как Документы, Музыка, Корзина. Теперь, после того как мы добавим, изменим или удалим файл в папке Яндекс.Диск на своем компьютере, то же самое автоматически произойдет на серверах Яндекс, т. е. происходит процесс синхронизации.

Поделиться файлом с друзьями через web-интерфейс можно, выполнив следующие действия:

1. Зайти в свой почтовый ящик на сервисе Яндекс.

2. Выполнив команду **Файлы/Документы,** выделить нужный файл из списка.

3. Установить переключатель на панели предпросмотра в положение **Публичный** и нажать на одну из кнопок, расположенных ниже, что гарантирует публикацию ссылки на файл в одной из социальных сетей (ВКонтакте, Facebook и т.д.) либо отправку по электронной почте (рис. 1).

Рис. 1. Ссылка на файл

Другой возможностью публикации ссылки на файл - получение ее через ОС Windows. В этом случае порядок действий следующий:

- 1. Открыть папку Яндекс.Диск.
- 2. Выполнить щелчок правой кнопкой мыши на нужном файле.
- 3. В контекстном меню выбрать пункт **Яндекс.Диск: Скопировать публичную ссылку.**

Теперь в буфере обмена находится ссылка на файл, например, http://yadi.Sk/d/91nV8FjiOYnX, с которой вы можете поделиться со своими друзьями.

Перейдем к описанию организации **трудовой деятельности** как способа совместного сетевого взаимодействия. Она может выглядеть самой разной, от простого общения в видеоконференциях, заканчивая использованием серьезных корпоративных решений для управления рабочим процессом в компании. Примерами таких решений являются:

1. 1С-Битрикс: Корпоративный Портал (http://www.lc-bitrix.ru/products/

intranet/) — система управления внутренним информационным ресурсом компании для коллективной работы над задачами, проектами и документами.

2. Мегаплан (www.megaplan.ru) — онлайн-сервис для управления бизнесом.

3. TeamLab (www.teamlab.com/ru) — многофункциональный онлайн-сервис для совместной работы, управления документами и проектами.

4. BaseCamp (http://basecamp.com) — онлайн-инструмент для управления проектами, совместной работы и постановки задач по проектам.

Рассмотрим эти решения на примере облачного сервиса **Мегаплан,** который относится к **модели SaaS** (англ. Software as a service — программное обеспечение как услуга). В рамках модели SaaS заказчики платят не за владение программным обеспечением как таковым, а за его аренду (т. е. за его использование через web-интерфейс). Таким образом, в отличие от классической схемы лицензирования программного обеспечения заказчик несет сравнительно небольшие периодические затраты (от 150 до 400 руб./мес.), и ему не требуется инвестировать значительные средства в приобретение ПО и аппаратной платформы для его развертывания, а затем поддерживать его работоспособность.

Используя на предприятии Мегаплан, можно получить множество современных эффективных средств управления персоналом компании, в частности:

- выстроить иерархическую структуру предприятия, прояснить уровни подчинения, сделать связи сотрудников внутри предприятия логичными и понятными каждому;

- система управления персоналом на предприятии позволит каждому руководителю контролировать деятельность своих подчиненных в режиме реального времени. Кроме того,

можно получать актуальную информацию, даже не находясь в офисе — для этого достаточно иметь доступ в Интернет;

- получить возможность обмениваться документами, выкладывать в общий доступ бизнес-планы, презентации, проекты и распоряжения, ускоряя обмен информацией внутри предприятия;

- системы обмена сообщениями и корпоративный форум делают общение, как деловое, так и личное, более живым и эффективным. Кроме того, выоказывания по ходу исполнения задачи, зафиксированные в Мегаплане, позволяют анализировать ход работы над проектом.

Зарегистрировавшись на вышеуказанном сайте, вы получите бесплатный доступ для знакомства с сервисом Мегаплан. Из трех решений предлагаемых компанией, а именно Совместная работа, Учет клиентов и Бизнес-менеджер, выберите первое — **Совместная работа.** Такой выбор дает возможность эффективно управлять проектами, задачами и людьми. Выбрав модуль **Сотрудники,** добавьте несколько сотрудников, заполнив их личные карточки. Много информации в карточки заносить необязательно, их всегда можно отредактировать, при этом не забывая нажимать на кнопку **Сохранить.** Заполненный модуль **Сотрудники** представлен на рис. 2.

Рис. 2. Модуль Сотрудники

Заполнив базу сотрудников, отметив все необходимые сведения в картотеке, вы получаете автоматизированную систему управления персоналом компании, которая более оперативно, чем любой менеджер по кадрам, будет оповещать вас обо всех изменениях, напоминать о днях рождения, давать доступ к картотеке и персональным сообщениям.

Теперь создайте отделы своей виртуальной организации. Для этого, находясь в модуле **Сотрудники,** выберите блок **Структура,** а в нем ссылку **Добавить отдел.** Чтобы добавить сотрудника в отдел, его надо перетащить мышью из списка **Нераспределенные.** После этого следует установить связь «Начальник-Подчиненный», используя ссылки **Начальники, Подчиненные.** Подобная ситуация представлена на рис. 3.

Красные стрелки на схеме обозначают вашу подчиненность, а зеленые — сотрудники подчиняются вам.

Для того чтобы организовать взаимодействие в команде, выберите модуль **Задачи** и поставьте перед каждым сотрудником задачу, указав сроки ее выполнения. Сотрудник может принять или отклонить задачу, делегировать ее своему подчиненному, комментировать задачу, оперировать списком своих задач (распечатывать, сортировать по признакам). Он может даже провалить задачу — и это немедленно станет известно всем, кто с ней связан.

Используя модуль **Документы,** попробуйте создать несколько текстовых документов (их объем не может превышать 300 Мб). Также имеется возможность импортировать имеющиеся документы, которые Мегаплан будет сортировать по типам: текстовые документы, презентации, PDF-файлы, таблицы, изображения и др. Таким образом, можно хранить общие для всей компании договоры, банки, анкеты и другие важные файлы.

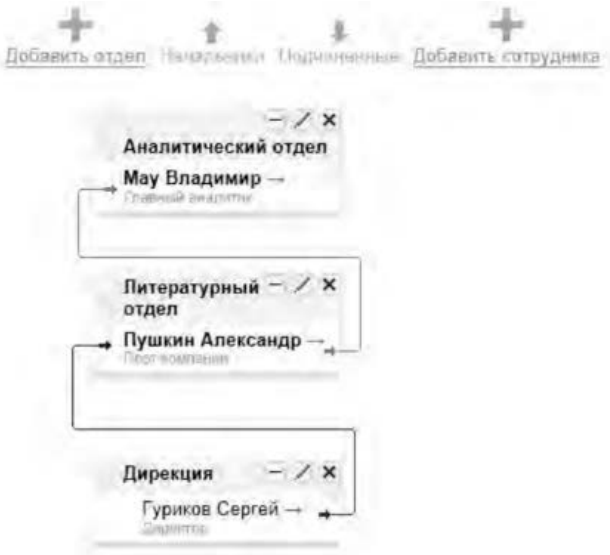


Рис. 3 Организационная структура предприятия

Модуль **Обсуждение** представляет собой корпоративный форум, в рамках которого можно рассматривать любые вопросы. Обсуждение тем может происходить в нескольких уже созданных разделах, а именно Новости, Отдых, Работа. Подобная ситуация представлена на рис. 4.

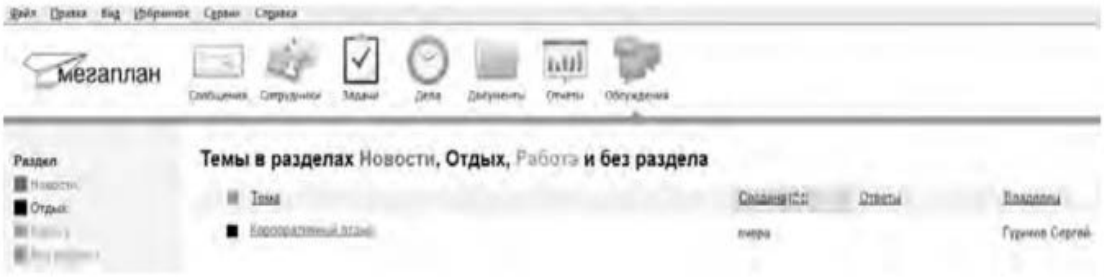


Рис. 4.Создание темы в модуле Обсуждение

Создайте несколько тем, воспользовавшись кнопкой **Добавить.** Обратите внимание на то, что вы можете ограничить просмотр обсуждаемых тем отдельным сотрудникам и группам. Корпоративный форум делает общение внутри компании более открытым. Возможность общения онлайн между сотрудниками, встреча которых могла бы и не произойти в реальной жизни, развивает неформальные отношения, вследствие которых совместная работа над проектами становится более комфортной. Работа над проектом, созданным в виртуальной среде, существенно упрощается за счет системы обмена сообщениями (модуль **Сообщения),** совместной работы, обработки файлов, находящихся в общем доступе.

Итак, освоение базовых функциональных операций в процессе работы с Мегапланом происходит очень быстро. С учетом того, что бесплатная версия продукта позволяет зарегистрировать трех пользователей, можно организовать сетевое взаимодействие, создав учебное предприятие и тем самым, усовершенствовать навыки взаимодействия исполнителей и руководителей в рабочем процессе.

Совместное времяпрепровождение за сетевыми развлечениями — последний вид сетевого взаимодействия, рассматриваемого нами. Сетевыми развлечениями в основном являются компьютерные игры. Вид взаимодействия в играх может быть различным: игроки могут соперничать друг с другом, могут быть в команде, а в некоторых играх возможны оба вида взаимодействия. Соперничество может выражаться как напрямую, например игра в шахматы, так и в таблице рейтингов в какой-нибудь браузерной игре.

Существует особый жанр игр MMORPG (англ. Massive Multiplayer Online Role-playing Game, массовая многопользовательская онлайновая ролевая игра) — разновидность онлайновых

ролевых игр, позволяющая тысячам людей одновременно играть в изменяющемся виртуальном мире через Интернет. Сообщество любителей игр в жанре MMORPG зарегистрировано в сети Интернет по адресу www.mmorpg.su.

Подобные игры, как правило, построены на технологии «клиент-сервер», но есть разновидности, где в качестве клиента выступает обычный браузер. Игрок в такой игре представляется своим **аватаром** — виртуальным представлением его игрового персонажа. Создатели игры поддерживают существование игрового мира, в котором происходит действие игры и который населен ее персонажами.

Когда геймеры попадают в игровой мир, они могут в нем выполнять различные действия вместе с другими игроками со всего мира. Разработчики MMORPG поддерживают и постоянно развивают свои миры, добавляя новые возможности и доступные действия для того, чтобы «гарантировать» интерес игроков. Яркими представителями подобного рода игр на сегодняшний день являются EverQuest, World of Warcraft, Anarchy Online, Asheron's Call, Everquest II, Guild Wars, Ragnarok Online, Silkroad Online, The Matrix Online, City of Heroes.

Задания:

а)Создайте свой аккаунт (если вы его не имеете) в одной из социальных сетей, например Livejournal или Facebook. Выполните скриншоты своего блога. Результат отправьте на электронную почту преподавателя.

б)Используя программу Windows Live Messenger, добавьте в друзья (по предварительной договоренности) своего преподавателя и свяжитесь с ним в режиме реального времени либо оставьте ему сообщение.

в)Установите на свой компьютер программу Яндекс.Диск. Предоставьте доступ к нескольким файлам своему преподавателю.

г)Создайте учебное предприятие, используя облачный сервис Мегаплан. Заполните информацией все имеющиеся в программе модули. Установите связи между отделами. Пригласите нескольких своих друзей в проект. Продемонстрируйте результат преподавателю, открыв ему доступ.

д)Напишите краткий отчет о результатах своей работы по созданию виртуального предприятия, указав в нем этапы его создания, результаты совместной сетевой деятельности.

е)Являетесь ли вы участником какой-либо игры в жанре MMORPG? Если да, расскажите об основных правилах той игры, в которой вы участвуете. Каким образом происходит ваше взаимодействие в ней с друзьями?

3. Организация форумов

Методические указания

В настоящее время перед каждым образовательным учреждением стоит задача формирования открытой информационной образовательной среды. Эффективным механизмом является использование коммуникационных возможностей сети Интернет. В частности, организация на сайтах или в информационных системах образовательных учреждений форумов (дискуссий).

Форум — это web-страница, созданная на основе клиент-серверной технологии для организации общения пользователей сети Интернет. Концепция форума основана на создании разделов, внутри которых происходит обсуждение различных тем в форме сообщений. От чата форум отличается тем, что общение может происходить не в реальном времени. Таким образом, человек имеет возможность подумать над своим ответом или над создаваемой темой.

По методу формирования набора тем форумы бывают:

- **тематические. В** рамках таких форумов пользователи обсуждают предварительно опубликованную статью, новость СМИ и т.д. Обсуждение происходит в одной или нескольких темах;

- **проблемные.** Для обсуждения предлагается ряд проблемных вопросов (тем). Обсуждение каждой проблемы происходит в своей ветке. Чаще всего в подобных типах форумов пользователь не имеет права создавать новую тему;

- **постоянно действующие форумы.** Форумы поддержки (помощи). По такому принципу строятся форумы технической поддержки, различные консультации и пр. Чаще всего это форумы с динамическим списком тем, где простые участники могут создавать новую тему в рамках тематики форума.

Форумы функционируют согласно определенным правилам, которые определяют администраторы и модераторы. **Администратор форума** следит за порядком во всех разделах, контролирует общение на ресурсе и соблюдение правил сайта. **Модератор форума** чаще всего следит за порядком в конкретном разделе, имеет более узкие права, чем администратор. Его основная задача — увеличивать популярность форума, количество участников и число интересных обсуждений. Дополнительные задачи:

- стимулировать появление новых интересных тем;
- стимулировать общение на форуме;
- не допускать конфликтных ситуаций на форуме, а в случае их возникновения — уметь найти выход из сложной ситуации;
- при появлении в темах **спама** (рассылка коммерческой и иной рекламы или иных видов сообщений (информации) лицам, не выражавшим желания их получать) немедленно сообщать об этом администратору сайта;
- следить за культурой сетевого общения.

Для каждого конкретного форума администратором могут быть созданы свои правила, но в целом их можно свести к следующим:

1. На форумах приветствуется поддержание дискуссии, обмен опытом, предоставление интересной информации, полезных ссылок.
2. Не нужно вести разговор на «вольные» темы и размещать бессодержательные (малосодержательные) или повторяющиеся сообщения. Под бессодержательными (малосодержательными) понимаются, в частности, сообщения, содержащие исключительно или преимущественно эмоции (одобрение, возмущение и т. д.).
3. Желательно проверять грамотность сообщений (например, редактором Microsoft Word) — ошибки затрудняют понимание вопроса или ответа и могут раздражать участников обсуждения.
4. Длинные сообщения желательно разбивать на абзацы пустыми строчками, чтобы их было удобно читать.
5. Запрещается размещать заведомо ложную информацию.
6. Не рекомендуется публиковать сообщения, не соответствующие обсуждаемой теме, в том числе личные разговоры в ветках форума.
7. Не следует писать сообщения сплошными заглавными буквами, так как это эквивалентно повышению тона, а также латинскими буквами. При этом сообщение считается нарушающим данное правило, если такого рода текстом набрано более трети всего сообщения.
8. Участники форума не должны нарушать общепринятые нормы и правила поведения. Исключено употребление грубых слов и ненормативной лексики, выражение расистских, непристойных, оскорбительных или угрожающих высказываний, нарушений законодательства в области авторского права или сохранности конфиденциальной информации.
9. Запрещено публично обсуждать нелегальное использование (в том числе взлом) программного обеспечения, систем безопасности, а также публикацию паролей, серийных номеров и адреса (ссылки), по которым можно найти что-либо из вышеназванного.
10. Не следует размещать в форумах, а также рассылать через личные сообщения коммерческую рекламу и спам.

Для создания форумов используется ряд программных решений, написанных на языке PHP (англ. Hypertext Preprocessor — предпроцессор гипертекста) и используемых для ведения своей базы данных сервер MySQL. К их числу относится **Invision Power Board** (www.invisionpower.com), **vBulletin** (www.vbulletin.com), **PHP Bulletin Board** (www.phpbb.com), **Simple Machines Forum** (www.simplemachines.org) и ряд других.

Однако создать «движок форума» с помощью перечисленного программного обеспечения начинающему пользователю будет весьма непросто, поскольку и сами программы, и документация к ним написаны на английском языке.

Попробовать свои силы для создания тематического форума можно с использованием российских web-сервисов, предлагающих свои услуги в этом направлении. Остановим свой выбор на сервисе Forum2x2 (www.forum2x2.ru), который предлагает создание и хостинг форумов. Forum2x2 позволяет создать форум бесплатно, всего за несколько секунд и без всяких технических знаний, а после — мгновенно начать общение. Интерфейс форума является наглядным, простым в использовании и легко настраивается.

Определим следующую задачу — создать форум своего учебного заведения. Находясь на сайте сервиса Forum2x2, выберем кнопку **Создать бесплатный форум.** Пользователю будет предложено выбрать одну из четырех версий создания форумов: Phpbb3, Phpbb2, IPB и Punbb. Их краткая характеристика будет представлена в соответствующих вкладках. Воспользуемся самым простым из них - **Punbb,** который предоставляет только базовые опции web-форума, а следовательно, является оптимальным по скорости и простоте использования. Далее нам предстоит выполнить три простых шага:

- 1. Выбрать графический стиль форума.
- 2. Ввести название форума, его интернет-адрес, свой адрес электронной почты, пароль.
- 3. Прочитать информацию о недопустимом содержании создаваемого форума.

На этом создание форума можно считать завершенным. На рис. 5 представлен один из возможных примеров созданного форума.

Рис. 5 Внешний вид созданного форума

В своем электронном почтовом ящике вы обнаружите письмо от администрации сервиса Forum2x2, в котором будут даны несколько полезных советов для успешного начала работы форума, в частности:

- - поместить в форум несколько сообщений, чтобы задать тон обсуждения;
- - внести личный аспект в стиль оформления форума, подобрав цвета и шрифты;
- - сообщить по электронной почте друзьям о новом форуме и пригласить их поучаствовать в форуме;
- - поместить ссылки на форум на других сайтах, форумах и в поисковых системах.

Для администрирования вновь созданного форума необходимо ввести имя пользователя (Admin) и пароль, который вы выбрали при создании форума. После этого вы получаете доступ к ссылке **Панель администратора,** расположенной внизу страницы, которая имеет несколько вкладок (рис. 6).

Рис. 6. Вкладки Панели администратора

Вкладка **Главная** отображает информацию по статистике созданных сообщений, количестве пользователей и тем. Здесь же можно воспользоваться практическими советами по повышению посещаемости созданного форума. Попробуйте пригласить на созданный форум своих друзей, знакомых, с помощью ссылки **Адреса Email,** вводя в соответствующее поле их электронные адреса. Максимальное число приглашений, отправляемых за один раз, — десять.

Вкладка **Общие настройки** позволяет сконфигурировать форум в соответствии с личными целями администратора. В частности, можно изменить название сайта, его описание, определить конфигурацию защиты форума, определить E- mail администратора.

С помощью раздела **Категории и форумы** создайте свои форумы, определите порядок их вывода с помощью соответствующих кнопок **(Сдвинуть вверх, Сдвинуть вниз). Категория** представляет собой совокупность форумов, объединенных общей тематикой. Один из возможных примеров создания форумов приведен на рис. 7.

Сделанные изменения доступны для просмотра после нажатия на кнопку **Просмотр форума.** Находясь на вкладке **Общие настройки,** перейдите в раздел **Раскрутка форума** и выберите пункт **Поисковые системы.** Введите информацию для ваших мета-тегов, чтобы улучшить позицию вашего форума в поисковых системах. **Мета-теги** — это невидимые коды, используемые поисковиками для индексации и позиционирования вашего форума. Зарегистрируйте ваш форум в основных поисковых системах: Yandex, Google, Rambler.

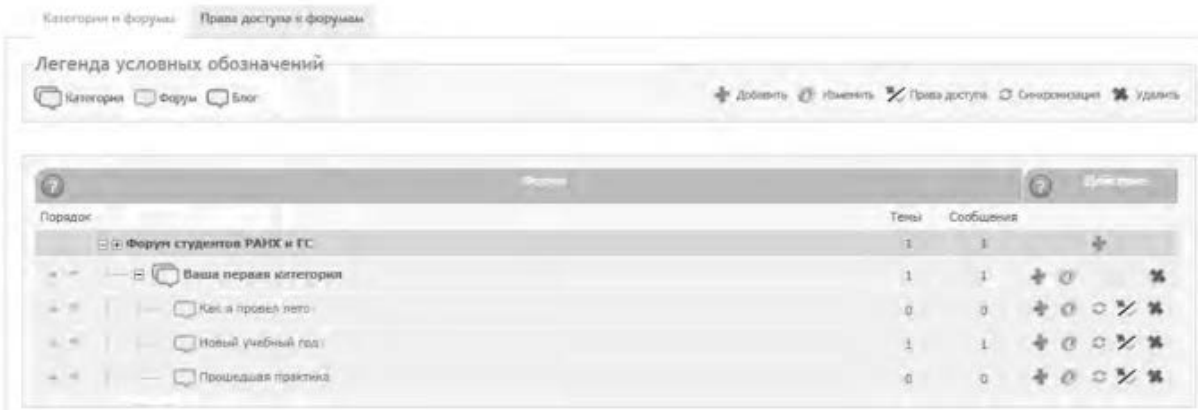


Рис. 7. Структура форумов

Используя вкладку **Оформление,** поэкспериментируйте с различными стилями для того, чтобы повысить привлекательность форума. Здесь же можно поменять версию «движка» форума.

Будучи администратором вашего форума, вы являетесь его единственным полноправным хозяином и полностью контролируете его. С помощью вкладки **Пользователи**

& Группы создайте группу модераторов, ответственных за соблюдение установленных вами правил (правил орфографии, правил поведения на форуме и т.д.).

Перейдите на вкладку **Модули.** Здесь вы можете добавить к вашему форуму такие модули, как портал, календарь, галерея, чат или листы персонажей. Выберите ссылку **Портал.** Появится информация о том, что портал не инсталлирован. Нажмите ссылку — инсталлировать. Внешний вид созданного портала представлен на рис. 8.

Рис. 8. Созданный портал

На вкладке **Модули** попробуйте поработать с виджетами (гаджетами) форума, из которых и состоит портал. **Виджет** — это элемент интерфейса, предназначенный для облегчения доступа к информации.

Добавьте/удалите стандартные виджеты форума (Поиск, Календарь, Новости, Последние темы, Самые активные пользователи и др.), отслеживая изменения нажатием кнопки **Просмотр портала.** Оставьте наиболее удачный, с вашей точки зрения, вариант.

Итак, мы приобрели первоначальные практические навыки создания собственного форума и выполнили действия, направленные на увеличение его посещаемости. Кроме того, необходимо создать ссылку на форум с главной страницы сайта учебного заведения. Следует отметить, что, для того чтобы созданный форум не оставался в статичном виде, необходима большая работа администратора, модераторов по его поддержанию.

Альтернативным способом организации форумов является их развертывание в информационной системе учебного заведения. На современном отечественном рынке автоматизированных информационных систем управления учебным процессом представлено достаточно большое количество решений. Свой выбор остановим на ИС ModEUS (http://modeus.krf.ane.ru/index.php), которая разработана с учетом специфики российского образования и обеспечивает автоматизацию учебного процесса, в том числе и дистантного (учет учебного процесса, его планирование и публикация, подготовка отчетной документации).

После регистрации в системе ModEUS, нужно выбрать ссылку **Дискуссии.** Вы можете организовать дискуссию (форум) по любому из находящихся в системе курсов, щелкнув мышью по его названию.

Рис. 9. Страница Дискуссии в ИС ModEUS

Создадим новую тему, нажав одноименную кнопку. Впишем в соответствующие поля название темы и вопрос, предлагаемый для обсуждения. Подобная ситуация представлена на рис. 437. Кроме того, мы имеем возможность прикрепить текстовый файл объемом не более 16 Мб, например список вопросов к экзамену.

После нажатия на кнопку **Создать** тема дискуссии отображается в системе (рис. 10), и любой из студентов может принять участие в ее обсуждении.

Таким образом, можно определить преимущества создания форума в информационной системе учебного заведения:

- - отсутствует необходимость иметь практические навыки работы по созданию web-страниц;
- - нет необходимости заботиться о раскрутке форума - студенты и преподаватели постоянно работают в системе.

В то же время есть и ряд недостатков, в частности:

- - форум доступен исключительно для студентов и преподавателей учебного заведения, в котором функционирует информационная система;
- - стандартизированный типовой интерфейс для всех выполняемых функций;
- - нет возможности организовать дискуссию на вольную тему.

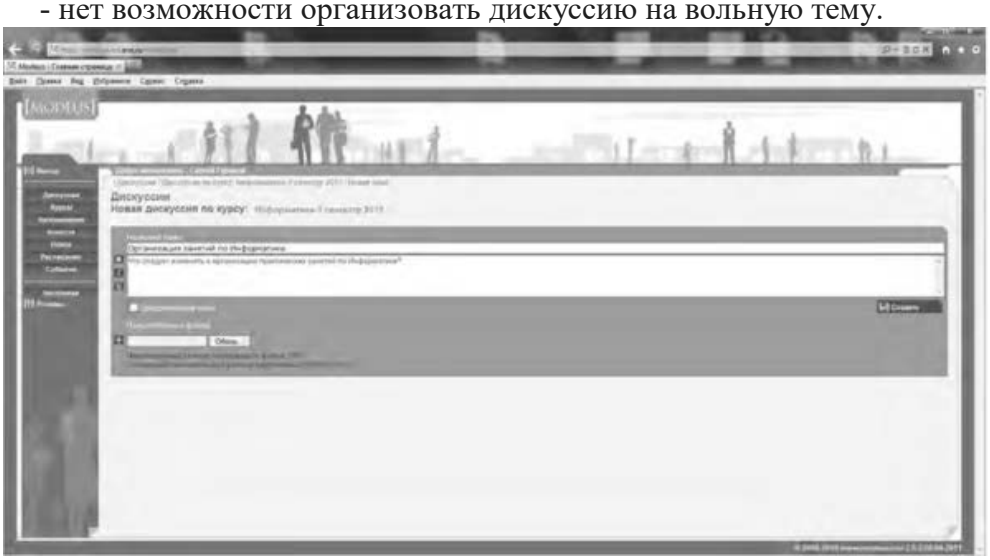


Рис. 10 Создание новой темы

Рис. 11. Создана тема для дискуссии

Использование тестирующих систем в локальной сети образовательного учреждения

Теперь познакомимся с возможностями ИС ModEUS для **организации тестирования студентов в локальной сети образовательного учреждения.** Использование тестирования как наиболее объективного метода оценки качества образования широко используется в учебных заведениях России. Полнота охвата проверкой требований к уровню подготовки студентов предполагает методику конструирования тестовых заданий закрытого и открытого типа. К тестовым заданиям **закрытого типа** относятся задания, предполагающие выбор верного ответа из предложенных вопросов. Тестовые задания **открытого типа** требуют конструирования ответов с кратким и развернутым ответом. И тот, и другой тип заданий успешно реализуются в ИС ModEUS.

Прежде чем создать тестовое задание, необходимо зайти в один из учебных курсов, находящихся в репозитарии (хранилище данных), нажав кнопку **Курсы** в главном меню. Под «курсом» в ПС ModEUS понимается дисциплина, находящаяся в учебном плане.

Найдем в списке **Занятия курса** требуемое занятие и нажмем ссылку **Список заданий,** находящуюся справа от поля **Тип.** Для того чтобы добавить задание в занятие, нажмем кнопку **Добавить.** Подобная ситуация представлена на рис. 11.

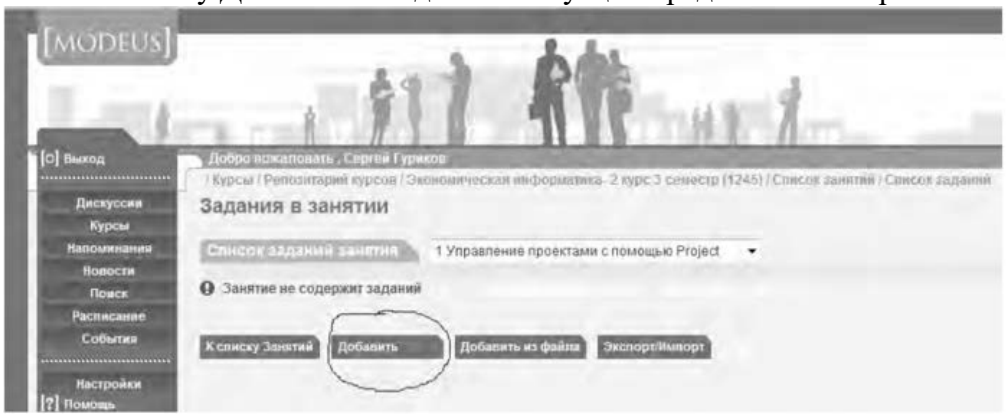


Рис.12. Добавление задания

Тип задания можно выбрать из раскрывающегося списка (рис. 12), кроме того, можно дать название новому заданию, установить балл и выбрать количество попыток сдачи.

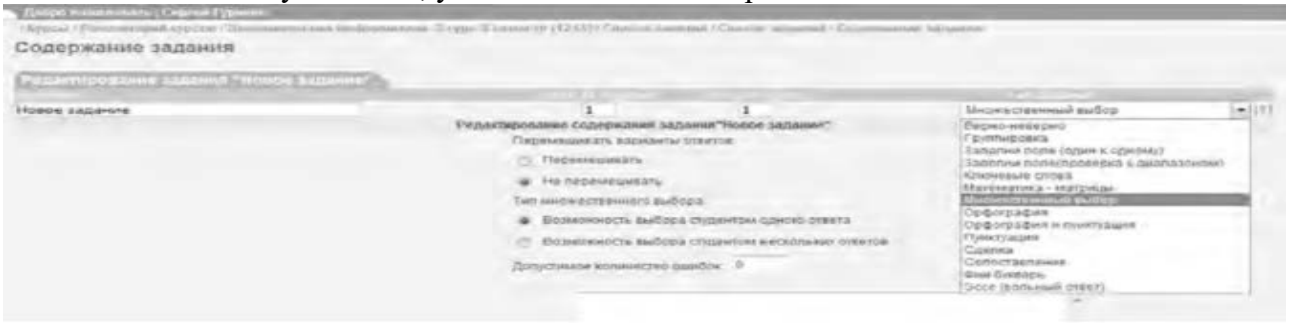


Рис.13. Выбор типа задания

Рассмотрим несколько примеров формирования вопросов закрытого и открытого типа в ИС ModEUS.

Тестовое задание со множественным выбором верных ответов (закрытый тип). Данный тип задания дает вам возможность задать вопрос и варианты ответов на него, из которых обучающийся должен выбрать верный (рис. 14). Правильным может быть один или несколько вариантов. Для того чтобы наполнить задание, выполните следующие действия:

- - в опции **Перемешивать варианты ответов** поставьте метку в поле **Перемешивать,** если вы хотите, чтобы указанные вами варианты ответов выводились на экран в различном порядке, поставьте метку в поле **Не перемешивать,** если варианты ответов должны выводиться всегда в одинаковом порядке;
- - в опции **Тип множественного выбора** поставьте метку в поле **Возможность выбора студентом одного ответа,** если обучающийся из предложенных вариантов ответов может выбрать только один верный, поставьте метку в поле **Возможность выбора студентом нескольких ответов,** если обучающийся может выбрать несколько верных ответов;
- - введите текст задания в поле **Текст задания;**
- - в случае если в задании присутствует приложение, укажите путь к этому приложению, нажав на кнопку I обзор... I и указав путь к файлу на жестком или сетевом диске. Приложением может быть документ любого формата, например изображение;
- - введите тексты вариантов ответов в соответствующие поля;
- - для добавления нового поля под вариант ответа нажмите на кнопку

- каждый вариант ответа может быть дополнен приложением. Для добавления к варианту ответа приложенияукажите путь к нему в поле **Добавить приложение,** нажав на кнопку

и указав путь к файлу на жестком или сетевом диске;

- установите флажки напротив одного или нескольких правильных вариантов ответа;

- нажмите на кнопку

для сохранения задания в базе данных;

- нажмите на кнопку

, чтобы сохранить задание и сразу перейти к составлению нового задания.

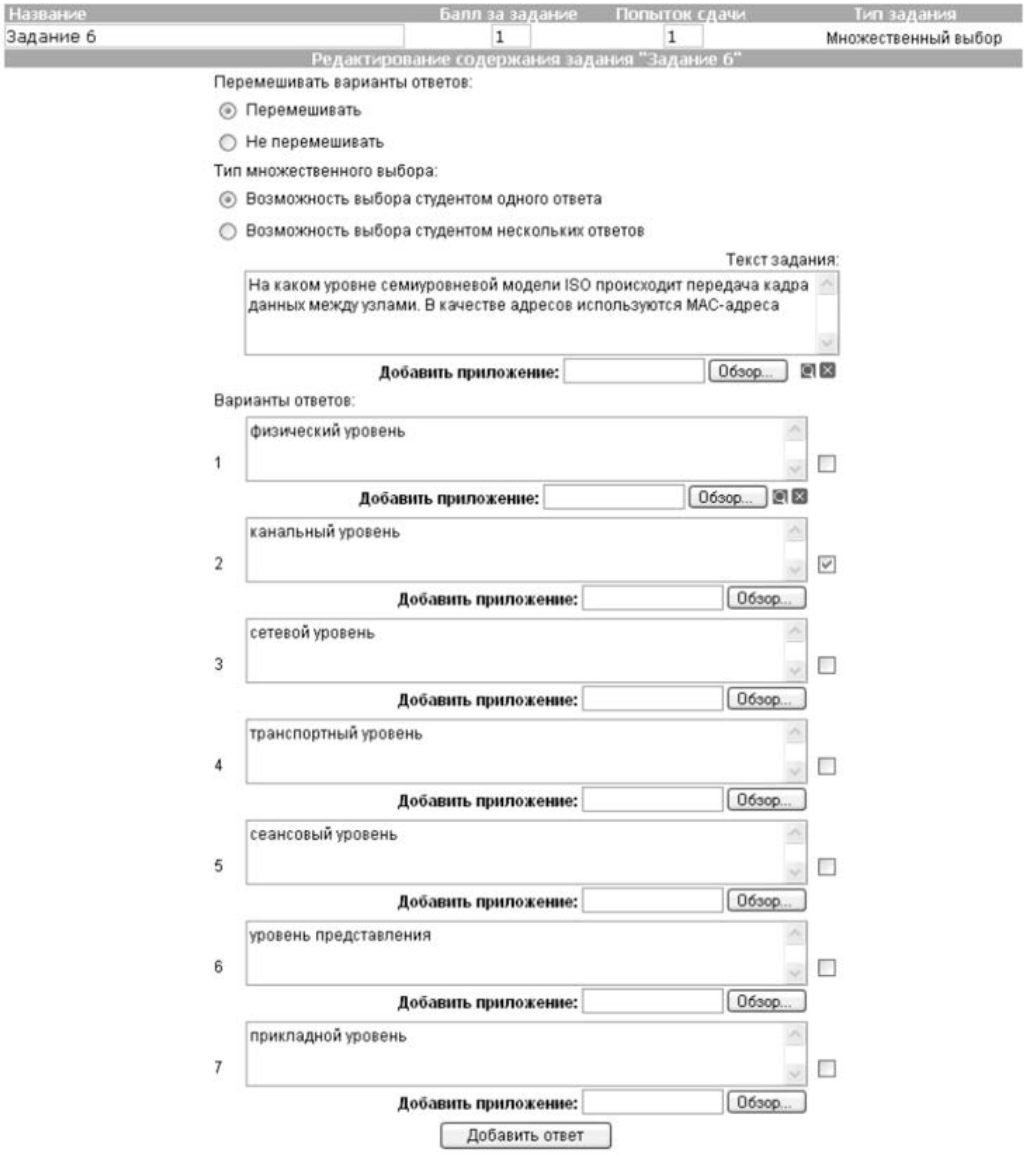


Рис. 14. Создание задания со множественным выбором верных ответов

Тестовое задание с добавлением слова (открытый тип). Данный тип задания (рис. 15) дает вам возможность задать вопрос, на который обучающийся должен ответить, введя ответ с клавиатуры в виде текста, цифры, слова, математической формулы и т.д. Для того чтобы наполнить задание, выполните следующие действия:

- - введите текст задания в поле **Текст задания;**
- - текст задания может представлять собой текст или текст в сочетании с приложением. Чтобы добавить приложение (изображение или документ), нажмите на кнопку Обзор..., находящуюся под полем **Текст задания,** и укажите путь к файлу на жестком или сетевом диске;
- - в поле **Вопрос** введите вопрос, на который должен ответить обучающийся;
- - в поле **Ответ** укажите правильный ответ;

- в пределах одного задания вы можете задать обучающемуся несколько вопросов. Для добавления вопроса нажмите на кнопку Добавить вопрос;

- нажмите на кнопку Зафиксировать для сохранения задания в базе данных;

- нажмите на кнопку Сохранить и добавить новое, чтобы сохранить задание и сразу

перейти к составлению нового задания.

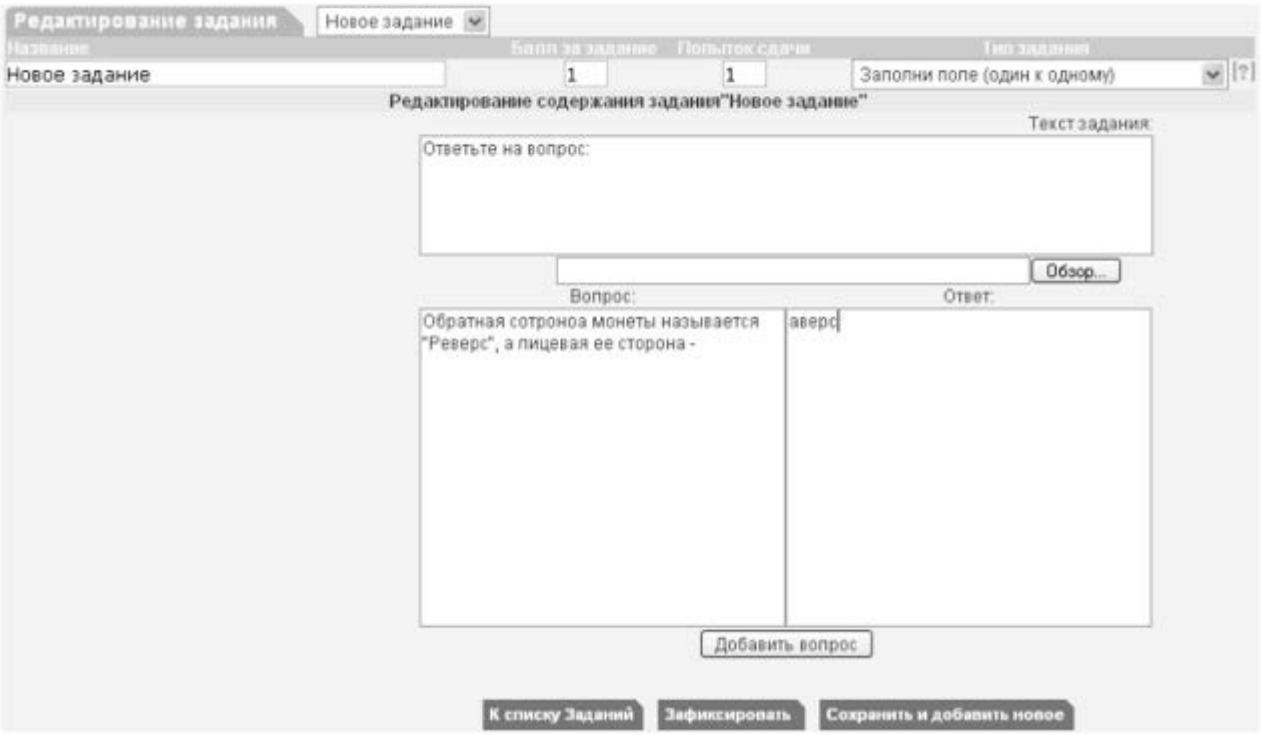


Рис. 15 Создание задания с добавлением слова

Кроме рассмотренных типов заданий, в ИС ModEUS существует и ряд других, в частности:

Верно - неверно. Данный тип задания предоставляет возможность обучающемуся выбрать один из вариантов ответа («верно» или «неверно») на поставленный вопрос.

Группировка. В данном типе задания обучающемуся необходимо распределить заданный список понятий по группам.

Заполни поле (проверка с диапазоном). Данный тип задания дает возможность задать вопрос, на который обучающийся должен ответить, введя с клавиатуры числовой ответ.

Сопоставление. Проверяется способность обучающихся сопоставить понятия по указанному принципу.

Эссе. Обучающийся отвечает в свободной форме на поставленный преподавателем вопрос. Вопрос может быть представлен в виде текста или любого другого документа.

Следует отметить, что в ИС ModEUS можно задать количество вопросов, время на проведение тестовых заданий, а также **мощность теста.** Мощность определяет количество заданий, которые будут предложены студенту для выполнения. Например, если в группе заданий десять вариантов заданий, а мощность группы равна пяти, то студенту будут предложены для выполнения пять заданий из десяти. После проведения тестирования в информационной системе происходит автоматическое формирование оценок на основании выполненных студентами заданий.

Итак, мы завершили рассмотрение возможностей информационной системы, работающей в локальной сети учебного заведения для организации форумов и проведения тестирования студентов.

Настройка видео web-сессий

В настоящее время миллионы пользователей во всем мире используют видеосвязь с помощью сети Интернет для общения друг с другом. Достоинства такого способа общения очевидны: есть возможность слышать и визуально наблюдать собеседника, находящегося, возможно, за тысячи километров. Для обеспечения полноценной видеосвязи для захвата и воспроизведения видео и звука могут использоваться как встроенные в компьютер камера, микрофон или динамик, так и внешние устройства, такие как web-камера, головная гарнитура, а также следует обеспечить высокоскоростной доступ к Интернету.

Взаимодействие собеседников при организации видео web-сессий возможно в нескольких направлениях: видеоконференция и видеотелефония.

1. **Видеоконференция** — это технология интерактивного взаимодействия двух и более человек, при которой между ними происходит обмен информацией в режиме реального времени. Существует нескольких видов видеоконференций:

- **симметричная (групповая)** видеоконференция позволяет проводить сеансы показа презентаций или рабочего стола;
- **асимметричная** видеоконференция используется для дистанционного образования. Позволяет собрать в конференции множество участников таким образом, что все они будут видеть и слышать одного ведущего, он, в свою очередь, всех участников одновременно;
- **селекторное видеосовещание** — рассчитано на взаимодействие большой группы участников, при котором пользователи имеют возможность активно обсуждать действия при чрезвычайных ситуациях, оперативно решать текущие вопросы.

Для эффективной организации проведения web-конференций, маркетинговых презентаций, онлайн-обучения, совещаний и любых других видов онлайн-встреч существует ряд программных решений. В качестве примера можно привести программы Mirapolis Virtual Room (http://virtualroom.ru/), ВидеоМост (www.videomost.com), TrueConf Online (http://trueconf.ru/) и др.

2. Видеотелефония — реализуется посредством сеанса видеосвязи между двумя пользователями, во время которого они могут видеть и слышать друг друга, обмениваться сообщениями и файлами, вместе работать над документами и при этом находиться в разных местах в комфортной для себя обстановке.

Для того чтобы общаться с близкими и друзьями, можно бесплатно совершать видеозвонки с помощью таких программ, как Skype (http://www.Skype, com/intl/ru/get-skype), Mail.ru Агент (http://agent.mail.ru) и ряд других.

Для того чтобы проверить наличие встроенной web-камеры на компьютере, достаточно войти в меню **Пуск,** выбрать **Компьютер,** щелкнуть на нем правой кнопкой мыши и в контекстно-зависимом меню нажать пункт **Свойства.** Далее следует выбрать пункт меню **Диспетчер устройств,** а в нем пункт **Устройства обработки изображений.** Наличие в нем устройства, например, USB 2.0 Camera свидетельствует о наличии web-камеры.

Кроме того, в документации к компьютеру (Руководство пользователя) или другому устройству должны быть приведены сведения об установленных в систему устройствах и, в частности, инструкция по использованию встроенной камеры и программному обеспечению, отвечающему за данное устройство.

Одной из таких популярных утилит является ArcSoft WebCam Companion — пакет приложений для взаимодействия с web-камерой, который позволяет захватывать, редактировать изображения и записывать видео. Самостоятельно проведите ее инсталляцию, воспользовавшись web-адресом http://arcsoft-webcam- companion.en.softonic.com. После установки данной программы на компьютер ее можно запустить на выполнение командой **Пуск/Все программы/ArcSoft WebCam Companion/WebCam Companion.** Интерфейс программы представлен несколькими разделами: Захват, Маска, Забавная рамка, Правка, Монитор, Другие приложения (рис. 16).

Рис. 16. Пункты меню программы ArcSoft WebCam Companion

Выберем значок **Захват,** а в нем пункт меню **Параметры web-камеры.** Откроется окно, представленное на рис. 17.

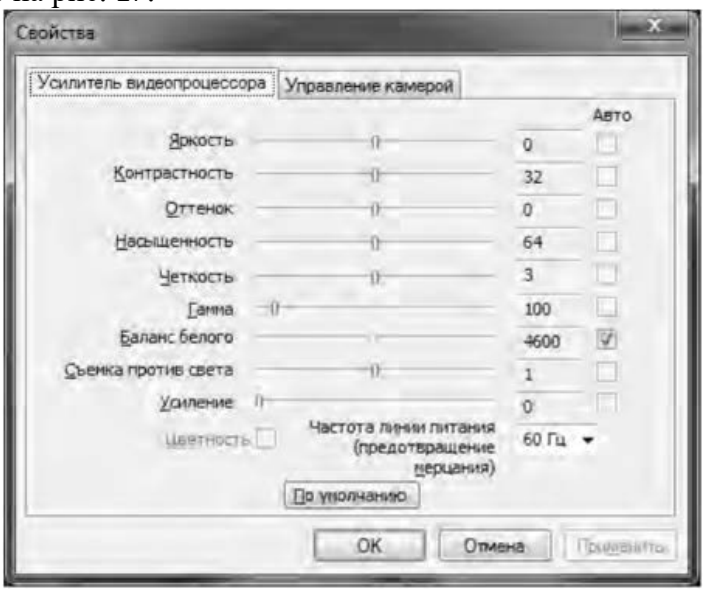


Рис. 17. Окно Свойства web-камеры

Как видно из рис. 17, в данном окне можно изменить основные параметры настройки web-камеры, одновременно наблюдая за результатом на экране. При желании настройки можно вернуть в исходное состояние, нажав на кнопку **По умолчанию.**

Теперь поговорим о том, как организовать web-сессию в такой популярной программе, как Skype. Ее большим преимуществом является такой факт, что звонки между абонентами являются бесплатными. Однако, если вы делаете звонок на мобильный или стационарный телефон, вам потребуется позаботиться о том, чтобы на вашем счете были деньги. Положить деньги на оплату разговоров в Skype вы можете с использованием такого сервиса, как Яндекс.Деньги (https://money.yandex.ru/).

Инсталлируйте программу Skype, воспользовавшись ее адресом в сети Интернет http://www.skype.com/intl/ru/get-skype. После установки программа становится доступной после выполнения команды **Пуск/Все программы/ Skype/Skype. В** окне регистрации введите свой логин и пароль. Обратите внимание на то, что если вы установите флажок в пункте **Автоматическая авторизация при запуске Skype,** то вам не придется каждый раз вводить свои данные.

Добавьте своих друзей, родственников в список контактов, воспользовавшись командой **Контакты/Добавить контакт.** Вам нужно ввести фамилию, имя знакомого, его контактный телефон, адрес электронной почты. В результате ваши контакты будут располагаться в группе **Контакты** и будут видны при каждом запуске программы.

Выполним настройку web-камеры. Последовательно нажмем **Инструменты/Настройки/Настройки видео.** Появится окно, представленное на рис. 18.

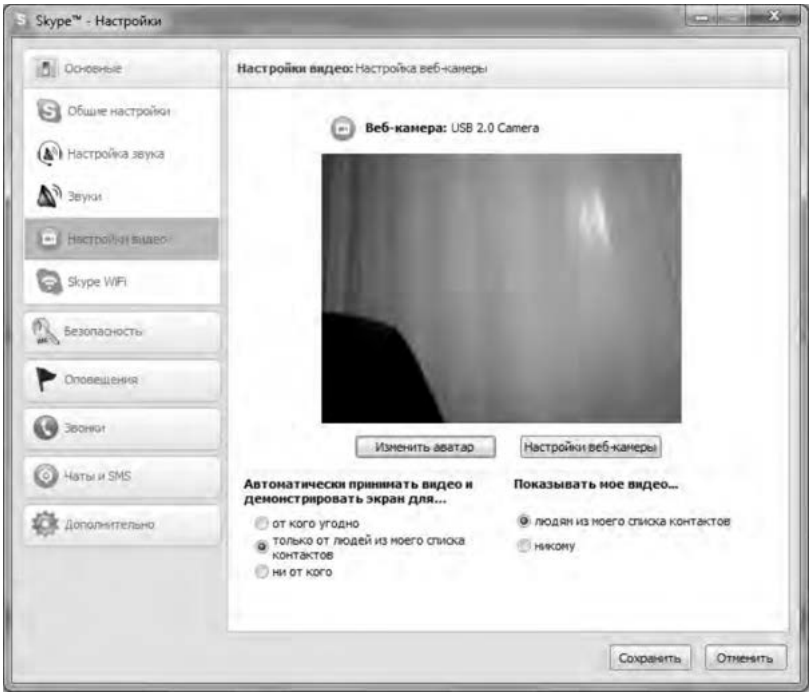


Рис.18. Окно Настройки

Если вы видите изображение - камера настроена и готова к работе. В противном случае, Skype выведет об этом текстовое сообщение. Теперь перейдем в меню **Настройка звука.** Проверьте, что поставлен флажок в опции **Разрешить автоматическую настройку микрофона.** Скажите несколько слов вслух, уровень громкости звука в опции **Громкость** должен изменяться. Окончательно проверить сделанные настройки можно с помощью контрольного звонка. Для этого, находясь в меню **Настройка** звука, выберите пункт **Сделать контрольный звонок в** Skype. В ходе контрольного звонка вы сможете сделать запись своего голоса в течение десяти секунд, а затем прослушать его. Если этот эксперимент окончится удачно, значит, все настройки выполнены правильно и программа готова к работе.

Теперь, когда мы завершили работу с настройками программы, можно попробовать сделать видеозвонок. Для этого необходимо совершить следующие действия:

1. Войти в программу Skype.
2. В группе **Контакты** щелчком мыши выбрать абонента. Во время звонка он должен быть в сети, о чем будет свидетельствовать соответствующий значок в программе Skype.
3. Нажать кнопку **Видеозвонок.**

Через несколько секунд соединение будет установлено и вы можете начать разговор, в процессе которого вы будете видеть и слышать своего собеседника. Подобная ситуация представлена на рис. 19.

Рис. 19 Сеанс связи установлен

Если во время разговоров у вас возникают неполадки со звуком, такие как сильный фоновый шум, эхо, задержка звука, «механический» звук или пропадание слов, следует убедиться в следующем:

1. Использует ли собеседник последнюю версию программы Skype? Информацию о версии программы можно получить, выполнив команду **По- мощь/О** Skype.
2. Нет ли рядом с микрофоном источников шума?
3. Не расположен ли микрофон рядом с динамиками?
4. Достаточно ли высокая скорость соединения?

Кроме того, когда программа Skype обнаруживает неполадки во время звонка, на экране появляется сообщение с рекомендациями, которые помогут вам повысить качество связи. Необходимо выполнить эти рекомендации.

Итак, вы получили теоретические сведения и практические навыки работы с организацией видео web-сессий, которые, несомненно, будут востребованы в вашей повседневной жизни.

Задания:

а)Зарегистрируйтесь на сервисе Forum2x2. Создайте форум своего учебного заведения, выбрав одну из четырех версий создания форумов. Выполните советы для успешного начала работы своего форума, приведенные в параграфе 5.4. После завершения работы отправьте на электронную почту преподавателя ссылку на созданный вами форум.

б)Установите на свой компьютер программу Skype. Сделайте видеозвонок вашему преподавателю (по предварительной договоренности).

2. Проведите диагностику стиля делового общения.

Инструкция. С помощью этого теста вы можете оценить свой стиль делового общения. Вам предложено 80 утверждений. Из каждой пары выберите одно — то, которое, как вы считаете, наиболее соответствует вашему поведению. Обратите внимание па то, что ни одна пара не должна быть пропущена. Тест построен таким образом, что ни одно из приведенных ниже утверждений не является ошибочным.

1. Я люблю действовать.
2. Я работаю над решением проблем систематическим образом.
3. Я считаю, что работа в командах более эффективна, чем на индивидуальной основе.
4. Мне очень нравятся различные нововведения.
5. Я больше интересуюсь будущим, чем прошлым.
6. Я очень люблю работать с людьми.
7. Я люблю принимать участие в хорошо организованных встречах.
8. Для меня очень важными являются окончательные сроки.

9. Я против откладываний и проволочек.
10. Я считаю, что новые идеи должны быть проверены прежде, чем они будут применяться на практике.
11. Я очень люблю взаимодействовать с другими людьми. Это меня стимулирует и вдохновляет.
12. Я всегда стараюсь искать новые возможности.
13. Я сам люблю устанавливать цели, планы и т.п.
14. Если я что-либо начинаю, то доделываю это до конца.
15. Обычно и стараюсь понять эмоциональные реакции других.
16. Я создаю проблемы другим людям.
17. Я надеюсь получить реакцию других на свое поведение.
18. Я нахожу, что действия, основанные на принципе «шаг за шагом», являются очень эффективными.
19. Я думаю, что хорошо могу понимать поведение и мысли других.
20. Я люблю творческое решение проблем.
21. Я все время строю планы на будущее.
22. Я восприимчив к нуждам других.
23. Хорошее планирование — ключ к успеху.
24. Меня раздражает слишком подробный анализ.
25. Я остаюсь невозмутимым, если на меня оказывают давление.
26. Я очень ценю опыт.
27. Я прислушиваюсь к мнению других.
28. Говорят, что я быстро соображаю.
29. Сотрудничество является для меня ключевым словом.
30. Я использую логические методы для анализа альтернатив.
31. Я люблю, когда одновременно у меня идут разные проекты.
32. Я постоянно задаю себе вопросы.
33. Делая что-либо, я тем самым учусь.
34. Полагаю, что я руководствуюсь рассудком, а не эмоциями.
35. Я могу предсказать, как другие будут вести себя в той или иной ситуации.
36. Я не люблю вдаваться в детали.
37. Анализ всегда должен предшествовать действиям.
38. Я способен оценить климат в группе.
39. У меня есть склонность не заканчивать начатые дела.
40. Я воспринимаю себя как решительного человека.
41. Я ищу такие дела, которые бросают мне вызов.
42. Я основываю свои действия на наблюдениях и фактах.
43. Я могу открыто выразить свои чувства.
44. Я люблю формулировать и определять контуры новых проектов.
45. Я очень люблю читать.
46. Я воспринимаю себя как человека, способного интенсифицировать, организовать деятельность других.
47. Я не люблю заниматься одновременно несколькими вопросами.
48. Я люблю достигать поставленных целей.
49. Мне нравится узнавать что-либо о других людях.
50. Я люблю разнообразие.
51. Факты говорят сами за себя.
52. Я использую свое воображение, насколько это возможно.
53. Меня раздражает длительная, кропотливая работа.
54. Мой мозг никогда не перестает работать.
55. Важному решению предшествует подготовительная работа.
56. Я глубоко уверен в том, что люди нуждаются друг в друге, чтобы завершить работу.

57. Я обычно принимаю решение, особо не задумываясь.
58. Эмоции только создают проблемы.
59. Я люблю быть таким же, как другие.
60. Я не могу быстро прибавить пятнадцать к семнадцати.
61. Я примеряю свои новые идеи к людям.
62. Я верю в научный подход.
63. Я люблю, когда дело сделано.
64. Хорошие отношения необходимы.
65. Я импульсивен.
66. Я нормально воспринимаю различия в людях.
67. Общение с другими людьми значимо само по себе.
68. Люблю, когда меня интеллектуально стимулируют.
69. Я люблю организовывать что-либо.
70. Я часто перескакиваю с одного дела на другое.
71. Общение и работа совместно с другими людьми являются творческим процессом.
72. Самоактуализация является крайне важной для меня.
73. Мне очень нравится играть идеями.
74. Я не люблю попусту терять время.
75. Я люблю делать то, что у меня получается.
76. Взаимодействуя с другими, я учусь.
77. Абстракции интересны для меня.
78. Мне нравятся детали.
79. Я люблю кратко подвести итоги, прежде чем прийти к какому-либо умозаключению.
80. Я достаточно уверен в себе.

Обработка результатов.

Обведите те номера, на которые вы ответили положительно, и отметьте их в приведенной ниже таблице. Посчитайте количество баллов по каждому стилю (один положительный ответ равен 1 баллу). Тот стиль, по которому вы набрали наибольшее количество баллов (по одному стилю не может быть более 20 баллов), наиболее предпочтителен для вас.
Если вы набрали одинаковое количество баллов по двум стилям, значит, они оба присущи вам.

Ключ

Стиль 1: 1, 8, 9, 13, 17, 24, 26, 31, 33, 40, 41, 48, 50, 53, 57, 63, 65, 70, 74, 79.
Стиль 2: 2, 7, 10, 14, 18, 23, 25, 30, 34, 37, 42, 47, 51, 55, 58, 62, 66, 69, 75, 78.
Стиль 3: 3, 6, 11, 15, 19, 22, 27, 29, 35, 38, 43, 46, 49, 56, 59, 64, 67, 71, 76, 80.
Стиль 4: 4, 5, 12, J6, 20, 21, 28, 32, 36, 39, 44, 45, 52, 54, 60, 61, 68, 72, 73, 77.

Интерпретация результатов

Стиль 1 — ориентация на действие. Характерно обсуждение результатов, конкретных вопросов, поведения, ответственности, опыта, достижений, решений. Люди, владеющие этим стилем, прагматичны, прямолинейны, решительны, легко переключаются с одного вопроса на другой.

Стиль 2 — ориентация на процесс. Характерно обсуждение фактов, процедурных вопросов, планирования, организации, контролирования, деталей. Человек, владеющий этим стилем, ориентирован на систематичность, последовательность, тщательность. Он честен, многословен и мало эмоционален.

Стиль 3 ориентация на людей. Характерно обсуждение человеческих нужд, мотивов, чувств, «духа работы в команде», понимания, сотрудничества. Люди этого стиля эмоциональны, чувствительны, умеют сопереживать окружающим.

Стиль 4 — ориентация на перспективу, на будущее. Людям этого стиля присуще обсуждение концепций, больших планов, нововведений, различных вопросов, новых методов, альтернатив. Они обладают хорошим воображением, полны идей, но мало реалистичны и порой их сложно понять.

Задания:

а) На основе самодиагностики определите стиль делового общения

б) Дайте обоснование рекомендаций по совершенствованию делового общения.

ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТА

Общая характеристика реферата

Написание реферата практикуется в учебном процессе в целях приобретения магистрантом необходимой профессиональной подготовки, развития умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов и т. п. С помощью реферата магистрант может глубже постигать наиболее сложные проблемы дисциплины, учится лаконично излагать свои мысли, правильно оформлять работу, докладывать результаты своего труда.

Реферат является первой ступенью на пути освоения навыков проведения научно-исследовательской работы. В «Толковом словаре русского языка» дается следующее определение: «**реферат** – краткое изложение содержания книги, статьи, исследования, а также доклад с таким изложением».

Различают два вида реферата:

- *репродуктивный* – воспроизводит содержание первичного текста в форме реферата-конспекта или реферата-резюме. В реферате-конспекте содержится фактическая информация в обобщённом виде, иллюстрированный материал, различные сведения о методах исследования, результатах исследования и возможностях их применения. В реферате-резюме содержатся только основные положения данной темы;
- *продуктивный* – содержит творческое или критическое осмысление реферируемого источника и оформляются в форме реферата-доклада или реферата-обзора. В реферате-докладе, наряду с анализом информации первоисточника, дается объективная оценка проблемы, и он имеет развёрнутый характер. Реферат-обзор составляется на основе нескольких источников и в нем сопоставляются различные точки зрения по исследуемой проблеме.

Магистрант для изложения материала должен выбрать продуктивный вид реферата.

Выбор темы реферата

Магистранту предоставляется право выбора темы реферата из рекомендованного преподавателем дисциплины списка. Выбор темы должен быть осознанным и обоснованным с точки зрения познавательных интересов автора, а также полноты освещения темы в имеющейся научной литературе.

Если интересующая тема отсутствует в рекомендованном списке, то по согласованию с преподавателем магистранту предоставляется право самостоятельно предложить тему реферата, раскрывающую содержание изучаемой дисциплины. Тема не должна быть слишком общей и глобальной, так как небольшой объем работы (до 20-25 страниц без учёта приложений) не позволит раскрыть ее.

Начинать знакомство с избранной темой лучше всего с чтения обобщающих работ по данной проблеме, постепенно переходя к узкоспециальной литературе. При этом следует сразу же составлять

библиографические выходные данные используемых источников (автор, название, место и год издания, издательство, страницы).

На основе анализа прочитанного и просмотренного материала по данной теме следует составить тезисы по основным смысловым блокам, с пометками, собственными суждениями и оценками. Предварительно подобранный в литературных источниках материал может превышать необходимый объем реферата.

Формулирование цели и составление плана реферата

Выбрав тему реферата и изучив литературу, необходимо сформулировать цель работы и составить план реферата.

Цель – это осознаваемый образ предвосхищаемого результата. Возможно, формулировка цели в ходе работы будет меняться, но изначально следует ее обозначить, чтобы ориентироваться на нее в ходе исследования. Формулирование цели реферата рекомендуется осуществлять при помощи глаголов: исследовать, изучить, проанализировать, систематизировать, осветить, изложить (представления, сведения), создать, рассмотреть, обобщить и т. д.

Определяясь с целью дальнейшей работы, параллельно необходимо думать над составлением плана, при этом четко соотносить цель и план работы. Правильно построенный план помогает систематизировать материал и обеспечить последовательность его изложения.

Наиболее традиционной является следующая **структура реферата**:

Титульный лист.

Оглавление (план, содержание).

Введение.

1. (полное наименование главы).
   1.1. (полное название параграфа, пункта);
   1.2. (полное название параграфа, пункта).
2. (полное наименование главы).
   2.1. (полное название параграфа, пункта);
   2.2. (полное название параграфа, пункта).

Основная часть

Заключение (выводы).

Библиография (список использованной литературы).

Приложения (по усмотрению автора).

Титульный лист оформляется в соответствии с Приложением.

Оглавление (план, содержание) включает названия всех глав и параграфов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие их начало в тексте реферата.

Введение. В этой части реферата обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цель и задачи работы, указываются используемые материалы и дается их краткая характеристика с точки зрения полноты освещения избранной темы. Объем введения не должен превышать 1-1,5 страницы.

Основная часть реферата может быть представлена двумя или тремя главами, которые могут включать 2-3 параграфа (пункта).

Здесь достаточно полно и логично излагаются главные положения в используемых источниках, раскрываются все пункты плана с сохранением связи между ними и последовательности перехода от одного к другому.

Автор должен следить за тем, чтобы изложение материала точно соответствовало цели и названию главы (параграфа). Материал в реферате рекомендуется излагать своими словами, не допуская дословного переписывания из литературных источников. В тексте обязательны ссылки на первоисточники, т. е. на тех авторов, у которых взят данный материал в виде мысли, идеи, вывода, числовых данных, таблиц, графиков, иллюстраций и пр.

Работа должна быть написана грамотным литературным языком. Сокращение слов в тексте не допускается, кроме общеизвестных сокращений и аббревиатуры. Каждый раздел рекомендуется заканчивать кратким выводом.

Заключение (выводы). В этой части обобщается изложенный в основной части материал, формулируются общие выводы, указывается, что нового лично для себя вынес автор реферата из работы над ним. Выводы делаются с учетом опубликованных в литературе различных точек зрения по проблеме рассматриваемой в реферате, сопоставления их и личного мнения автора реферата. Заключение по объему не должно превышать 1,5-2 страниц.

Библиография (список использованной литературы) – здесь указывается реально использованная для написания реферата литература, периодические издания и электронные источники информации. Список составляется согласно правилам библиографического описания.

Приложения могут включать графики, таблицы, расчеты.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕФЕРАТА

Общие требования к оформлению реферата

Рефераты по дисциплинам магистратуры направления подготовки 38.04.02 – «Менеджмент», как правило, требуют изучения и анализа значительного объема статистического материала, формул, графиков и т. п. В силу этого особое значение приобретает правильное оформление результатов проделанной работы.

Текст реферата должен быть подготовлен в печатном виде. Исправления и помарки не допускаются. Текст работы оформляется на листах формата А4, на одной стороне листа, с полями: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 15 мм и нижнее – 25 мм. При компьютерном наборе шрифт должен быть таким: тип шрифта Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5.

Рекомендуемый объем реферата – не менее 20 страниц. Титульный лист реферата оформляется магистрантом по образцу, данному в приложении 1.

Текст реферата должен быть разбит на разделы: главы, параграфы и т. д. Очередной раздел нужно начинать с нового листа.

Все страницы реферата должны быть пронумерованы. Номер страницы ставится снизу страницы, по центру. Первой страницей является титульный лист, но на ней номер страницы не ставится.

Таблицы

Таблицы по содержанию делятся на аналитические и неаналитические. Аналитические таблицы являются результатом обработки и анализа цифровых показателей. Как правило, после таких таблиц делается обобщение, которое вводится в текст словами: «таблица позволяет сделать вывод о том, что…», «таблица позволяет заключить, что…» и т. п.

В неаналитических таблицах обычно помещаются необработанные статистические данные, необходимые лишь для информации и констатации фактов.

Таблицы размещают после первого упоминания о них в тексте таким образом, чтобы их можно было читать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке.

Каждая таблица должна иметь нумерационный и тематический заголовок. Тематический заголовок располагается по центру таблицы, после нумерационного, размещённого в правой стороне листа и включающего надпись «Таблица» с указанием арабскими цифрами номера таблицы. Нумерация таблиц сквозная в пределах каждой главы. Номер таблицы состоит из двух цифр: первая указывает на номер главы, вторая – на номер таблицы в главе по порядку (например: «Таблица 2.2» – это значит, что представленная таблица вторая во второй главе).

Цифры в графах таблиц должны проставляться так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим. В одной графе количество десятичных знаков должно быть одинаковым. Если данные отсутствуют, то в графах ставят знак тире. Округление числовых значений величин до первого, второго и т. д. десятичного знака для различных значений одного и того же наименования показателя должно быть одинаковым.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу, при этом заголовок таблицы помещают только над ее первой частью, а над переносимой частью пишут «Продолжение таблицы» или «Окончание таблицы». Если в работе несколько таблиц, то после слов «Продолжение» или «Окончание» указывают номер таблицы, а само слово «таблица» пишут сокращенно, например: «Продолжение табл. 1.1», «Окончание табл. 1.1».

На все таблицы в тексте курсовой работы должны быть даны ссылки с указанием их порядкового номера, например: «…в табл. 2.2».

Формулы

Формулы – это комбинации математических знаков, выражающие какие-либо предложения.

Формулы, приводимые в реферате, должны быть наглядными, а обозначения, применяемые в них, соответствовать стандартам.

Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой, в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента дается с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы и уравнения следует выделять из текста свободными строками. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знака (+), минус (–), умножения (х) и деления (:).

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах всей курсовой работы (реферата) или главы. В пределах реферата используют нумерацию формул одинарную, в пределах главы – двойную. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

В тексте ссылки на формулы приводятся с указанием их порядковых номеров, например: «…в формуле (2.2)» (второй формуле второй главы).

Иллюстрации

Иллюстрации позволяют наглядно представить явление или предмет такими, какими мы их зрительно воспринимаем, но без лишних деталей и подробностей.

Основными видами иллюстраций являются схемы, диаграммы и графики.

Схема – это изображение, передающее обычно с помощью условных обозначений и без соблюдения масштаба основную идею какого-либо устройства, предмета, сооружения или процесса и показывающее взаимосвязь их главных элементов.

Диаграмма – один из способов изображения зависимости между величинами. Наибольшее распространение получили линейные, столбиковые и секторные диаграммы.

Для построения линейных диаграмм используется координатное поле. По горизонтальной оси в изображенном масштабе откладывается время или факториальные признаки, на вертикальной – показатели на определенный момент (период) времени или размеры результативного независимого признака. Вершины ординат соединяются отрезками – в результате получается ломаная линия.

На столбиковых диаграммах данные изображаются в виде прямоугольников (столбиков) одинаковой ширины, расположенных вертикально или горизонтально. Длина (высота) прямоугольников пропорциональна изображенным ими величинам.

Секторная диаграмма представляет собой круг, разделенный на секторы, величины которых пропорциональны величинам частей изображаемого явления.

График – это результат обработки числовых данных. Он представляет собой условные изображения величин и их соотношений через геометрические фигуры, точки и линии.

Количество иллюстраций в работе должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста.

Иллюстрации обозначаются словом «Рис.» и располагаются после первой ссылки на них в тексте так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации должны иметь номер и наименование, расположенные по центру, под ней. Иллюстрации нумеруются в пределах главы арабскими цифрами, например: «Рис. 1.1» (первый рисунок первой главы). Ссылки на иллюстрации в тексте реферата приводят с указанием их порядкового номера, например: «…на рис. 1.1».

При необходимости иллюстрации снабжаются поясняющими данными (подрисуночный текст).

Приложения

Приложение – это часть основного текста, которая имеет дополнительное (обычно справочное) значение, но, тем не менее, необходима для более полного освещения темы. По форме они могут представлять собой текст, таблицы, графики, карты. В приложении помещают вспомогательные материалы по рассматриваемой теме: инструкции, методики, положения, результаты промежуточных расчетов, типовые проекты, имеющие значительный объем, затрудняющий чтение и целостное восприятие текста. В этом случае в тексте приводятся основные выводы (результаты) и делается ссылка на приложение, содержащее соответствующую информацию. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы. В правом верхнем углу листа пишут слово «Приложение» и указывают номер приложения. Если в реферате больше одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами, например: «Приложение 1», «Приложение 2» и т. д.

Каждое приложение должно иметь заголовок, который помещают ниже слова «Приложение» над текстом приложения, по центру.

При ссылке на приложение в тексте реферата пишут сокращенно строчными буквами «прил.» и указывают номер приложения, например: «…в прил. 1».

Приложения оформляются как продолжение текстовой части реферата со сквозной нумерацией листов. Число страниц в приложении не лимитируется и не включается в общий объем страниц реферата.

Библиографический список

Библиографический список должен содержать перечень и описание только тех источников, которые были использованы при написании реферата.

В библиографическом списке должны быть представлены монографические издания отечественных и зарубежных авторов, материалы профессиональной периодической печати (экономических журналов, газет и еженедельников), законодательные и др. нормативно-правовые акты. При составлении списка необходимо обратить внимание на достижение оптимального соотношения между монографическими изданиями, характеризующими глубину теоретической подготовки автора, и периодикой, демонстрирующей владение современными экономическими данными.

Наиболее распространенным способом расположения наименований литературных источников является алфавитный. Работы одного автора перечисляются в алфавитном порядке их названий. Исследования на иностранных языках помещаются в порядке латинского алфавита после исследований на русском языке.

Ниже приводятся примеры библиографических описаний использованных источников.

Статья одного, двух или трех авторов из журнала

Зотова Л. А., Еременко О. В. Инновации как объект государственного регулирования // Экономист. 2010. № 7. С. 17–19.

Статья из журнала, написанная более чем тремя авторами

Валютный курс и экономический рост / С. Ф. Алексашенко, А. А. Клепач, О. Ю. Осипова [и др.] // Вопросы экономики. 2010. № 8. С. 18–22.

Книга, написанная одним, двумя или тремя авторами

Иохин В. Я. Экономическая теория: учебник. М.: Юристъ, 2009. 178 с.

Книга, написанная более чем тремя авторами

Экономическая теория: учебник / В. Д. Камаев [и др.]. М.: ВЛАДОС, 2011. 143 с.

Сборники

Актуальные проблемы экономики и управления: сборник научных статей. Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. 146 с.

Статья из сборника

Данилов А. Г. Система ценообразования промышленного предприятия // Актуальные проблемы экономики и управления: сб. научных статей. Екатеринбург: УГГУ, 2010. Вып. 9. С. 107–113.

Статья из газеты

Крашаков А. С. Будет ли обвал рубля // Аргументы и факты. 2011. № 9. С. 3.

Библиографические ссылки

Библиографические ссылки требуется приводить при цитировании, заимствовании материалов из других источников, упоминании или анализе работ того или иного автора, а также при необходимости адресовать читателя к трудам, в которых рассматривался данный вопрос.

Ссылки должны быть затекстовыми, с указанием номера соответствующего источника (на который автор ссылается в работе) в соответствии с библиографическим списком и соответствующей страницы.

Пример оформления затекстовой ссылки

Ссылка в тексте: «При оценке стоимости земли необходимо учесть все возможности ее производственного использования» [17, С. 191].

В списке использованных источников:

17. *Борисов Е. Ф.* Основы экономики. М.: Юристъ, 2008. 308 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ РЕФЕРАТА

Необходимо заранее подготовить тезисы выступления (план-конспект).

Порядок защиты реферата.

1. Краткое сообщение, характеризующее цель и задачи работы, ее актуальность, полученные результаты, вывод и предложения.
2. Ответы магистранта на вопросы преподавателя.
3. Отзыв руководителя-консультанта о ходе выполнения работы.

Советы магистранту:

- Готовясь к защите реферата, вы должны вспомнить материал максимально подробно, и это должно найти отражение в схеме вашего ответа. Но тут же необходимо выделить главное, что наиболее важно для понимания материала в целом, иначе вы сможете проговорить все 15-20 минут и не раскрыть существа вопроса. Особенно строго следует отбирать примеры и иллюстрации.
- Вступление должно быть очень 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. Если вас прервали, а при оценке ставят в вину пропуск важной части материала, не возмущайтесь, а покажите план своего ответа, где эта часть стоит несколько позже того, на чем вы были прерваны.
- 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).

ТЕМЫ РЕФЕРАТА

1. Общение как социально-психологическая категория.
2. Коммуникативная культура в деловом общении.
3. Условия общения и причины коммуникативных неудач.
4. Роль невербальных компонентов в речевом общении.
5. Речевой этикет, его основные функции и правила.
6. Причины отступлений от норм в речи, типы речевых ошибок, пути их устранения и предупреждения.
7. Деловая беседа (цели, задачи, виды, структура).
8. Особенности телефонного разговора.
9. Новые тенденции в практике русского делового письма.
10. Культура дискутивно-полемической речи. Виды споров, приемы и уловки в споре
11. Основные правила эффективного общения.
12. Личность как субъект общения. Коммуникативная компетентность личности.
13. Конфликтное поведение и причины его возникновения в деструктивном взаимодействии.
14. Деловое общение и управление им.
15. Отношения сотрудничества и конфликта в представлениях российских работников.
16. Реформы в России и проблемы общения молодого поколения и работодателей.
17. Культура речи в деловом общении.
18. Содержание закона конгруэнтности и его роль в деловом общении.
19. Этика использования средств выразительности деловой речи.
20. Особенности речевого поведения.
21. Культура устной и письменной речи делового человека в современной России.
22. Вербальные конфликтогены в практике современного российского общества.
23. Этические нормы телефонного разговора.
24. Основные тенденции развития Российской деловой культуры.
25. Характеристика манипуляций в общении.
26. Приемы, стимулирующие общение и создание доверительных отношений.
27. Правила подготовки публичного выступления.
28. Правила подготовки и проведения деловой беседы.
29. Типология конфликтных личностей и способы общения с ними.
30. Этикет и имидж делового человека.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*» 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 «*Средства коммуникации в учебной и профессиональной деятельности*».

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ФТД.03 ОСНОВЫ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ И ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические указания по подготовке к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	14
	Заключение	17
	Список использованных источников	18

ВВЕДЕНИЕ

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;
- развитияисследовательских умений;
- получения 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.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, 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 студентовonline 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 творческих работ и электронных презентаций и др.

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

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации [1] . Формально можновыделить следующиеэтапы:

- ознакомление студентовс текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания.

Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю; групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

2. Методические указанияпо 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

В соответствии с технологической картой 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. 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 дляосвещения 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[2].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубинаответа.
3. Сознательность ответа(учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложенияматериала (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. Своевременностьи эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использованиедополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

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. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

3.Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;

- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.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 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 (от доски смелом до самых современных технических средств), 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. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.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.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильнаяорганизация 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) систематическаясамостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестноевыполнение заданий;

3) выяснениеи 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf