

# МАТЕРИАЛЫ УРАЛЬСКОЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕКАДЫ

9-18 апреля 2007 г.

ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

## ОБЗОР КОНДЕНСАТОРНОГО И МАХОВИЧНОГО НАКОПИТЕЛЕЙ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

*ИСАКОВ М. В., ЖУРАВЛЕВ А. Г.*  
Институт горного дела УрО РАН

Принцип работы комбинированной энергосиловой установки (КЭУ) карьерного автосамосвала заключается в запасании энергии на спуске и использовании ее, когда энергопотребление самосвала минимально [1]. Двигатель внутреннего сгорания – машина необратимая, следовательно, необходимо использовать аккумулятор энергии, роль которого может выполнять маховик или конденсаторная батарея. Накопитель необходимо смонтировать на самосвале и согласовать его с электрической схемой таким образом, чтобы значительно не ухудшить разгонных и тормозных характеристик.

На сегодняшний день в эксплуатации находятся карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 70-180 т со следующими видами схем электромеханической трансмиссии:

1. Схема постоянного тока.
2. Схема переменного-постоянного тока.
3. Схема переменного тока.

При создании КЭУ необходимо учитывать то, что новая схема, созданная на основе одной из существующих схем, с минимальными изменениями будет наиболее приемлемой из-за сравнительно низкой стоимости её создания по сравнению с другими кардинально новыми разработками. Но при этом необходимо учитывать и то, что схема должна быть наиболее экономична в процессе эксплуатации.

При использовании маховика в качестве накопителя можно отметить следующие его особенности:

1. КПД цикла 0,64-0,9 % [2]. Негативное влияние на КПД оказывает резкое возрастание потока энергии заряда.
2. Большая скорость вращения [2].
3. Быстрый износ подшипников маховика [2].
4. Негативное воздействие гироскопического момента на раму [2].
5. Удельная масса, 32,5 МДж/т, удельный объем маховичного накопителя 37,82 МДж/м<sup>3</sup> [2].
6. Увеличение энергоёмкости накопителя, необходимое при увеличении глубины карьера, возможно только при полной замене маховика.
7. Маховичный накопитель требует технического обслуживания (замена подшипников, поддержание давления 13.3 Па около ротора маховика [2]).

Рассмотрим возможные схемы подключения суперконденсаторов:

1. В схему переменного тока;
2. В схему переменного-постоянного тока.

При использовании конденсаторной установки в качестве накопителя энергии можно отметить следующие особенности:

1. КПД цикла – 0,8-0,96, величина которого зависит от качества элементов преобразования и от числа стадий преобразований.
2. Высокая долговечность, надежность, отсутствие необходимости в техническом обслуживании (число циклов “заряд – разряд” превышает 1000000 циклов) [3].

3. Удельная масса – 26 МДж/т, удельный объем – 27,38 МДж/м<sup>3</sup> конденсаторной установки [3].

4. Увеличение энергоемкости осуществляется за счет добавления конденсаторных модулей.

Таким образом, маховичный накопитель компактнее, чем конденсаторный (при одинаковой энергоемкости 62,5 МДж конденсаторная установка будет занимать объем 2,6 м<sup>3</sup>, а маховичный накопитель – 1,78 м<sup>3</sup> [2]). Его рациональнее использовать в условиях минимального количества пиковых значений зарядных мощностей. Этим требованиям в большей мере отвечает спиральная схема движения транспорта со значительными расстояниями движения по горизонтали на погрузку и разгрузку (на отвал, фабрику). Конденсаторный накопитель допускает наличие резких всплесков при зарядке. Его рационально использовать при петлевой схеме движения транспорта.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасов П. И. О создании комбинированных энергосиловых установок для карьерных автосамосвалов / П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев // Проблемы карьерного транспорта. Материалы VIII Международной научно-практической конференции, 20-23 сентября 2005 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – С. 183-186.

2. Тверитин А. В. Перспективы применения аккумуляторов кинетической энергии на карьерном автомобильном транспорте // Энергосбережение на карьерном автомобильном транспорте. Материалы международного научно-технического семинара, 24-26 июля 2003 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – С. 39-43.

3. Варакин И. Н. Электробус и грузовик с электрическими конденсаторами в качестве единственного источника энергии / И. Н. Варакин, А. Д. Клементов, А. В. Дзенкевич, Н. Ф. Стародубцев // ЗАО “ЭСМА”, с/о ОКБ ФИАН, г. Троицк.

### ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТРОЛЛЕЙВОЗНОГО ТРАНСПОРТА

*ТАРАСОВ А. П., ЧЕРЕПАНОВ В. А.*

Институт горного дела УрО РАН

Троллейвоз – это карьерный автосамосвал, получающий электрическую энергию от внешней контактной сети. По результатам анализа современных разрабатываемых месторождений, проведенных в ИГД УрО РАН [1] можно предположить, что троллейвозный транспорт станет вполне естественным самостоятельным транспортом в горной промышленности наряду с автомобильным.

Основное направление совершенствования современных тяговых электроприводов – создание электропривода переменного тока по схеме: “питающая сеть или синхронный генератор (для автосамосвалов) – преобразователь частоты – бесконтактный электродвигатель переменного тока (асинхронный или вентильный)”. Питание тяговых электродвигателей вместо питания от дизель-генераторной установки повлечет за собой определенные изменения в существующей конструкции автосамосвала и автомобильной схеме электропривода (см. табл.). При этом необходимо рассмотреть вопросы выбора:

- 1) величины напряжения и рода тока питающей сети;
- 2) управляемого преобразователя;
- 3) тягового электродвигателя и др.

Таблица

**Возможные варианты систем электроприводов**

Контактная сеть и уровень питающего напряжения	Преобразователь	Закон управления	Тяговый двигатель
Постоянный ток (550-3000 В)	Фильтр + 1. АИТ 2. АИН	1. Скалярное управление 2. Векторное управление	1. Асинхронный 2. Вентильный
	1. НПЧ 2. ПЧ со звеном постоянного тока	3. Прямое управление моментом	3. Вентильно-индукторный

При создании электропривода троллейвоза необходимо учитывать:

1. Возможное изменение некоторых узлов базовой конструкции автомобиля (троллейвозы планируется создавать на основе базовых карьерных автосамосвалов).

На карьерных автосамосвалах большой и особо большой грузоподъемности применяется электромеханическая трансмиссия. Поскольку троллейвоз питается от контактной сети, появляется необходимость в дополнительной аппаратуре, обеспечивающей непрерывную работу электрооборудования (в том числе токосъемное устройство, приводной преобразователь, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к электроприводу, и др.) и безопасность работающего персонала. С другой стороны, отпадает необходимость в дизельных двигателях, топливных и масляных баках, масляных и водяных радиаторах, отводе отработавших газов и ряда других систем.

Может понадобиться замена базового тягового электродвигателя автосамосвала на более рациональный (другой тип двигателя или подобный, но более мощный). Дизельный двигатель – источник питания с ограниченной мощностью, а при создании троллейвоза такой же грузоподъемности как автосамосвал возможности использования мощности электропривода возрастают.

## 2. Тенденции развития современных технологий.

В последние годы выполнен большой объем исследований по разработке тяговых электродвигателей в применении к автосамосвалам: асинхронный двигатель, вентильный двигатель с возбуждением от высококоэрцитивных магнитов, вентильно-индукторный двигатель (ВИД) [2].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасов П. И. Предложение по применению троллейвозного транспорта на примере карьера “Зарница” / П. И. Тарасов, А. П. Тарасов, А. Г. Ворошилов // Проблемы карьерного транспорта: материалы Международной научно-практической конференции, 20-23 сентября 2005 г., VIII. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – С. 187-190.

2. Мариев П. Л. Карьерный автотранспорт. Состояние и перспективы / П. Л. Мариев и др. – СПб: Наука, 2004. – 429 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ СХЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ОЧИСТНЫХ БЛОКОВ ШАХТ ОАО “СЕВУРАЛБОКСИТРУДА”

*МОХИРЕВ Н. Н.*

ГОУ ВПО “Пермский государственный технический университет”

*РАДЬКО В. В.*

ОАО “СЕВУРАЛБОКСИТРУДА”

Горные выработки многих рудников и шахт России имеют вентиляционные связи с поверхностью через выработанные пространства, по которым воздух проникает в шахты или, наоборот, выдвигается на поверхность. Согласно [1], средняя величина прососов воздуха с поверхности для большинства подобных шахт составляет 30-40 % дебита главных вентиляторных установок (ГВУ). Движущиеся по выработанным пространствам потоки воздуха неуправляемы, что, согласно [2], не должно иметь места, т. к. эти потоки делают вентиляционные сети рудников трудно управляемыми, а для регулирования воздушных струй в эксплуатируемых выработках вынуждены применять дополнительные энергоемкие регуляторы воздухораспределения, т. к. обычные, общедоступные и дешевые средства регулирования с помощью перемычек становятся неэффективными.

К подобным предприятиям относятся шахты ОАО “Севуралбокситруда”. Как показали исследования, на двух, к примеру, крупнейших шахтах этого акционерного общества притечки воздуха с поверхности составляют: на шахте “Красная Шапочка” 32 %, на шахте “Кальнинская” 34,5 % суммарной производительности ГВУ, расположенных на флангах шахтных полей. Естественно, что с целью улучшения общего состояния вентиляции шахт постоянно ведется поиск путей уменьшения прососов воздуха не только с поверхности, но и в пределах горных выработок под землей.

Для того, чтобы движение всех масс воздуха в шахтах было контролируемым, в особенности в очистных блоках, были предложены схемы вентиляции для систем слоевого обрушения, в которых предусматривались вентиляционные выработки, поддерживаемые в выработанном пространстве. До использования новой схемы вентиляции все очистные и подготовительные забои в течение всего срока отработки блоков проветривались как подготовительные выработки вентиляторами с трубами. При внедрении новых схем проветривания забои могли проветриваться сквозной струей, т. е. после подготовки блоков подготовительные и очистные забои стали проветриваться сквозной струей за счет общешахтной депрессии. Некоторые результаты испытания приведены ниже на рис.

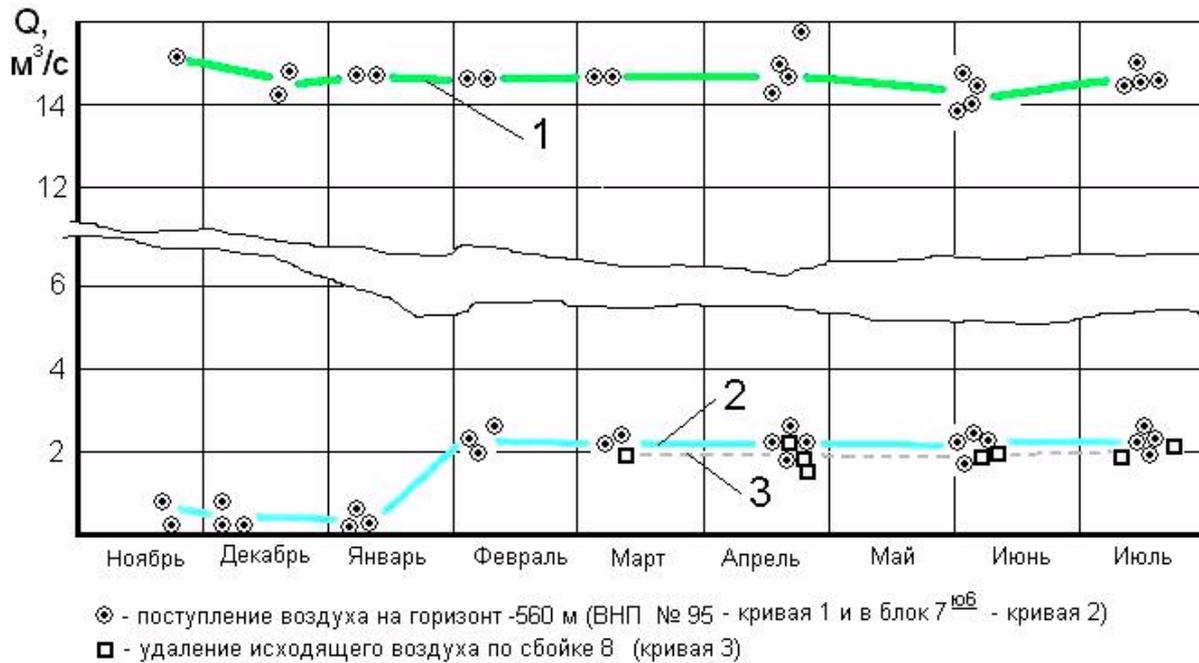


Рис. Динамика изменения поступления воздуха в выработки горизонта -560 м (блок 7<sup>юб</sup>, шахта 16-16<sup>бис</sup>)

Они показали следующее:

1. При почти неизменном поступлении воздуха на горизонт (добычной участок) – кривая 1 на рис., подача воздуха в испытуемый блок за счет общешахтной депрессии увеличивается более чем в 2 раза – кривая 2 на рис.;
2. Неуправляемое движение воздуха по выработанному пространству снижается с 85-90 до 3,5 %. На это указывает разница в данных между кривыми 2 и 3 на рис. При новой схеме вентиляции стало возможным вести контроль за удаляемым из блока исходящим воздухом (объем, содержание газов и пыли и т. д.);
3. В новой схеме вентиляции отпала необходимость в использовании ВМП, в связи с чем кроме затрат на его эксплуатацию уменьшилась загроможденность ходового отделения рудного восстающего, который проходится небольшим сечением (от 6,0 до 8,0 м<sup>2</sup>), вентиляционными трубами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алборов И. Д., Худиев Ч. М. Аэродинамическое сопротивление зон обрушения // Безопасность труда в промышленности. – 1995. – № 3. – С. 23-27.
2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03). Серия 03. Выпуск 33 / Колл. авторов. – М.: Государственное унитарное предприятие “НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России”, 2003. – 200 с.

### РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И АВТОМАТИКИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ШАХТ И РУДНИКОВ

*АХИЯРОВ Р. Р., САДОВНИКОВ М. Е.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Актуальность решаемой задачи заключается в следующем:

- эксплуатируемые в настоящее время в рудниках и шахтах системы управления и контроля не всегда обладают возможностью диагностики всех возможных состояний цепей дискретных датчиков и органов управления;
- при создании распределенных автоматизированных систем возникает необходимость не только контролировать состояние цепей управления, но и передавать собранную информацию на значительные расстояния;
- неверная информация, полученная от датчика, может привести к принятию системой управления неверного решения с возможными тяжелыми для людей и производства последствиями;

– на рынке нет устройств контроля цепей, пригодных к массовому применению в рудниках и шахтах (и более широко – в горной промышленности), к интеграции в существующие и вновь создаваемые системы.

Цель проводимой работы – изучить условия эксплуатации устройств контроля цепей управления, сформулировать требования к этим устройствам, выделить возможные области их применения, проработать основные схемотехнические решения для каждой области, проверить работоспособность созданных конструкций.

Основные требования, предъявляемые к устройствам контроля цепей управления:

– однозначная идентификация состояния контролируемой цепи (цепь замкнута, цепь разомкнута, КЗ цепи, обрыв цепи, увеличение сопротивления цепи);

– надежность;

– многоканальность;

– возможность помехоустойчивой передачи данных на большие расстояния;

– возможность сопряжения с логическими контроллерами;

– возможность интеграции в существующие и вновь разрабатываемые системы;

– необходимое исполнение по степени защиты от внешних воздействий (*IP*);

– при необходимости искробезопасное исполнение;

– низкая себестоимость.

Все выпускаемые устройства подобного рода (информация о которых имеется в наличии) носят специализированный характер, и выпускаются отдельными производителями “под себя”.

В настоящее время проводится работа по анализу условий применения и идет проработка возможных конструкций устройств контроля цепей управления в горной промышленности.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД РЕГУЛИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА НАСОСНЫХ УСТАНОВОК**

*КАМЕЛЬСКИХ К. С., САДОВНИКОВ М. Е.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Как быстро все меняет в жизни ход:  
Вчера был новый, а сегодня – старый.  
И верим в безнадежности исход,  
А жизнь заставит все переиначить.

М. Нестеренко

Действительно, читая строки из стиха, еще раз убеждаешься в том, что жизнь, наука, технологии не стоят на месте. И то, что было когда-то совершенным, со временем теряет свое преимущество.

Так и учебный стенд по изучению способов регулирования производительности насосных агрегатов кафедры горной механики УГГУ, созданный 30 лет назад, морально устарел и не удовлетворяет современным требованиям. Методы регулирования производительности, изучаемые на нем, являются энергозатратными, средства измерения технологических параметров не дают необходимой точности измерений, что непосредственно сказывается на результатах проводимых студентами лабораторных работ. А использование ртутных дифференциальных манометров является слабым местом в безопасности данного лабораторного стенда.

Данная работа проводится с целью технического перевооружения учебного стенда.

На стенде будут проводиться лабораторные работы по курсу “Стационарные машины”, по темам “Изучение технологии работы насосных станций и водоотливного комплекса шахт” и “Испытание агрегатов, изучение и анализ режимов работы”:

– при параллельной работе нескольких насосных агрегатов на один став;

– при параллельной работе нескольких насосных агрегатов на два става;

– последовательная работа агрегатов;

– работа агрегатов при различных гидравлических сопротивлениях сети;

– сравнительный анализ регулирования напора и производительности изменением числа оборотов двигателя на одном или на двух агрегатах в зависимости от режима регулирования задвижками.

Также лабораторные работы будут проводиться для студентов электрических специальностей по темам “Практическое применение и изучение работы преобразователей частоты”, “Изучение приборов учета параметров насосных станций, передачи данных, автоматизированных систем измерения и управления”, “Освоение методов построения современного автоматизированного комплекса управления”.

Создаваемый стенд будет иметь три вида управления:

1. Автоматическое управление насосными агрегатами с поддержанием заданного давления;
2. Автоматизированное управление механизмами, насосными агрегатами с диспетчерского пункта с соблюдением всех защит и блокировок, предусмотренных ПБ;
3. Ручное управление механизмами из электрощитовой, с сохранением всех защит и блокировок, предусмотренных ПБ.

Информационные функции стенда:

- сбор, первичная обработка данных о ходе технологического процесса и состоянии технологического оборудования;
  - сбор информации о состоянии и работе исполнительных механизмов;
  - хранение информации и отображение ее на экране монитора ПК в виде мнемосхем с индикацией на них значений технологических параметров и их отклонений от нормы, видеодиаграмм, трендов, таблиц и текстовых сообщений.
  - передача текущей и архивной информации в локальную сеть первого учебного здания УГГУ.
- Тем самым удобство проведения лабораторных работ выйдет на новый уровень, что вызовет немалый интерес у студентов.

Все это стало возможно с применением промышленных контроллеров и современных приборов учета и контроля, а также с использованием необходимого программного обеспечения.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ АЛТАЙСКОГО РДУ, Г. БАРНАУЛ**

*КАРМАНОВ А. В., КАРЯКИН А. Л.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Общие сведения о системах бесперебойного гарантированного электроснабжения (СБГЭ). Описание действия СБГЭ. Задачи, решаемые с помощью резервной дизель-генераторной установки (ДГУ). Подсистема контроля ДГУ. Описание принципов построения ДГУ. Режимы работы ДГУ. Роль ДГУ в СБГЭ. Обзор систем управления ДГУ. Проблемы современных ДГУ (завышенная мощность, нестабильность характеристик ДГУ при больших изменениях нагрузки).

Описание существующей методики выбора дизель-генераторной установки. Расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса. Обоснование принятого коэффициента спроса. Выбор мощности ДГУ в соответствии с имеющейся методикой. Кратко о возможностях пакета *Matlab*. Построение модели дизель-генераторной установки в пакете *Matlab 6.5*. Исследование переходных процессов модели при малых и значительных изменениях нагрузки. Требования к ДГУ. Поиск методик получения желаемых выходных характеристик ДГУ, стабилизации параметров, оптимизации работы в целях снижения требуемой мощности ДГУ. Корректировка существующей методики выбора ДГУ. Автоматизация процесса кондиционирования контейнера дизель-генераторной установки с применением интеллектуального реле *Zelio-Logic*. Программирование интеллектуального реле. Рассмотрение вопросов внутреннего электроснабжения. Охрана окружающей природной среды.

Рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности при эксплуатации электромеханического оборудования, технико-экономические показатели решений проекта.

## **СТРУКТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРОВ**

*КУЛТЫШЕВА Е. Н., КАРЯКИН А. Л.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Рассмотрены структуры систем управления многодвигательным конвейером.

К электроприводам конвейеров предъявляется требование по обеспечению плавности пуска и торможения с надежным ограничением ускорения и рывка, а также максимального момента двигателя и его производной.

Эти требования являются определяющими при выборе системы электропривода для конвейеров. Наиболее распространенным типом электропривода механизмом непрерывной транспортировки является нерегулируемый привод переменного тока на основе асинхронных или синхронных двигателей. Для установок, где не возникает

необходимость регулирования скорости движения и момента при пуске, применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Проблема пуска мощных конвейеров ранее решалась применением асинхронных двигателей с фазным ротором, обеспечивающих ограничение пусковых токов и формирование требуемой пусковой характеристики привода. В установках мощностью 1000 кВт и более предпочтителен двух- и трехдвигательный привод.

На конвейерах с многодвигательным электроприводом ставится задача автоматического регулирования отдельных двигателей с целью перераспределения нагрузки между ними и обеспечения равномерности натяжения ленты по ее длине. Это относится как к работе с установившейся скоростью движения ленты, так и к процессу пуска конвейера.

Установка нескольких приводных станций на ленточном конвейере приводит к повышению эксплуатационных показателей многодвигательного электропривода по сравнению с одиночным. Определяется это тем, что, например, при пуске конвейера вхолостую может работать один двигатель. С увеличением нагрузки включается второй двигатель, а затем и третий. При снижении нагрузки возможно частичное отключение двигателей. Указанные отключения приводят к снижению времени работы двигателей с малой загрузкой и повышению их эксплуатационных показателей. В случае перегрузки конвейеров транспортируемыми материалами, увеличение статического момента за счет застывания смазки и других факторов возможен совместный пуск всех двигателей для создания повышенного пускового момента.

Для выравнивания нагрузки приводов конвейеров переменного тока с преобразователями частоты используют схему управления моментами. В этом случае для каждого двигателя необходимо применять управляемый преобразователь.

Другим способом является применение систем высокоточного регулирования угловой скорости двигателей.

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ ЛИНИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ**

*СЫСОЛЯТИН С. В., МАРУГИН А. П.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Основными качественными показателями технологической линии сборки и контроля ТВС (тепловыделяющей сборки) пристанционного ядерного топливного цикла являются высокая надежность технологического оборудования и исполнительных механизмов в целом, высокая точность отработки задания электроприводами механизмов, полная автоматизация и визуализация процесса.

При разработке электропривода транспортной машины достижение высокой надежности осуществлено путем применения дублирующих двигателей основных механизмов.

Достижение высокой точности позиционирования ( $\pm 0,003-0,005$  м) осуществляется путем перевода механизма с маршевой скорости на доводочную. Доводочная скорость определяется расчетным путем. Применение регулируемого электропривода по системе ПЧ-АД (преобразователь частоты – асинхронный двигатель) позволило достичь требуемую точность отработки задания и осуществить автоматизацию транспортной машины.

Автоматизация транспортной машины осуществлена при помощи *SCADA* системы (системы диспетчерского контроля и сбора данных) *Trace Mode*, которая позволяет вести управление в ручном и автоматическом режимах, а также обеспечивает визуализацию процесса.

## **МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ**

*ХАСАНОВ Д. Р., КАРЯКИН А. Л.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Изложены основные концепции теории конечных автоматов и их реализация программируемыми логическими контроллерами (ПЛК).

Предлагаются методы, позволяющие формализовать процесс эффективного написания программ на ПЛК. Проблема рассматривается как на уровне моделирования объекта, так и на уровне написания алгоритма для сложных в функциональном отношении узлов.

Рассмотрен синтез программ для ПЛК методом типовых узлов. Идея данного синтеза заключена в выполнении двух процедур: декомпозиции – выделения в составе создаваемой дискретной логической системы управления (ДЛСУ) функциональных узлов, соответствующих необходимым технологическим операциям; и композиции –

воссоединения узлов в единую систему управления. Метод циклограмм представляет собой определенную формализацию процедуры синтеза типовых узлов. Предпочтение использовать в рассматриваемом методе синтеза циклограмму в качестве инструмента формирования алгоритма ДПСУ объясняется тем, что решается задача автоматизации движения рабочих органов электроприводов в технологическом цикле их работы, наиболее просто и наглядно данный процесс описывается циклограммой.

На основе автоматного подхода предложена технология создания программного обеспечения “реактивных” систем – *SWITCH*-технология, поддерживающая этапы изучения предметной области, анализа, проектирования, реализации, отладки, сертификации и документирования. Рассмотрены достоинства и недостатки этого метода.

Представлены примеры с использованием изложенных методов.

## УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОТДАЧИ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВА ЯКОРЯ ДПТ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

САГДЕЕВ Г. М.

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Доказано, что превышение температуры изоляции выше допустимой на 8 °С влечет сокращение срока службы последней в 2 раза, а также, что якорь ДПТ в тепловом отношении можно рассматривать изолированно [1]. Большинство устройств защиты не позволяют произвести настройку параметров, соответствующую реальным физическим характеристикам нагрева и охлаждения машины при различных режимах работы привода, а эффективность работы защиты от перегрева определяется реализованным алгоритмом, который должен позволять настраивать параметры для работы конкретной машины.

В связи с этим рассмотрена задача моделирования якоря машины МПЭ-1000-630. Тепловую схему якоря представим в следующем виде: первый тепловой поток – “лобовые части обмотки якоря – охлаждающий воздух”; второй тепловой поток – “обмотка якоря – сталь якоря – охлаждающий воздух” [2]. На основании данной схемы тепловых потоков составим систему дифференциальных уравнений, описывающих нагрев якоря:

$$\begin{cases} \frac{dT_1}{dt} = \frac{1}{C_1} [\Delta P_M - A_1 T_2 - A_{12} (T_1 - T_2)] \\ \frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{C_2} [\Delta P_C - A_2 T_2 + A_{12} (T_1 - T_2)] \end{cases}, \quad (1)$$

где  $T_1, T_2$  – перегрев соответственно меди и стали относительно окружающего воздуха, °С;  $A_1, A_2$  – коэффициент теплопередачи соответственно меди и стали в окружающий воздух, Вт/°С;  $A_{12}$  – коэффициент теплопередачи с меди в сталь якоря, Вт/°С;  $C_1, C_2$  – теплоемкость соответственно меди и стали, Дж/°С;  $\Delta P_M, \Delta P_C$  – потери соответственно в меди и стали якоря двигателя, Вт.

В отличие от известных, данная модель учитывает теплоотдачу потерь на нагрев якоря машины в охлаждающий воздух. Определим эти коэффициенты теплоотдачи.

$$A_1 = \frac{0,0299 \lambda_g \text{Re}^{0,735}}{L_{л.ч.}} S_{л.ч.}, \text{ Вт/°С}, \quad (2)$$

где  $\lambda_g$  – теплопроводность воздуха, Вт/мК;  $L_{л.ч.}, S_{л.ч.}$  – соответственно суммарный вылет и площадь поверхности лобовых частей обмотки якоря, м, м<sup>2</sup>;  $\text{Re}$  – число Рейнольдса в районе лобовых частей обмотки якоря

$$A_2 = \left[ \left( \frac{0,0318 \lambda_g \text{Re}_{\text{пов}}^{0,735}}{\frac{1}{2} D_{\text{я}}} \right) S_{\text{п.я.}} + \left( \frac{0,018 \lambda_g E_L E_{\omega} \text{Re}_{\text{кан}}^{0,8}}{L_{\text{я}}} \right) S_{\text{кан}} \right], \text{ Вт/°С}, \quad (3)$$

где  $D_{\text{я}}, L_{\text{я}}$  – соответственно диаметр и длина якоря, м;  $\text{Re}_{\text{пов}}, \text{Re}_{\text{кан}}$  – соответственно числа Рейнольдса в области наружной поверхности и каналов якоря;  $E_L E_{\omega}$  – коэффициенты вращения якоря [1];  $S_{\text{п.я.}}, S_{\text{кан}}$  – соответственно площадь поверхности якоря и каналов.

Коэффициент теплоотдачи с меди в сталь – это не что иное, как тепловое сопротивление пазовой изоляции, являющееся константой. Для данной машины он составляет около  $A_{12} = 268,75$  Вт/°С.

В ходе исследования установлено, что характер изменения температуры обмотки якоря не является аperiодическим. Имеет место превышение температуры на величину, равную 24 °С или 30 % от установившегося значения, и достигает для данной машины экстремума на 3-й минуте работы двигателя. Происходит это из-за того,

что процесс нагрева обмотки якоря, которая имеет, по сравнению со сталью, меньший объем и большие тепловыделения, в начальный момент времени (до 5-8 с) является, по сути, адиабатическим.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисенко А. И., Данько В. Г., Яковлев А. И. Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах. – М.: Энергия, 1974. – 559 с.

2. Динамическая модель нагрева якоря двигателя постоянного тока с принудительной вентиляцией / Г. М. Сагдеев, А. Л. Карякин // Ред. журн. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: 2006. – 3,5 с. – Деп. в ГИАБ №12. – 683.

### КРИТЕРИИ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФОРМОВАННОЙ ТОРФЯНОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ

*ЖУРАВЛЕВ А. В., ДЖАЛАЛОВ А. М.*

ГОУ ВПО “Уральский государственный горный университет”

Получение формованной торфяной продукции связано со значительными затратами энергии на переработку (измельчение, перемешивание) и формование торфа. Величины энергозатрат изменяются в широких пределах в зависимости от физико-механических свойств торфа и конструктивных особенностей механизмов. При этом непосредственно на переработку и формование расходуется лишь 1,5-2 % от всех энергозатрат [1]. Остальная наибольшая часть энергии тратится на объемное нагревание торфа, т. е. практически бесполезно.

С целью решения вопроса по созданию более рациональных способов и механизмов по переработке и формованию торфа предлагается ввести понятия критериев эффективности перерабатывающих и формирующих устройств в отношении потребления энергии: “коэффициент энергозатрат на переработку торфа” и “коэффициент энергозатрат на формование торфа”.

Для получения выражения коэффициента энергозатрат на переработку торфа существующее понятие степени его переработки предлагается определять, используя показатель удельной работы деформирования торфа  $A_{пр}$ , устанавливаемой по величине быстрой высокоэластической деформации на диаграмме “деформация – время” [2] при сжатии цилиндрических образцов торфа с известной нагрузкой.

В этом случае показатель степени переработки торфа:

$$a = (A_{пр1} - A_{пр2}) / A_{пр1}, \quad (1)$$

где  $A_{пр1}$ ,  $A_{пр2}$  – предельные работы деформирования торфа соответственно до и после переработки, кВт ч/м<sup>3</sup>.

Величины степени переработки, получаемые по формуле (1), хорошо соотносятся с величинами, характеризующими степень переработки через показатель охвата торфа переработкой, представляющей собой количество (%) массы, претерпевшей, в конечном счете, изменения в дисперсности при переработке [2]. Однако, этот метод гораздо более трудоемкий по сравнению с предложенным, т. к. требует проведения седиментометрического анализа торфа.

Используя предлагаемый показатель степени переработки торфа, можно получить выражение, характеризующее энергетическую эффективность перерабатывающего устройства – коэффициент энергозатрат на переработку торфа  $K$  как критерий  $A$  эффективности перерабатывающего устройства:

$$K_{п} = A / (A_{пр1} - A_{пр2}) = A / aA_{пр1},$$

где  $A$  – удельная энергия, потребляемая перерабатывающим устройством, кВт ч/м<sup>3</sup>.

При создании перерабатывающих торф механизмов следует стремиться к минимизации данного критерия.

Мощность, потребную на переработку торфа, можно вычислить при известных значениях  $a$  и  $K$  по формуле:

$$N = 3600 a K_{п} A_{пр1} \Pi, \text{ кВт},$$

где  $\Pi$  – производительность устройства, м<sup>3</sup>/с.

В существующих механизмах по переработке и формованию торфа расход энергии составляет от 1,25 до 5,41 кВтч/ м<sup>3</sup>, а предельная работа деформирования торфа изменяется в пределах (1,05 -6,43) 10<sup>-3</sup> кВтч/м<sup>3</sup>, т. е. на три порядка меньше.

Энергозатраты на формование в цилиндрических насадках изменяются в пределах (1,32-16,0)·10<sup>-2</sup> кВтч/м<sup>3</sup>, т. е. на 1-2 порядка больше, чем предельная работа деформирования торфа.

Приведенные данные свидетельствуют о потенциальных возможностях снижения энергозатрат как на операции переработки (измельчения) торфа, так и на операции формования.

Одним из путей снижения энергозатрат на формование торфа является применение нагреваемых формующих. Термическое воздействие на торф при формовании в нагреваемых насадках повышает качество формования (более гладкая поверхность сформованных кусков, снижение их водопоглотительной способности, увеличение в 1,5-1,8 раза производительности формующих устройств). Последнее объясняется снижением сопротивления перемещению формируемого куска по поверхности контакта с формующей насадкой вследствие снижения удельной работы деформирования торфа с повышением его температуры.

Величина коэффициента энергозатрат на формование торфа  $K_{\phi}$  может быть получено из выражения:

$$K_{\phi} = A_{\phi} / A_{\text{пр}},$$

где  $A_{\phi}$  – удельная энергия, затрачиваемая на формование торфа, кВтч/м<sup>3</sup>;  $A_{\text{пр}}$  – предельная работа деформирования торфа, кВтч/м<sup>3</sup>.

Полученные выражения критериев эффективности перерабатывающих и формующих торф устройств в отношении энергозатрат могут быть использованы при создании новых, более рациональных конструкций.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торфяные машины / Солопов С. Г., Мурашов М. В., Миркин М. А. и др. – Москва: Высшая школа, 1962. – 360 с.
2. Базин Е. Т., Копенкин В. Д., Косов В. И. и др. Технический анализ торфа. – М.: Недра, 1992. – 123-126 с.