

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Механико-технологический факультет
Кафедра машиностроения, автоматизации и электроэнергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М.Виноградов
_____ 2018_г.

Модернизация электропривода ленточного конвейера 2ЛТ-80

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2018.998.00.00ПЗ ВКР

Консультанты
Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 2018 г.

Руководитель работы,
доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 2018_г.

Автор работы
студент группыДО-508
_____ Д.Р. Шакиров
_____ 2018_г.

Нормоконтролер, доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 2018_г.

Челябинск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Машиностроение, автоматика и электроэнергетика»
Направление «13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ К.М.Виноградов
_____ 2018__ г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента
Шакирова Дениса Ринатовича

Группа ДО-508

1 Тема работы

Модернизация электропривода ленточного конвейера 2ЛТ-80

утверждена приказом по университету от 4 апреля 2018 г. №580

2Срок сдачи студентом законченной работы 10 июня 2018г.

3 Исходные данные к работе

3.1 Материалы производственной практики

3.2 Справочно-техническая литература

3.3 Инструкции к оборудованию

4Содержание расчетно-пояснительной записки(перечень подлежащих разработке вопросов)

Аннотация

Оглавление

Введение

1 Сравнение отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты. Выводы.

2 Климатические условия эксплуатации и выбор степени защиты электрооборудования. Расчет и выбор элементов кинематики механических передач. Расчет и выбор конвейерной ленты, диаметра роликов и расстояния междуроlikоопорами. Расчет сил сопротивления движению ленты о участкам конвейера.Выводы.

3. Расчет электропривода. Выбор электродвигателя по каталогу. Расчет требуемой жесткости механической характеристики второго двигателя. Расчет динамических нагрузок привода конвейера в режиме аварийного пуска полностью загруженным. Проверка выбранных двигателей по нагреву и перегрузочной способности. Выводы.

4 Структурная схема электропривода. Преобразователи частоты серии “УНИВЕРСАЛ”. Преимущества применения электроприводов на базе ПЧ “УНИВЕРСАЛ”. Моделирование переходных процессов. Выводы.

5 Расчет характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя. При управлении от преобразователя частоты с инвертором напряжения. При управлении от преобразователя частоты с инвертором тока. Выводы.

6Описание работы электрической схемы. Функции, выполняемые схемой.

7Электроснабжение. Выбор системы электроснабжения. Расчет электроснабжения **очистного участка шахты “Коркинская”**. Выбор силового трансформатора. Выбор сечений кабельной сети по нагреву. Расчет участков сети по потере напряжения при нормальном режиме работы. Проверка участков сети на колебания напряжения при пусковом режиме.Защита кабелей и электрооборудования устанавливаемого в подземных выработках.

8 Вспомогательное устройство автоматизированного конвейера. Контроль схода ленты. Контроль пробуксовки и обрыва ленты. Учет перемещаемых грузов

9 Техничко–экономические показатели. Определение капитальных затрат. Определение эксплуатационных расходов. Определение экономической эффективности использования выбранной системы электропривода.Выводы.

10 Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды. Анализ опасных и вредных факторов. Разработка устройств по очистке вентиляционных и промышленных выбросов от газов и пыли. Расчет и проектировка заземляющего устройства. Пожарная безопасность. Охрана окружающей среды. Выводы.

Заключение

Библиографический список

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

5.1 Конвейер ленточный телескопический 2ЛТ80. Чертеж. Общий вид	1,0л.
5.2 Управление электропривода. Схема электрическая функциональная	1,0л.
5.3 Преобразователь частоты «Универсал». Схема электрическая функциональная	1,0л.
5.4 Модель электропривода. Графики переходных процессов. Плакат	1,0л.
5.5 Автоматизация конвейера 2ЛТ80. Плакат	1,0л.
5.6. Электропривод конвейера. Расчетные схемы. Плакат	1,0 л.

Всего 6 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Безопасность жизнедеятельности	В.Г. Некрутов		

7 Дата выдачи задания 20 февраля 2018г.

Руководитель, доцент В. Д. Константинов

Задание принял к исполнению Д.Р.Шакиров

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Сравнение отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты	15.03.18-20.03.18	
Расчет и выбор элементов кинематики механических передач.		
Расчет и выбор электропривода.	21.03.18-31.03.18	
Структурная схема электропривода.	01.04.18-18.04.18	
Расчет характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя.		
Описание работы электрической схемы.	01.05.18-16.05.18	
Расчет и выбор системы электроснабжения.		
Экономическая часть	17.05.18-05.06.18	
Безопасность жизнедеятельности	06.06.18-16.06.18	
Выполнение графической части	15.03.18-16.06.18	

Заведующий кафедрой /К.М.Виноградов/

Руководитель работы /В.Д. Константинов/

Студент /Д.Р.Шакиров/

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

АННОТАЦИЯ

Д.Р.Шакиров Модернизация электропривода ленточного конвейера 2ЛТ-80. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 69 с., 15 ил., библиогр. список – 8 наим., 6 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) спроектирован автоматизированный электропривод ленточного конвейера 2ЛТ-80

В процессе работы над ВКР выполнен расчёт электропривода, выбран электродвигатель, произведён обзор и выбор электропривода. Выполнен статический и динамический расчёт электропривода.

Представлен расчет характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя при управлении от преобразователя частоты с инвертором напряжения и тока.

Приведена модернизация системы электроснабжения участка ленточного конвейера.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности. Произведена идентификация и анализ опасностей и вредностей при эксплуатации данного станка. Разработаны мероприятия по снижению опасностей и вредностей на организм человека, проведена оценка пожаробезопасности. Оценено воздействие процессов механической обработки металлов на окружающую среду и способы ее защиты.

Выполнено экономическое обоснование модернизации, в ходе которого была рассчитана экономия на годовых эксплуатационных издержках при внедрении модернизированного оборудования, срок окупаемости и рентабельность капитальных вложений.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ВВЕДЕНИЕ

Электрический привод - это управляемая электромеханическая система, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом.

Современный электропривод - это совокупность множества электромашин, аппаратов и систем управления ими. Он является основным потребителем электрической энергии (до 60 %) и главным источником механической энергии в промышленности.

В настоящее время основным средством приведения в движение рабочих машин пищевых производств является электрический двигатель и соответственно основным типом привода служит электрический привод.

В области промышленности электродвигатели приводят в движение станки, грузоподъемные механизмы, компрессоры, конвейеры, экскаваторы и т.д. С объектами, приводимыми в движение электрическими машинами, мы постоянно сталкиваемся не только в сфере промышленности, но и в бытовой сфере. В нашу жизнь прочно вошли такие устройства с электроприводом, как стиральная машина, вентилятор, лифт, кондиционер, кофемолка, пылесос и т.д.

Развитие техники электропривода характеризуется постепенным приближением места, где электрическая энергия преобразуется в механическую энергию к исполнительным органам машин.

В настоящее время, как правило, каждый исполнительный орган рабочей машины приводится в движение отдельным, индивидуальным приводом. Использование индивидуального привода создает условия для автоматизации, позволяет расширить технологические возможности установок, повысить их производительность и качество управления технологическими процессами.

Целью ВКР является расчет требуемой мощности приводного электродвигателя ленточного конвейера, выбор типа электродвигателя, проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и перегрузочной способности.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

В данной части выполнен анализ особенностей построения и реализации различных преобразователей частоты (ПЧ), российских производителей и зарубежных фирм.

Рассмотрим функциональные и технические возможности ПЧ фирм «SIEMENS, серии MICROMASTER 420», «YASKAWA, серии Sinamics G120D», «УНИВЕРСАЛ», при их использовании для модернизации привода подачи. Преобразователи целесообразно сравнить по следующим показателям:

- тип преобразователя;
- напряжение питания;
- диапазон изменения выходной частоты;
- количество аналоговых/дискретных входов;
- наличие дополнительных опций.

Предварительный анализ технических возможностей ПЧ различных фирм показал, что диапазон мощностей (кВт) характеризует мощность двигателей, подключаемых к данному преобразователю. В общем случае, достаточно широкий диапазон мощностей для ряда моделей одной фирмы свидетельствует о серьезных и прочных позициях производителя в производстве преобразователей для разных применений.

Количество параметров настройки характеризует возможность более гибко настроить преобразователь под свои задачи. Однако необходимо отметить, что качественный состав и продуманность параметров ни менее важны, чем их количество. Для упрощенных исполнений специализированных преобразователей достаточно малого количества необходимых для технологического процесса параметров. Для того чтобы правильно оценить качественный и количественный состав, его достаточность и необходимость для решения конкретных задач, необходимо изучить полное описание на данную модель преобразователя.

Наличие дополнительных опций характеризует приспособляемость ПЧ для гибкой настройки его под нужды производственного процесса, почти все солидные производители реализуют возможность установки в преобразователь частоты дополнительных модулей (опций), расширяющих его возможности. Безусловно, при выборе преобразователя следует учитывать, что у одного производителя введено в состав опции, у другого может входить в состав базового модуля.

Количество аналоговых/дискретных входов, характеризует сопряжения преобразователя частоты с системой локального управления технологическим процессом. Чем больше сигнальных входов, тем проще сопрягать преобразователь с внешней системой управления.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1.1 Особенности преобразователя частоты SIEMENS, серии MICROMASTER 420

1) Особенности Siemens Micromaster 420:

- Простой ввод в эксплуатацию
- Особо гибкая конфигурация благодаря модульной конструкции
- Три встроенных, свободно параметрируемых цифровых входа
- Один аналоговый вход (0...10 В), может по выбору быть использован в качестве 4-го цифрового входа
- Один аналоговый выход (0 мА ... 20 мА)
- Один параметрируемый релейный выход (30 V DC/5 А, активная нагрузка, 250 V AC/2 А, индуктивная нагрузка)
- Бесшумная работа двигателя благодаря высокой частоте ШИМ
- Полная защита двигателя и преобразователя

2) Защита:

- Перегрузочная способность 150 % от расчетного выходного тока в течении 60 сек, каждые 5 мин.
- Защита от перенапряжения и пониженного напряжения
- Защита от перегрева преобразователя
- Защита двигателя с помощью подключения РТС терморезистора
- Защитное заземление
- Защита от короткого замыкания
- Тепловая защита по I²t
- Защита от блокировки двигателя
- Защита от опрокидывания
- Защита от изменения параметров

3) Достоинства

- Новейшая технология IGBT
- Цифровое микропроцессорное управление
- Прямое управление потоком двигателя (FCC) для улучшения динамических характеристик и оптимального управления двигателем
- V/f управление, с параметрируемым начальным напряжением
- V/f управление квадратичное
- Параметрируемая кривая зависимости V/f
- «подхват на лету»
- Компенсация скольжения
- Автоматический повторный запуск при пропадании питания или нарушениях режима
- Встроенный PI регулятор
- Параметрируемое время разгона и торможения в пределах от 0 до 650 с

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

- Сглаживание кривой пуска
- Быстродействующее токоограничение (FCL) для безаварийной работы
- Быстродействующие цифровые входы
- Точный ввод заданного значения благодаря 10-битному аналоговому входу
- Комбинируемое торможение для контролируемого останова
- 4 частоты пропускания против резонанса
- Демонтируемый Y – конденсатор для использования в сети IT (с изолированной нейтралью)

Технические характеристики

Параметр	Технические характеристики
Диапазон мощностей	120 Вт -3 кВт 230 В 1 AC 120 Вт -5.5 кВт 230 В 3 AC 370 Вт -11 кВт 400 В 3 AC
Диапазон напряжений	208-240 В +/-10% 380-480 В +/-10%
Входная частота	47-63 Гц
Коэффициент мощности	COSφ>0.7
Пусковой ток	Не больше, чем номинальный
КПД	97%
Рабочая температура	- 10... + 50°C
Температура хранения	- 40... + 70°C
Допустимая относительная влажность воздуха	95% (без образования конденсата)
Степень защиты	IP20/NEMA 1
Выходная частота	0-650 Гц
Разрешение выходной частоты	0,01 Гц
Перегрузочная способность	150% от номинального тока в течение 60 с

Способ регулирования	Вольт-частотный Линейный (U/f) Квадратичный (U/f*f) Прямое управление потоком FCC Произвольная настройка
Цифровые входы	3 (18 функций)
Аналоговый вход	0-10 В/ПИ-регулятор, разрешение 10 БИТ, может использоваться как цифровой вход
Аналоговый выход	0,4 - 20 мА, 500 Ом макс нагрузка, разрешение 10 Бит
Релейный выход	30 В DC 5А, 250 В AC 2А, параметрируемый
Интерфейс	RS 485
Способ торможения	1. Генераторное 2. Динамическое 3. Комбинированное
Быстрое ограничение тока	Входит в набор параметров
Функции защиты по:	1. пониженному напряжению 2. перенапряжению 3. перегрузке 4. включению на землю 5. короткому замыканию 6. блокировке двигателя 7. перегреву двигателя 8. перегреву преобразователя
Регулятор	Встроенный ПИ-регулятор Встроенный источник питания для датчика ПИ-регулятора
Нормы	CE, c-tick, C-UL. Разрешение Ростехнадзора

1.2 Особенности преобразователя частоты YASKAWA, серии Sinamics G120D

Основные особенности и характеристики преобразователей частоты SINAMICS G120D:

- Базовая функциональность преобразователей частоты SINAMICS G110D
 - Назначение: плавное регулирование трехфазных асинхронных электродвигателей при соответствии требованиям транспортных приложений
- Область применения: задачи децентрализованного электропривода подъемно-транспортного оборудования в промышленном окружении с поддержкой коммуникаций, а также во множестве других приложений с базовыми техническими требованиями (аэропорты, пищевая промышленность, логистика сбыта, подвесные дороги)
- Исполнение, модульная конструкция: управляющий модуль CU240D и силовой модуль PM250D как функциональные блоки, образующие единое устройство
- Компактный и плоский корпус со степенью защиты IP65 и возможностью замены модулей под напряжением (Hot Swapping)
- Значительное упрощение конструирования, монтажа и реконструкции установки благодаря компактной конструкции и идентичным размерам отверстий для всех мощностей, кроме этого, размеры идентичны таковым преобразователя SINAMICS G110D
- Сокращение расходов при интеграции приводов в безопасно-ориентированные установки благодаря функциональности Safety Integrated
- Значительная экономия энергии, отсутствие необходимости установки тормозных резисторов и сетевых дросселей благодаря рекуперации (возврату) генераторной энергии обратно в сеть
- Встроенный фильтр ЭМС класса А
- Встроенная схема торможения напряжением 400VAC/180VDC, 230VAC/205VDC
- Встроенные AS-Interface, PROFIBUS, PROFINET для максимальной интеграции в комплексную систему автоматизации TIA
- Встроенный коммуникационный интерфейс USB для упрощения локального ввода в эксплуатацию и диагностики
- Встроенный RS232 интерфейс
- Повышенная надежность и срок службы благодаря инновационной концепции охлаждения и лакировке блоков электроники
- Простой ввод в эксплуатацию и ускоренное копирование параметров через опционную панель оператора IOP или через карту памяти MMC
- Низкий уровень шума двигателя благодаря высокой частоте импульсов ШИМ

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

1.3 Особенности преобразователя частоты Универсал

ПЧ “УНИВЕРСАЛ” предназначены для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов, компрессоров, буровых, судовых и других механизмов, использующих в качестве приводных асинхронные электродвигатели с коротко замкнутым ротором. Преобразователи выпускаются в диапазоне мощностей от 0.55 <<А>> (0.55;0.75;1.1;1.5;2.2;3.0кВт)-непрограммируемая, <<Б>>(1.5;2.2;3.7;5.5;7.5;11;15 кВт)-перепрограммируемая производителем, <<В>>(15;18.5;22;30;37;45;55;75;110;160;220;320кВт)-интеллектуальная, перепрограммируемая пользователем. Преобразователи этого поддиапазона мощностей, рассматриваемые в настоящем информационном материале имеют единые принципы построения силовой и управляющей части.

Выводы по разделу один

В данном разделе ВКР были проанализированы возможности, технические характеристики и области применения преобразователей частоты для электроприводов отечественного и иностранного производства. Проведенный анализ вариантов поможет в дальнейшем выбрать подходящий преобразователь частоты для электропривода.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ КИНЕМАТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

2.1 Климатические условия эксплуатации и выбор степени защиты электрооборудования

Разрез «Коркинский» является одним из крупнейших разрезов Коркинского угольного месторождения. Входит в состав Челябинского бурогоугольного бассейна, расположенного в пределах Южного Урала. Разрез «Коркинский» принадлежит Челябинской угольной компании, добывающей в ней уголь открытым способом.

Находится в Челябинской области около города Коркино. Коркино находится в 35 км к югу от Челябинска, граничит с территорией Копейска, Еткульского и Сосновского районов. Расположен недалеко от автомагистрали «Челябинск — Магнитогорск», вблизи железной дороги «Челябинск — Троицк».

Пущена в эксплуатацию 30 декабря 1947 года как шахта № 29 Капитальная с проектной мощностью 600 тыс. т угля в год. Современное название получила в 1972 году после присоединения нескольких мелких шахт.

Угольный пласт имеет сложное строение, гипсометрия пласта слабоволнистая.

Зольность добываемой горной массы с учетом объемного веса угля и породных прослоек колеблется в пределах 37-44%.

Поле шахты обводнено, коэффициент водообильности составляет $10\text{ м}^3/\text{т}$.

Шахта не опасна по газу и пыли, относительная газообильность составляет $1,72\text{ м}^3/\text{т}$.

Доставка угля по выемочным штрекам осуществляется ленточными конвейерами 1Л100К и 2ЛТ80.

Условное обозначение конвейера следующее:

2 – типоразмер конвейера;

Л – ленточный;

Т – телескопический;

80 – ширина ленты в см.

Конвейер предназначен для транспортирования угля (горной массы) в выработках угольных и сланцевых шахт.

Конвейер 2ЛТ80, 2ЛТ80У устанавливается в выработках с углами наклона от минус 10 до плюс 10 градусов.

Длина поставки конвейера – 100м.

Атмосфера типа 1 по ГОСТ 15150 при запыленности воздуха не более $200\text{ мг}/\text{м}^3$.

Относительная влажность при температуре 25°C , не более 98%.

Макроклиматический район с умеренным климатом (исполнение Y)

Категория размещения 5 по ГОСТ 15150-69 высота над уровнем моря не более – 1000м.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Колебание напряжения питающей сети от –15 до +10%.
 Номинальное напряжение питающей сети 380 или 660В.
 Выбираем электрооборудование по климатическим условиям УХЛ.
 Электрооборудование может постоянно работать при температуре окружающей среды превышающей эффективную.
 Запыленность воздуха 10мг/м³ следовательно используем электрооборудование по степени защиты IP44.

2.2 Расчет и выбор элементов кинематики

В элементы кинематики механических передач конвейера входят: лента, барабан, ролики, редуктор.

Расчет и выбор конвейерной ленты

Лента является основным, наиболее дорогим и наименее долговечным элементом ленточного конвейера. Важнейшим расчетным параметрами ленты являются ширина, прочность при разрыве, относительное удлинение и толщина обкладок.

При заданной теоретической производительности конвейера необходимую ширину ленты определяют по площади поперечного сечения груза на ленте, скорости движения ленты, насыпной плотности.

Площадь поперечного сечения груза на ленте определяем из справочника:

$$F = v^2(0,081 + 0,22 \operatorname{tg} \varphi_p) = 0,2$$

$\varphi_p = 20^\circ$ – расчетный угол откос насыпного груза на ленте,

$v = 0,9 \text{ м}$ – ширина расположения груза на ленте

Средняя скорость движения груза на ленте задана $U = 1,6 \text{ м/с}$.

Насыпная плотность угля берется из справочника

$$\gamma = 0,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Необходимую ширину ленты определяем из выражения

$$B = 1,1 \sqrt{\frac{QK_\beta}{K_n \cdot U_n \gamma}} + 0,05,$$

где Q – производительность конвейера,

K_β, K_n – коэффициенты, $K_\beta = 0,05$; $K_n = 580$,

U_n – скорость движения ленты,

γ – насыпная плотность угля.

$$B = 1,1 \sqrt{\frac{330 \cdot 10^3 \cdot 0,05}{580 \cdot 1,6 \cdot 0,85 \cdot 10^3}} + 0,05 = 0,7 \text{ м}.$$

Берем ленту с двухсторонней обкладкой из негорючей резины и послойно нарезным каркасом, с резиновыми прослойками между прокладками, с температурой окружающего воздуха $\pm 60^\circ \text{C}$.

Тип ленты 2ШТК-100 предназначена для транспортирования средне и мелкокусковых материалов (уголь-порода) в подземных условиях угольных и сланцевых шахт ГОСТ 20-76.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Число прокладок при ширине ленты 700-800мм 3-8 до Н/см ширины прокладки.

Расчетный предел прочности прокладки не менее 100 кгс/см.

Прочность связи между прокладками не менее 4 кгс/см.

Прочность связи между обкладкой и прокладкой не менее 3,5 кгс/см.

Удлинение при нагрузке составляющей 10% от разрывной не более 3,5%.

Удельный показатель истирания обкладок не более 700см³/кВт·ч.

Толщина рабочих обкладок 4,5мм.

Толщина не рабочих обкладок 2мм.

Тип ткани – ТК100.

Срок службы при круглосуточной работе на шахте при транспортировке угля составляет в среднем 18 месяцев.

Расчет и выбор диаметра роликов и расстояния между роликоопорами

В настоящее время отечественной промышленностью изготавливаются ролики с большим диапазоном диаметров ГОСТ 10624-63 предусматривает выбор диаметра роликов для конвейеров общего назначения в зависимости от ширины ленты. При ширине ленты 800мм берем диаметр роликов 89.

Расстояние между роликоопорами ленточного конвейера выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить умеренное провисание грузовой ветви ленты в продольном и поперечном направлениях. Этот параметр определяется, в первую очередь, шириной ленты и характером транспортируемого груза.

При ширине ленты 800мм, объемном весе транспортируемого груза 1,6 т/м³, расстояние между роликоопорами 1,3м.

Расстояние между амортизирующими роликоопорами в зоне загрузки определяется по формуле:

$$l'_{pa} = D_{pa} + (100 \div 200) \text{мм},$$

где D_{pa} – диаметр ролика амортизирующей роликоопоры, мм.

$$l'_{pa} = 159 + 150 = 309 \text{мм}.$$

Расстояние между роликоопорами на пораженковой ветви конвейера определяется по формуле:

$$l''_p = 2l'_p \text{ мм},$$

где l'_p - расстояние между роликоопорами грузовой ветви

$$l''_p = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{мм},$$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Расчет и выбор диаметра барабанов

Выбираем диаметр барабанов по ГОСТу 10624-63 по ширине ленты 700-800мм, диаметр барабана 500мм.

Диаметры барабанов определяются, главным образом, назначением барабана (приводной, натяжной, отклоняющий, оборотный) и конвейера (подземный, наземный), типом ленты и количеством прокладок в ленте.

Расчет и выбор редуктора

Редуктор предназначен для уменьшения частоты вращения и увеличения крутящего момента.

Определим передаточное число редуктора

$$l_p = \frac{n_n}{n_б},$$

$$n_n = 1470 \text{ об/мин},$$

$$n_б = 60U/ПD,$$

$$n_б = \frac{60 \cdot 1,6}{\pi \cdot 0,5} = 61 \text{ об/мин},$$

где n_n – номинальная частота вращения двигателя;

$n_б$ – частота вращения приводного барабана;

U – средняя скорость движения ленты;

D – диаметр барабана;

$$l_p = \frac{1470}{61} = 24.1$$

Принимаем цилиндрический двухступенчатый горизонтальный редуктор типа 1Ц24.

Редуктор общемашиностроительного применения. Редуктор рассчитан для работы в следующих условиях:

- нагрузка постоянная и переменная одного направления и реверсивная;
- работа длительная или с периодическими остановками;
- вращение валов в любую сторону;
- частота вращения входного вала не должна превышать 1800 об/мин;
- атмосфера типов 1 и 2 при запыленности воздуха не более 10 мг/м³;
- климатическое исполнение УТ (для категорий размещения 1-3), УХЛиО (для категорий размещения 4).

В данном случае берем редуктор 1Ц2У-200-2D,

где 1Ц2У – тип редуктора;

200 – межосевое расстояние выходной ступени, мм;

2D – передаточное число;

УХЛ – климатическое исполнение;

4 – категория размещения

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Расчет сил сопротивления движению ленты по участкам конвейера

Определим массу груза на одном погонном метре ленты в соответствии с заданной производительностью

$$m_2 = \frac{П \cdot 10^3}{3600 U_n},$$
$$m_2 = \frac{330 \cdot 10^3}{3600 \cdot 1,6} = 0,3 \text{ кг/м.}$$

Найдем массы участков конвейера

$$m_{i-i+1} = m_0 \cdot l_{i+1-i},$$

где m_{i-i+1} – масса участка конвейера;

m_0 – масса одного погонного метра ленты;

l_{i-i+1} – длина участка конвейера;

$$m_{1-2} = m_0 \cdot l_{1-2} = 11,2 \cdot 0,25 = 2,8 \text{ кг,}$$

$$m_{2-3} = m_0 \cdot l_{2-3} = 11,2 \cdot 30 = 336 \text{ кг,}$$

$$m_{4-5} = m_0 \cdot l_{4-5} = 11,2 \cdot 730 = 8176 \text{ кг,}$$

$$m_{6-7} = m_0 \cdot l_{6-7} = 11,2 \cdot 1093 = 104200 \text{ кг,}$$

$$m_{8-9} = m_0 \cdot l_{8-9} = 11,2 \cdot 5 = 56 \text{ кг,}$$

$$m_{10-11} = m_0 \cdot l_{10-11} = 11,2 \cdot 0,25 = 2,8 \text{ кг,}$$

$$m_{12-0} = m_0 \cdot l_{12-0} = 11,2 \cdot 60 = 672 \text{ кг,}$$

Расчетная суммарная масса с учетом перегибов ленты

$$m'_{\Sigma} = m_{12-0} + m_{10-11} \cdot k_{u7} + m_{8-9} \cdot k_{u7} \cdot k_{u6} +$$
$$+ m_{6-7} \cdot k_{u7} \cdot k_{u6} \cdot k_{u5} + m_{4-5} \cdot k_{u7} \cdot k_{u6} \cdot k_{u5} \cdot k_{u4} \cdot k_{u3} \cdot k_{u2},$$

где K_{ui} – коэффициент увеличения натяжения ленты на данном участке.

Согласно справочным данным принимаем значение коэффициентов трения и сопротивлению движению.

$$\mu = 0,2, \quad C_{п} = 0,025,$$

$$K_{u1} = 1,06; \quad K_{u2} = 1,02; \quad K_{u3} = 1,05; \quad K_{u4} = 1,05; \quad K_{u5} = 1,05; \quad K_{u6} = 1,06; \quad K_{u7} = 1,07.$$

$$m'_{\Sigma} = 672 + 2,8 \cdot 1,06 + 56 \cdot 1,06 \cdot 1,06 + 104200 \cdot 1,06 \cdot 1,06 \cdot 1,05 +$$
$$+ 8176 \cdot 1,06 \cdot 1,06 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,02 = 133788,04.$$

Найдем силы сопротивления движению на прямолинейных участках.

$$\Delta F_i = g_i \cdot l_i (C_n \cos \beta_i + \sin \beta_i),$$

где $g_i = m_i \cdot g$ – весовая нагрузка на одном погонном метре расчетного участка на холостой ветви

$$g_i = m_i \cdot g = 11,2 \cdot 9,81 = 109,9 \text{ н/м,}$$

на грузенной ветви

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

$$g_2 = (m_0+m_2)g = (11,2+93) \cdot 9,81 = 1022,2 \text{ н/м}$$

$\Delta F_{1-2} = 0$, т.к. лента от 1 к 2 идет по воздуху не опираясь на ролики, т.е. без сопротивления

$$\Delta F_{2-3} = 109,9 \cdot 30 \cdot 0,025 = 82,4 \text{ Н},$$

$$\Delta F_{4-5} = 109,9 \cdot 730 \cdot 0,025 = 2005, \text{ Н},$$

$$\Delta F_{6-7} = 102,2 \cdot 2 \cdot 1000 \cdot 0,025 = 25555 \text{ Н},$$

$$\Delta F_{8-9} = 109,9 \cdot 5 \cdot 0,025 = 13,7 \text{ Н},$$

$$\Delta F_{10-11} = 0,$$

т.к. лента от 10 к 11 идет по воздуху не опираясь на ролики, т.е. без сопротивления

$$\Delta F_{12-0} = 109,9 \cdot 60 \cdot 0,025 = 164,9 \text{ Н}.$$

Расчетное результирующее усилие на прямолинейных трассах.

$$\Delta F'_n = \Delta F_{12-0} + \Delta F_{8-9} K_{u6} + \Delta F_{6-7} K_{u6} K_{u5} + \Delta F_{4-5} K_{u6} K_{u5} K_{u4} + \Delta F_{2-3} K_{u6} K_{u5} K_{u4} K_{u3}$$

$$\Delta F'_n = 164,9 + 13,7 \cdot 1,06 + 25555 \cdot 1,06 \cdot 1,05 + 2005,7 \cdot 1,06 \cdot 1,05 \cdot 1,05 + 82,4 \cdot 1,06 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,05 = 31061,7 \text{ Н}.$$

Найденные значения позволяют рассчитывать из условия не пробуксовки ленты (условие Эйлера) минимально допустимое натяжение сгибания ленты с приводных барабанов.

$$T_{сб. \min} = \frac{\Delta F'_n + m' \sum \cdot ag}{e^{M \cdot t_n} - K_{u1} K_{u2} K_{u3} K_{u4} K_{u5} K_{u6} K_{u7}},$$

где $e^{M \cdot t_n} = 4,33$

$$T_{сб. \min} = \frac{31061,7 + 133788,04 \cdot 0,3}{4,33 - 1,06 \cdot 1,02 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,06} = 24299,7 \text{ Н},$$

Т.к. при определении суммарной массы не учитывались массы барабанов и опорных роликов, то фактическое значение $T_{сб}$ следует принять с некоторым запасом относительно $T_{сб. \min}$.

$$T_{сб} = 1,2 \cdot T_{сб. \min} = 1,2 \cdot 24299,7 = 29159,6 \text{ Н}.$$

Для определения предварительного натяжения ленты, обеспечивающее принятое значение $T_{сб}$. определим минимальное натяжение, которое имеет место в точке 5.

$$T_5 = (\Delta F_{23} + T_{сб}) K_{u2} + [(\Delta F_{2-3} + T_{сб}) K_{u2} + \Delta F_{45}] K_{u3} =$$

$$= (82,4 + 29159,6) 1,02 + [(82,4 + 29159,6) 1,02 + 2005,7] 1,05 = 63251 \text{ Н}.$$

Для создания такого натяжения потребуется натяжной груз

$$Q_n = 1T_5 = 2 \cdot 63251 = 126502 \text{ Н}.$$

Максимальное натяжение в ленте имеет место в точке 11 приводного барабана и определяется

1) при пуске

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ				

$$T_{\text{нб.пуск}} = 1,06 \cdot 1,02 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,06 \cdot T_{\text{сб}} + F'_n + m'_\Sigma \cdot a_q,$$

$$T_{\text{нб.пуск}} = 1,3 \cdot 29159,6 + 31061,7 + 133788,04 \cdot 0,3 = 109105,6 \text{ Н},$$

2) при установившемся режиме

$$T_{\text{нб.уст}} = K_{u1} \cdot K_{u2} \cdot K_{u3} \cdot K_{u4} \cdot K_{u5} \cdot K_{u6} \cdot T_{\text{сб}} + F'_n = 68969,2.$$

Т.к. динамическое приращение натяжения ленты при пуске
загруженного конвейера сравнительно не велико

$$T_{\text{нб.пуск}} / T_{\text{нб.уст.}} = 1,5,$$

то натяжное устройство может оставаться не регулируемым.

Выводы по разделу два

В данном разделе ВКР рассмотрены климатические условия эксплуатации и выбор степени защиты электрооборудования, произведен расчет и выбор элементов кинематики механических передач конвейерной ленты.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Выбор электродвигателя по каталогу

Мощность приводной станции определяется в соответствии с расчетной статической нагрузкой $F_{ст}$ и заданной скоростью

$$P_{см} = K_3 \frac{F_{см} U}{\eta_p} = \frac{(109105,6 - 29159,6) \cdot 1,6}{0,91} = 106,3 \text{ кВт},$$

η_p - КПД редуктора $\eta = 0,91$

Предлагаем равномерную загрузки двигателей приводных барабанов, $P_{ном}$ электродвигателя выбирается из условия

$$P_H \geq P_{см} / 2,$$

$$P_H \geq 53 \text{ кВт}.$$

Выбор типа электродвигателя и системы электропривода для данного конвейера предопределяются следующими условиями эксплуатации: ленточные конвейеры эксплуатируются в неблагоприятных условиях, при повышенной влажности, загрязненности и значительных колебания температуры, сила трения покоя во много раз больше силы трения при движении конвейера, поэтому для конвейера характеристики повышенные $M_{трогания}$, который для наружных установок дополнительно возрастает в зимнее время, это обстоятельство необходимо учитывать выбором соответствующих приводных электродвигателей, которые должны иметь закрытые исполнение и обладать повышенным пусковым моментом, обеспечивающим надежный пуск конвейера при возможном снижении напряжения питающей сети. Важным требованием, предъявляемым к электроприводу механизмов непрерывного транспорта является обеспечение плавности пуска и торможения надежным ограничением ускорения и рывка, а также максимального $M_{дв}$. И его производная. Проблема пуска мощных конвейеров просто решается асинхронным двигателем с фазным ротором, при котором достигается ограничением J_p и обеспечивается формирование требуемо пусковой характеристики привода.

Исходя из этих условий выбираем для электропривода два асинхронных двигателя с фазным ротором и степенью защиты IP44 следующего типоразмера КОФ-41-4

Техническая характеристика.

- 1) Напряжение $U_1 = 380/660 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$.
- 2) Номинальная мощность $P_{2н} = 55 \text{ кВт}$.
- 3) Синхронная частота вращения $n_1 = 1750 \text{ об/мин}$
- 4) Электрические данные ротора $J_{2ном} = 90 \text{ А}$, $U_2 = 370 \text{ В}$.
- 5) Механические характеристики: $m_k = S_{ном} = 20\%$, $S_k = 14\%$.
- 6) Энергетические показатели $\eta = 90,5\%$ $\cos\varphi = 0,8$
- 7) Момент инерции ротора $J_p = 0,86 \text{ кг}\cdot\text{м}^3$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

- 8) Параметры схемы замещения, отн. ед.
 $X_M=3,6$, $R'=0,026$, $x'=0,12$, $R''=0,029$, $X''=0,11$
 9) Масса электродвигателя $m=930$ кг.

3.2. Расчет требуемой жесткости механической характеристики второго двигателя

Проверим распределение нагрузки между двигателями двух барабанной приводной станции случае работы на своих естественных характеристиках. Вследствие упругой деформации ленты на приводных барабанах угловые скорости электродвигателя будут неодинаковы. Для данного соотношения натяжения ленты в набегающих точках барабана $T_M/T_0=2$ Будем иметь

$$\delta = \frac{\omega_1}{\omega_2},$$

$$\delta = \frac{1 + \Delta/2}{1 + \Delta} = \frac{1 + 0,02/2}{1 + 0,02} = 0,9902$$

При работе электродвигателя на своих естественных характеристиках их модули жесткости

$$\beta_1 = \beta_2 = M_{ном} / S_{ном} \cdot \omega_0,$$

При этом их относительная загрузка определяется из известных выражений:

$$\left. \begin{aligned} M_1 / M_{ном} &= \frac{2}{1 + \delta} - 1/S_{ном} \cdot \frac{1 - \delta}{1 + \delta}, \\ M_2 / M_{ном} &= \frac{2\delta}{1 + \delta} + \frac{1}{S_{ном}} \cdot \frac{1 - \delta}{1 + \delta} \end{aligned} \right\}$$

Подставляя сюда исходные данные получаем

$$\left. \begin{aligned} M_1 / M_{ном} &= \frac{2}{1 + 0,9902} - 1/0,02 \cdot \frac{1 - 0,9902}{1 + 0,9902} = 0,758, \\ M_2 / M_{ном} &= \frac{2 \cdot 0,9902}{1 + 0,9902} + \frac{1}{0,02} \cdot \frac{1 - 0,9902}{1 + 0,9902} = 1,241 \end{aligned} \right\}$$

Следовательно, двигатель первого барабана оказывается недогруженным на 24,1%, а двигатель второго барабана наоборот на 24,1% перегружен.

Определим требуемое $S_{ном2}$ обеспечивающее равенство нагрузок двигателя полагая при этом, что

$$\beta_1 = \frac{M_{ном}}{S_{ном} \cdot \omega_0}$$

$$\beta_2 = \frac{M_{ном}}{S_{ном2} \cdot \omega_0}$$

$$S_{ном2} = S_{ном} \delta + (1 - \delta) = 0,02 \cdot 0,9902 + (1 - 0,9902) = 0,0296.$$

Не выключаемые добавочные сопротивления ΔR_2 в цепи фазного ротора второго электродвигателя определяем из соотношения

$$S_{ном} / S_{ном2} = R_2 / R_2 + \Delta R_2;$$

где R_2 – сопротивление фазного ротора двигателя, которое приблизительно можно определить по формуле

$$R_2 = \frac{E_{2R} S_{ном}}{J_{2H} \sqrt{3}},$$

где E_{2R} – напряжение на контактных кольцах,

J_{2H} – ток в роторе,

$S_{ном2}$ – скольжение номинальное второго двигателя.

$$R_2 = \frac{370 \cdot 0,0296}{90 \sqrt{3}} = 0,07 \text{ Ом},$$

$$\Delta R_2 = 0,03.$$

Это позволит получить для второго электродвигателя искусственную характеристику 2 и выравнить загрузку двигателей.

3.3. Расчет динамических нагрузок привода конвейера в режиме аварийного пуска полностью загруженным

Проверим электродвигатель по пусковому моменту в режиме аварийного пуска полностью загруженного конвейера.

Суммарный момент инерции электропривода с учетом двух двигателей

$$J_{\Sigma} = 2J_{дв} + 2J_p + J_k,$$

где $J_k = m_{\Sigma} \cdot \rho^2$ – момент инерции загруженного конвейера приведенный к валу электродвигателя

$\rho = U / \omega_n = 0,0122 \text{ м}$ – радиус приведения

$$J_k = m_{\Sigma} \cdot \rho^2 = 2 \cdot 0,86 + 2 \cdot 0,024 + 19,9 = 21,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Динамический момент при пуске определяется по формуле

$$M_{дин} = J_{\Sigma} \varepsilon_{дон},$$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

где $\varepsilon_{дон}$ - угловое ускорение двигателя,

$$\varepsilon_{дон} = a / \rho = 0,3 / 0,0122 = 24,6 \text{ рад} / \text{с}^2,$$

a – ускорение,

$$M_{дин} = 21,7 \cdot 24,6 = 533,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Надежность пуска грузенного конвейера с учетом двух электродвигателей определяется следующим условием

$$2M_{дв.кр.} > M_{ст} + M_{дин}$$

где $M_{дв.кр.}$ – максимальный момент двигателя

$$M_{дв.кр.} = m_k M_{д.ном},$$

$$M_{дв.ном} = 9570 \frac{P_{2ном}}{n_c (1 - S_n)} = 537,1 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{дв.кр.} = 1,9 \cdot 537,1 = 1020,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$2 \cdot 1074,2 > (1074,2 + 533,8),$$

$$2148,4 > 1608,$$

т.е. электродвигатель при заданном допустимом ускорении при пуске, обеспечивает надежный пуск, даже в аварийном режиме.

3.4. Проверка выбранных двигателей по нагреву и перегрузочной способности

Определим окружное усилие на приводном барабане для конвейера в пусковом режиме.

$$P = (k_d l \omega (q_r + q_p' + q_p'' + 2q_{л.ср})) g,$$

где $q_{л.ср}$ – средняя линейная нагрузка от массы ленты, численно равная среднему значению массы ленты, кг/м.

K_d – коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления движению ленты по роликам и барабанам и равный 1,15

q_p' и q_p'' - линейные нагрузки от массы вращающихся частей роlikоопор соответственно верхней и нижней ветвей ленты, численно равные массам вращающихся частей соответствующих роlikоопор, кг/м

l – длина конвейера,

w – коэффициент сопротивления движению ленты по роlikоопорам,

q_r – погонная нагрузка на ленту от веса транспортируемого груза, кг/м.

С помощью справочника находим

$$q_p' = \frac{G_p'}{l_p'},$$

где l_p' – расстояние между роlikоопорами на грузовой ветви,

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

G_p' – вес вращающихся частей роликоопор, установленных на грузовой ветви

$$q_p' = 12,5/1,3 = 9,6 \text{ кг/м,}$$

$$q_p'' = G_p''/l_p,$$

где l_p'' – расстояние между роликоопорами на порожняковой ветви,

G_p'' – вес вращающихся частей роликоопор, установленных на порожняковой ветви,

$$q_p'' = 12,5/2,6 = 4,8 \text{ кг/м,}$$

$$p = (1,15 \cdot 1000 \cdot 0,024(0,3 + 9,6 + 4,8 + 2 \cdot 11,2)) \cdot 9,81 = 35144,1 \text{ Н.}$$

Выбранный двигатель по расчетам мощности должен удовлетворять условию $M_{нд} \leq M_n$,

где $M_{нд}$ – момент на валу двигателя при пусковой нагрузке, которая определяется по формуле

$$M_{нд} = (S_{нб.н.} - S_{сб.н.}) D_б \cdot \eta / 2 \cdot l_p$$

где $D_б$ – диаметр барабана,

η – КПД редуктора привода,

l_p – передаточное число редуктора,

$$M_{нд} = 35144,1 \cdot 0,5 \cdot 0,91 / 2 \cdot 20 = 399,8.$$

Пусковой момент электродвигателя

$$M_n = M_{ном} \cdot K_q.$$

Номинальный момент электродвигателя

$$M_{ном} = 9570 \cdot P_{2ном} / n_{с(1-S_{ном})},$$

где $P_{2ном}$ – номинальная мощность,

$n_{с}$ – синхронная частота вращения,

$S_{ном}$ – номинальное скольжение,

$$M_{ном} = 9570 \cdot 55 / 1000(1 - 0,02) = 537 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

K_q – из справочника равно 2,

$$M_n = 537 \cdot 2 = 1074 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

$$399,8 < 1074.$$

Следовательно, двигатель подходит.

Теперь проверим второй двигатель

$$P = (K_q \cdot l \cdot \omega_n (q_{л.ср.} + q_p'')) g,$$

$$P = (1,15 \cdot 1000 \cdot 0,024(11,2 + 4,8)) \cdot 9,81 = 4332,1,$$

$$M_{нд2} = 4332,1 \cdot 0,5 \cdot 0,91 / 2 \cdot 20 = 49,3 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

$$49,3 < 1074.$$

Следовательно, второй двигатель тоже подходит.

Выводы по разделу три

В данном разделе проведен расчет электропривода, в соответствии с которым был произведен выбор двигателей и проверка по нагреву и перегрузочной способности.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

4. АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЙЕРА. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Данный силовой канал электропривода рассчитан на переменный ток, напряжение 380В, частота тока 50 Гц. Возможны как регулируемые, так и нерегулируемые варианты электропривода.

Нерегулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, на такие двигатели не будут обеспечивать требуемые механические характеристики, так как они будут одинаковы, а нам нужно, чтобы одна механическая характеристика была бы мягче, следовательно, данный вариант силового канала электропривода нам не подходит.

Возможен вариант нерегулируемого электропривода с асинхронным двигателем с фазным ротором. Данный вариант электропривода не подходит. Так как у одного двигателя последняя ступень будет замыкаться накоротко, а у другого оставаться часть сопротивления, обеспечивая необходимую мягкость механической характеристики. Такой вариант удобен при постоянной неизменной нагрузке, но это не реально, т.к. за определенные промежутки времени транспортируется уголь разного веса.

В случае снижения веса транспортируемого конвейером сильно падает КПД и очень сильно возрастает энергоемкость. Следовательно, этот вариант не экономичен.

Рассмотрим регулируемый электропривод. Возьмем диапазон регулирования скорости $D=10$. Регулирование скорости можно осуществлять при помощи двух преобразователей частоты, по одному преобразователю на двигатель, но при этом не будет осуществляться необходимая мягкость характеристик.

В нашем случае наиболее удобен электропривод с одним преобразователем частоты и двумя асинхронными двигателями с фазным ротором подключенные параллельно. Данный электропривод обеспечивает все технико-экономические показатели.

4.1 структурная схема электропривода

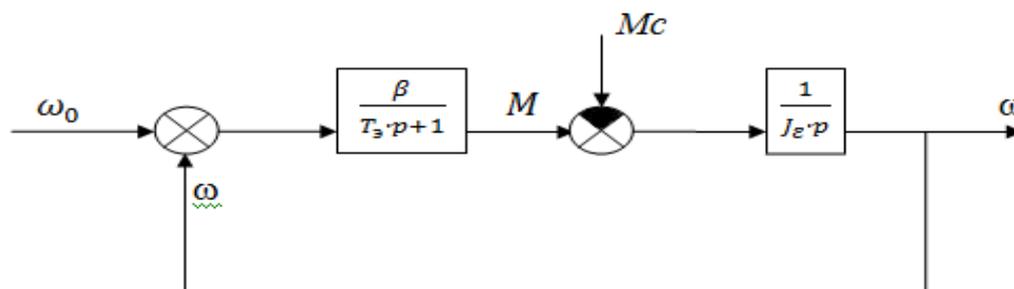


Рис 1. Структурная схема асинхронного двигателя

Электрическая схема управления обеспечивает работу конвейера в автоматизированном режиме с выполнением следующих функций, а именно:

- 1) автоматический пуск конвейера с пульта управления;
- 2) подачу предупредительного сигнала по линии конвейера перед его пуском;
- 3) остановку конвейера, как с пульта управления, так и с блока управления;
- 4) отключение конвейера при срабатывании различного рода защит;
- 5) остановку конвейера при отсутствии напряжения питания на устройстве сигнализации, при превышении скорости ленты относительно приводного барабана на конвейере, т.е. отключение контакта реле устройство, при размыкании контакта установки пожаротушения, отсутствии давления в противопожарном трубопроводе;
- 6) контроль времени пуска конвейера;
- 7) контроль снижения скорости ленты от номинальной и наложение тормозов при скорости ленты меньше или равной 0,5 м/с;
- 8) аварийное отключение пускателя лебедки натяжения и привода конвейера, если натяжение ленты превышает допустимые пределы, установленные на манометре или если натяжная каретка находится в крайнем положении и воздействует на выключатель;
- 9) световую и звуковую сигнализации при отключении конвейера вследствие срабатывания защит.

При исследовании переходных процессов в электроприводах с асинхронными двигателями можно использовать структурную, представленную на рис. 1.

Структурная схема соответствует системе уравнений

$$(T\varepsilon \cdot p + 1) \cdot M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega); \quad (1)$$

$$M - M_c = J_\varepsilon \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

в которой первое уравнение описывает линейную механическую характеристику асинхронного двигателя в рабочей зоне $0 \leq S \leq S_K$, а второе уравнение представляет собой жесткое приведенное механическое звено.

Структурная схема удовлетворительно описывает переходные процессы в асинхронном двигателе при питании его от источника напряжения и источника тока.

В структурной схеме на рис. 1 и в (1):

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

синхронная скорость

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p};$$

электромагнитная постоянная времени

$$T_э = \frac{1}{\omega_{0эл.ном} \cdot S_K}$$

где $\omega_{0эл.ном}$ – скорость вращения магнитного поля при номинальной частоте $f_1 = f_{1ном}$ и $p = 1$;

β – модуль жесткости линеаризованной механической характеристики

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_{0ном} \cdot S_K}$$

где $\omega_{0ном}$ – скорость вращения магнитного поля при $f_1 = f_{1ном}$.

Электромагнитная постоянная времени и модуль жесткости механической характеристики при питании от источника напряжения и источника тока имеют различные значения. Связано это с различными значениями M_K и S_K при питании от источника напряжения и источника тока.

При питании от источника напряжения

$$M_{Ku} = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + x_K^2}]}$$

$$S_{Ku} = \frac{R_2' \varepsilon}{\sqrt{R_1^2 + x_K^2}}$$

При питании от источника тока

$$M_{Ki} = \frac{3 \cdot I_{1ном}^2 \cdot x_{\mu H}^2}{2 \cdot \omega_{0ном} \cdot (x_{\mu H} + x_{2H}')}$$

$$S_{Ki} = \frac{R'_2 \varepsilon}{x_{\mu H} + x'_{2H}}$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток двигателя;

$x_{\mu H}$, x'_{2H} , R'_2 – соответственно индуктивное сопротивление цепи намагничивания, индуктивное и активное приведенные сопротивления ротора при номинальной скорости вращения магнитного поля $\omega_{ном}$.

Различия в значениях M_K и S_K соответственно дают различные значения T_Σ и β при питании от источников напряжения и тока, следовательно будут различия в протекании переходных процессов.

Передаточная функция асинхронного двигателя по управляющему воздействию (рис.1)

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{\omega_0(p)} = \frac{1}{T_\Sigma \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} \quad (2)$$

где $T_M = \frac{J\varepsilon}{\beta}$ – электромеханическая постоянная времени.

Передаточная функция по возмущающему воздействию (при $\omega_0 = 0$)

$$W_B(p) = \frac{\omega(p)}{M_c(p)} = \frac{1 + T_\Sigma \cdot p}{\beta \cdot (T_\Sigma \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1)}$$

Характер переходного процесса в электромеханической части электропривода с асинхронным двигателем определится видом корней характеристического уравнения

$$T_\Sigma \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1 = 0 \quad (3)$$

Если $T_M \geq 4 \cdot T_\Sigma$, корни уравнения (3) будут действительные отрицательные $p_1 = -a$; $p_2 = -b$, и передаточная функция (2) может быть представлена аperiodическим звеном второго порядка:

$$W(p) = \frac{1}{(T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)} \quad (4)$$

где $T_1 = \frac{1}{a}; T_2 = \frac{1}{b}$.

При $T_M < 4 \cdot T_2$ корни характеристического уравнения будут комплексно-сопряженными с отрицательной действительной частью

Исходные данные к выбору ПЧ:

- 1) Мощность, кВт 55
- 2) Напряжение сети, В 380,50 Гц
- 3) Диапазон регулирования частоты, Гц 40-60
- 4) Наличие встроенного ПИД-регулятора
- 5) Высокое качество синусоидального выходного напряжения с широтно-импульсной модуляцией частотой не менее 4.5 кГц
- 6) Силовые модули ПЧ на базе IGBT
- 7) Метод управления вольт-частотный квадратичный (U/f^2)
- 8) Удаленная (до 5 км) диспетчерская
- 9) Температура окружающей среды, °С -0 +40
- 10) Стандарт защиты IP-44

При выборе ПЧ для нашей системы в качестве альтернативных вариантов более подробно были рассмотрены ПЧ трех фирм

SIEMENS-ФРГ

YASKAWA-ЯПОНИЯ

“УНИВЕРСАЛ”-РОССИЯ разработчик МЭИ, кафедра автоматизированного электропривода.

Эти преобразователи последнего поколения построены на базе новых силовых модулей IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor-биполярный транзистор с изолированным затвором), рассчитанных на токи до нескольких килоампер, напряжение до нескольких киловольт и имеющих частоту коммутации 30 кГц и выше. Структурную силовую схему этих ПЧ составляют выпрямитель, фильтр и инвертор. Благодаря наличию промежуточного контура постоянного напряжения ПЧ этого типа позволяют менять частоту подвижного напряжения сети, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения от его номинального (50 Гц) значения. Инвертор, как

выходной каскад которого выполняется на основе модулей IGBT-модулей, осуществляет обратное преобразование из постоянного тока в переменный с необходимым изменением напряжения и частоты с применением высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В этом случае выходной сигнал ПЧ представляет собой последовательность импульсов напряжения постоянной амплитуды и изменяющейся длительности, которая на индуктивной нагрузке, каковой является обмотка статора электродвигателя, формирует токи синусоидальной формы.

Требования к частотно-регулируемому электроприводу определяются

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

диапазоном требуемых скоростей вращения и типом нагрузки. В зависимости от характера нагрузки рассматриваемые преобразователи могут обеспечивать различные режимы управления электродвигателем, реализуют ту или иную зависимость между скоростью вращения электродвигателя и выходным напряжением, например, режим с линейной зависимостью между напряжением и частотой ($U/f=\text{const}$), режим квадратичной зависимости ($U/f^2=\text{const}$). Последний режим наиболее характерен для регулирования электроприводов лопастных насосов и вентиляторов.

Режим с линейной зависимостью между напряжением и частотой реализуется простейшими преобразователями частоты для обеспечения постоянного момента нагрузки и используется для управления синхронными двигателями или асинхронными двигателями, подключенными параллельно. Вместе с тем при уменьшении частоты, начиная с некоторого значения, максимальный момент двигателя начинает падать. Для повышения момента на низких частотах в ПЧ предусматривается функция повышения начального значения выходного напряжения, которая используется для компенсации падения момента для нагрузок с постоянным моментом (конвейера) или увеличения начального момента для нагрузок с высоким пусковым моментом, таких, например, как эструдер, промышленный миксер.

Перечисленные режимы управления достаточны для большинства применений. Вместе с тем для повышения качества привода требуется использование других, более современных методов управления. К ним относится метод управления потокосцеплением (Flux Current Control-FCC) и метод бессенсорного векторного управления (Sensorless Vector Control-SVC). Оба метода базируются на использовании адаптивной модели электродвигателя, которая строится с помощью специализированного вычислительного устройства, входящего в состав управления современных ПЧ.

4.2 Преимущества применения электроприводов на базе ПЧ “УНИВЕРСАЛ”

-Увеличение производительности механизма за счет оптимизации режимов работы привода и обслуживаемого им технического процесса при регулировании скорости исполнительного двигателя в широком диапазоне (до 10:1 в разомкнутой схеме включения и до 30:1 в замкнутой схеме включения с дополнительно установленным датчиком скорости).

-Увеличение ресурса работы электрического и механического оборудования за счет: ограничения пусковых токов асинхронного двигателя при «мягком» пуске от преобразователя частоты, исключения механических ударов в передачах и гидравлических ударов в трубопроводах; автоматической блокировки длительной работы привода в зонах возможного

механического резонанса.

-Поддерживание с заданной точностью скорости исполнительного двигателя или подчиненный параметр технологического процесса (давление, расход, температуру и т.д.). Реализация астатических систем регулирования, в которых точность поддержания заданных переменных будет определяться лишь точностью используемых датчиков.

-Энергоснабжение и ресурсосбережение. Например, экономия электроэнергии и воды при замене нерегулируемого электропривода насосных установок систем коммунального водоснабжения на частотно-регулируемый достигает 50% и выше.

- Обеспечение программного управления скоростью и регулируемой технологической переменной по часовым, суточным, недельным и месячным циклам в реальном времени(для насосных устройств такая возможность позволяет, например, организовывать требуемую программу дозирования жидких сред).

- Комплексная автоматизация технологических процессов за счет использования регулируемых электроприводов с высокими энергетическими характеристиками при высоком качестве синусоидального выходного напряжения, формируемого преобразователями частоты, высоким К.П.Д. и коэффициенте мощности привода.

- Построение на базе отдельного преобразователя частоты рабочих станций и станций группового управления сразу несколькими объектами. Например- несколькими насосами с возможностями автоматического резервирования, учета времени наработки каждым из механизмов, оптимизацией распределения нагрузки между ними, а также с реализацией вспомогательных функций технологической автоматики- управления дискретными исполнительными устройствами(заслонками, задвижками, электромагнитными клапанами и т.д.).

- Объединение нескольких регулируемых электроприводов с преобразователями частоты в сети с согласованным управлением. При этом управление осуществляется в реальном времени от промышленных программируемых контроллеров или компьютеров. Реализация систем «электрического вала» или пропорционального согласованного управления скоростью неограниченного числа приводов.

- Удаленная диспетчеризация состояния привода и подчиненного технологического процесса по быстродействующим последовательным каналам связи, в том числе, по беспроводным (с использованием радиомодемов).

- Повышение культуры производства за счет использования высокоинтеллектуальных устройств, способных не только выполнять самодиагностику неисправностей и аварий, принимать необходимые меры по предупреждению развития аварий, но и обеспечивать автоматическую адаптацию режимов работы и параметров преобразователя к различным типам исполнительных устройств, характеру и величине нагрузки.

- Косвенное измерение ряда параметров привода и технологического

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

процесса без использования дополнительной дорогостоящей измерительной аппаратуры, например, расхода электроэнергии и расхода воды в приводах насосов (цель- наблюдение и учет, определение эффективности системы автоматизации, ранее обнаружение и предупреждение аварий в объекте управления).

Однако, учитывая высокую стоимость импортных ПЧ (примерно 200-300\$ за 1 кВт номинальной мощности) и значительно меньшую стоимость отечественных ПЧ (порядка 100-140\$ за 1 кВт), а также известные проблемы по обслуживанию и ремонту импортного оборудования, в данном проекте предпочтение отдается ПЧ серии “УНИВЕРСАЛ-75”.

В качестве силового преобразователя принимаем преобразователь частоты типа ЭКТ-100/380.

Характеристики и параметры конвейера

1. Приведенная круговая жесткость между первой и второй массой.

$$C_1 = \frac{J_1}{T_1^2} = \frac{3}{1} = 3H \cdot м,$$

где $J_1 = J_{ог}$.

2. Суммарная приведенная круговая жесткость конвейера.

$$C_\Sigma = \frac{E}{2l_\lambda} \rho^2 = \frac{9 \cdot 10^6}{1000} \cdot 0.01^2 = 0.9H \cdot м,$$

где $E = 9 \cdot 10^6 H \cdot м$ - модуль динамической упругости при числе прокладок, равном четырем:

$$\rho = \frac{V_\lambda}{\omega_{ог}} = \frac{1.6}{152.8} = 0.01м - \text{радиус приведения.}$$

3. Приведенная круговая жесткость между второй и первой массами.

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_\Sigma}{C_1 - C_\Sigma} = \frac{3 \cdot 0.9}{3 - 0.9} = 1.29H \cdot м.$$

4. Масса груза на 1 м конвейерной ленты.

$$m_r = \frac{Q}{3.6 \cdot V_\lambda} = \frac{330}{3.6 \cdot 1.6} = 57.3 \text{ кг/м,}$$

где $Q = 330$ т/ч – максимальная производительность конвейера;

$V_\lambda = 1,6$ м/с – скорость движения ленты.

5. Масса 1 м ленты.

$$m_\lambda = q_\lambda \cdot B = 12 \cdot 0.8 = 9.6 \text{ кг/м,}$$

где $q_\lambda = 12$ кг/м² – масса 1 м² ленты;

$B = 0,8$ м – ширина ленты.

6. Погонная масса роликов грузовой ветви.

$$m'_p = \frac{q'_p}{l'_p} = \frac{8.5}{1} = 8.5 \text{ кг/м,}$$

где $q'_p = 8.5$ кг – масса роликоопоры на грузовой ветви;

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$l'_p = 1.0$ м – расстояние между роликоопорами.

7. Погонная масса роликов порожняковой ветви.

$$m''_p = \frac{q''_p}{l''_p} = \frac{7.7}{2.4} = 3.2 \text{ кг/м,}$$

где $q''_p = 7.7$ кг – масса роликоопоры порожняковой ветви;

$l''_p = 2.4$ м – расстояние между роликоопорами.

8. Приведенный момент инерции второй массы.

$$J_2 = l_{\lambda} (m_r + 2m_{\lambda} + m'_p + m''_p) \frac{V_{\lambda}^2}{\omega_1^2} = 500 \cdot (57.3 + 2 \cdot 9.6 + 8.5 + 3.2) \frac{1.6^2}{152.8^2} = 4.7 \text{ кг/м}^2.$$

9. Коэффициент передачи звена внутренней обратной связи по ЭДС двигателя.

$$K_{\omega} = \frac{I_{\mu} (x_0 + x_1)}{\omega_{1H}} = \frac{20.36 \cdot (22.91 + 0.765)}{157} = 4.25 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

10. Коэффициент передачи звена момента двигателя.

$$K_M = \frac{M_H}{S_H \cdot I_{\mu} (x_0 + x_1)} = \frac{368}{0.028 \cdot 20.36 \cdot (22.91 + 0.765)} = 19.7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $S_H = \frac{\omega_{1H} - \omega'_1}{\omega_{1H}} = \frac{157 - 152.8}{157} = 0.027$ - номинальное скольжение

двигателя.

11. Электромагнитная постоянная двигателя

$$T_M = \frac{J_1 + J_2}{K_M \cdot K_{\omega}} = \frac{3 + 4.7}{19.7 \cdot 4.25} = 0.092 \text{ с.}$$

12. Эквивалентное активное сопротивление системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

$$R_s = r_d + \frac{3}{2} \cdot K_i^2 (r_1 + r_2'' \frac{L_{\mu}^2}{L_r^2}) = 0.1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi^2}{12} (0.0925 + 0.151 \cdot \frac{0.073^2}{0.075^2}) = 0.39 \text{ Ом,}$$

где $L_{\mu} = \frac{x_0}{314} = \frac{22.91}{314} = 0.073$ Гн – индуктивность контура намагничивания;

$$L'_2 = \frac{x'_2}{314} = \frac{0.765}{314} = 0.002 \text{ Гн – индуктивность рассеяния обмотки}$$

ротора;

$$L_r = L_{\mu} + L'_2 = 0.073 + 0.002 = 0.075 \text{ Гн – полная индуктивность обмотки}$$

ротора.

13. Эквивалентная индуктивность системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

$$L_s = L_d + \frac{3}{2} \cdot K_i^2 (L_s - \frac{L_{\mu}^2}{L_r}) = 9.56 \cdot 10^{-3} + \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi}{12} (0.075 - \frac{0.073^2}{0.075}) = 0.0144 \text{ Гн,}$$

где $L_s = L_{\mu} + L_1 = 0.073 + 0.002 = 0.075$ Гн – полная индуктивность обмотки статора;

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

$$L_1 = \frac{x_1}{314} = \frac{0.765}{314} = 0.002 \text{ Гн} - \text{индуктивность рассеяния обмотки}$$

статора.

14. Электромагнитная постоянная времени привода.

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} = \frac{0.0144}{0.39} = 0.037 \text{ с.}$$

15. Проверяем параметры электромеханической системы на условие демпфирования. Коэффициент демпфирования принимаем $\xi = 1.0$ (апериодический характер переходного процесса).

$$\frac{T_M}{T_s} = \frac{0.092}{0.037} = 2.5 \langle 16; \quad \gamma = \frac{(J_1 + J_2)}{J_1} = \frac{(3 + 4.7)}{3} = 2.6 \langle 5.$$

Ни один из параметров не удовлетворяет условиям демпфирования, поэтому необходимо применение гибкой обратной связи по нагрузке. Из третьего условия демпфирования необходимо быстроедействие системы:

$$\tau = \sqrt{\frac{T_1^2}{1.25(n_2 + 1)}} = \sqrt{\frac{1}{1.25 \cdot (0.43 + 1)}} = 0.75 \text{ с,}$$

где $n_2 = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1.29}{3} = 0.43$ - относительное значение приведенной круговой

жесткости между второй и первой массами.

16. Определяем соотношение обратных связей по скорости и моменту из условия демпфирования колебаний.

$$\frac{\lambda_1 + 1}{(\lambda_2 + 1)^2} = \frac{T_M}{16T_s} = \frac{0.092}{16 \cdot 0.037} = 0.15.$$

17. Коэффициент передачи датчика скорости по ЭДС.

$$K_{dc} = \frac{U_{нмг} \cdot R_{\delta}}{V_{л} \cdot i_p} = \frac{32.4 \cdot 0.4}{1.6 \cdot 4} = 0.2025 \text{ В} \cdot \text{с}$$

18. Коэффициент передачи делителя напряжения.

$$K_{\text{дн}} = \frac{10}{K_{dc} \cdot \omega_{\text{max}}} = \frac{10}{0.2025 \cdot 157} = 0.295$$

Определим сопротивления делителя напряжения

$$R_{1\delta} + R_{2\delta} = \frac{U_{нмг}}{I_{нмг}} = \frac{32.4}{0.03} = 1080 \text{ Ом,}$$

где $I_{нмг} = 30 \text{ мА}$ – номинальный ток датчика скорости УПДС.

$$R_{2\delta} = K_{\text{дн}} (R_{1\delta} + R_{2\delta}) = 0.295 \cdot 1080 = 320 \text{ Ом;}$$

$$R_{1\delta} = (R_{1\delta} + R_{2\delta}) - R_{2\delta} = 1080 - 320 = 760 \text{ Ом.}$$

19. Коэффициент передачи датчика электромагнитного момента

двигателя.

$$K_{\text{дм}} = \frac{\omega_{1H} \cdot K_T}{3U_{1нф}} = \frac{157 \cdot 0.029}{3 \cdot 380} = 0.004 \text{ В} / \text{Н} \cdot \text{м.}$$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

20. Определяем соотношение между $(\lambda_1 + 1)$ и $(\lambda_2 + 1)$ из условия необходимого статизма системы при $K_p = 100$ и $U_{3H} = 10B$.

$$\lambda + 1 = \frac{K_p \cdot K_{nc} \cdot K_M \cdot U_{3H} - M_H (\lambda_2 + 1)}{\omega_H \cdot K_M \cdot K_{uc}} = \frac{100 \cdot 25.33 \cdot 19.7 \cdot 10 - 710(\lambda_2 + 1)}{152.8 \cdot 19.7 \cdot 4.25},$$

отсюда

$$\lambda + 1 = 39 - \frac{(\lambda_2 + 1)}{18.02},$$

$$\text{где } K_{nc} = \frac{U_{1нф}}{U_{3нч}} = \frac{380}{15} = 25.33.$$

21. Совместное решение дает

$$\lambda_1 = 37.14; \quad \lambda_2 = 14.5.$$

Определяем коэффициенты обратных связей

$$K_{oc} = \frac{\lambda_1 \cdot K_{\omega}}{K_p \cdot K_{nc}} = \frac{37.14 \cdot 4.25}{100 \cdot 25.33} = 0.0623B \cdot c;$$

$$K_{om} = \frac{\lambda_2}{K_p \cdot K_{nc} \cdot K_M} = \frac{14.5}{100 \cdot 25.33 \cdot 38} = 0.00015B / H \cdot m;$$

тогда

$$K'_{oc} = \frac{K_{oc}}{K_{\partial c} \cdot K_{\partial н}} = \frac{0.0623}{0.2025 \cdot 0.295} = 1.043;$$

$$K'_{om} = \frac{K_{om}}{K_{\partial м}} = \frac{0.00015}{0.004} = 0.038.$$

22. Определяем параметры операционных усилителей обратной связи.

Принимаем $R_3 = R_{3oc} = 10$ кОм; $R_7 = K'_{oc} R_3 = 1.043 \cdot 10 = 10.4$ кОм. Задаемся

$R_4 = 430$ кОм, тогда $R_{4oc} = K'_{om} \cdot R_4 = 0.038 \cdot 430 = 16.13$ кОм.

23. Расчет параметров датчика момента нагрузки. Так как принципиальная схема составлена таким образом, что сигналы, пропорциональные скорости моменту, снимаются после операционных усилителей в цепи обратной связи, то необходимо учитывать коэффициенты

обратных связей.

Дифференциатор имеет коэффициент передачи $K_{\partial} = J_1 = C_1 \cdot R_{1oc}$, отсюда, задаваясь значением емкости $C_1 = 2.2$ мкФ, определяем сопротивление обратной связи

$$R_{1oc} = \frac{J_1}{C_1} = \frac{3}{2.2 \cdot 10^{-6}} = 1364 \text{ кОм.}$$

Коэффициент передачи суммирующего усилителя

$$K_{\Sigma} = \frac{M_H \cdot K_{\partial м} \cdot K'_{om}}{\omega_{1H} \cdot K_{\partial c} \cdot K_{\partial н} \cdot K'_{oc}} = \frac{368 \cdot 0.004 \cdot 0.038}{157 \cdot 0.2025 \cdot 0.295 \cdot 1.043} = 0.0057.$$

Задаемся сопротивлениями $R_1 = R_{2oc} = 10$ кОм, тогда

$$R_2 = \frac{R_{2oc}}{K_{\Sigma}} = \frac{10}{0.0057} = 1754 \text{ кОм.}$$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

24. Задаваясь значением постоянной времени гибкой обратной связи на нагрузке $T_{он} = 0.1$ с, определим коэффициент передачи гибкой обратной связи по нагрузке при $\xi = 1.0$

$$\frac{T_{он}}{T_{\gamma}} \lambda_3 = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (4\xi^2 + 1 - \gamma); \quad \frac{0.1}{0.037} \lambda_3 = \frac{2.6}{2.6 - 1} (5 - 2.6),$$

отсюда $\lambda_3 = 1.44$.

Коэффициент передачи обратной связи по моменту нагрузки

$$K_{он} = \frac{\lambda_3}{K_p \cdot K_{нч} \cdot K_M} = \frac{1.44}{100 \cdot 25.33 \cdot 19.7} = 0.000029 \text{ В / Н} \cdot \text{м}.$$

25. Задаваясь $T_{он} = 0.1$ с, определяем коэффициент передачи операционного усилителя в цепи гибкой отрицательной связи по нагрузке

$$K_z = \frac{K_{он} \cdot T_{он}}{K_{ом}} = \frac{0.000029 \cdot 0.1}{0.00015} = 0.019 \text{ с}.$$

Задаемся величиной емкости $C = 1.0$ мкФ, тогда

$$R_{50с} = \frac{K_z}{C} = \frac{0.019}{1 \cdot 10^{-3}} = 19 \text{ кОм}.$$

26. Задаваясь сопротивлением $R_{60с} = 1000$ кОм, определяем

$$R_6 = \frac{R_{60с}}{K_p} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ кОм}.$$

Выводы по разделу четыре

В данном разделе произведен анализ систем управления электропривода конвейера, рассмотрена структурная схема электропривода, описаны преимущества применения преобразователя частоты «Универсал».

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Библиотека блоков SimPowerSystems (в версии MATLAB 6.1 и ранее - Power System Blockset) является одной из множества дополнительных библиотек Simulink ориентированных на моделирование конкретных устройств. SimPowerSystems содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. В состав библиотеки входят модели пассивных и активных электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и т.п. оборудования. Имеется также раздел содержащий блоки для моделирования устройств силовой электроники, включая системы управления для них. Используя специальные возможности Simulink и SimPowerSystems, пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств.

Несомненным достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электротехнические системы можно моделировать, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Например, силовую часть полупроводникового преобразователя электрической энергии можно выполнить с использованием имитационных блоков SimPowerSystems, а систему управления с помощью обычных блоков Simulink, отражающих лишь алгоритм ее работы, а не ее электрическую схему. Такой подход, в отличие от пакетов схемотехнического моделирования, позволяет значительно упростить всю модель, а значит повысить ее работоспособность и скорость работы. Кроме того, в модели с использованием блоков SimPowerSystems (в дальнейшем SPS-модели) можно использовать блоки и остальных библиотек Simulink, а также функции самого MATLAB, что дает практически неограниченные возможности для моделирования электротехнических систем.

Библиотека SimPowerSystems достаточно обширна. В том случае, если все же нужного блока в библиотеке нет, пользователь имеет возможность создать свой собственный блок как с помощью уже имеющихся в библиотеке блоков, реализуя возможности Simulink по созданию подсистем, так и на основе блоков основной библиотеки Simulink и управляемых источников тока или напряжения.

Таким образом, SimPowerSystems в составе Simulink на настоящее время может считаться одним из лучших пакетов для моделирования электротехнических устройств и систем.

Методика создания SPS-модели ни чем не отличается от методики создания модели на основе базовой библиотеки Simulink. Так же как и для обычной Simulink-модели (S-модели), необходимо выполнить расстановку блоков на схеме, задать их параметры, соединить блоки и установить параметры расчета модели в целом. Для SPS-моделей доступен ускоренный режим расчета и все возможности Simulink, включая набор инструментов Simulink Performance Tools, линейный анализ, отладчик и т.д. Однако SPS-модели имеют и некоторые особенности:

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- входы и выходы SPS-блоков, в отличие от блоков Simulink, не показывают направление передачи сигнала, поскольку фактически являются эквивалентами электрических контактов. Таким образом, электрический ток может через вход или выход блока протекать в двух направлениях: как вовнутрь блока, так и наружу;

- соединительные линии между блоками являются, по сути, электрическими проводами, по которым ток может протекать также в двух направлениях. В Simulink-моделях же информационный сигнал распространяется только в одном направлении - от выхода одного блока к входу другого;

- Simulink-блоки и SimPowerSystems-блоки не могут быть непосредственно соединены друг с другом. Сигнал от S-блока можно передать к SPS-блоку через управляемые источники тока или напряжения, а наоборот - с помощью

измерителей тока или напряжения;

- несколько линий связи (проводов) могут быть соединены между собой. Для выполнения такого соединения должны использоваться специальные блоки - Connectors (соединители).

При расчете схемы содержащей нелинейные блоки следует использовать методы:

ode15s - многошаговый метод переменного порядка (от 1 до 5), использующий формулы численного дифференцирования,

ode23tb - неявный метод Рунге-Кутты в начале решения и метод, использующий формулы обратного дифференцирования 2-го порядка в последующем, которые дают наилучшие результаты по быстродействию.

Для исследования переходных процессов используем модель наиболее типичного участка электрической сети конвейера.

Собираем модель в системе Simulink состоящую из следующих блоков:

1. Трёхфазный источник электрической энергии со следующими параметрами: $U = 380 \text{ В}$;
2. Выключатель;
3. Асинхронный электродвигатель;

Моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента машины.

Порты модели А, В и С являются выводами статорной обмотки машины, а порты a, b и c - обмотки ротора машины. Порт Tt 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 SimPowerSystems предусмотрен блок MachinesMeasurement Demux.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины приведены к статору.

Исходными данными для расчета параметров машины являются следующие:

$P_H = 55000$ - номинальная мощность [Вт],

$U = 380$ - номинальное линейное напряжение [В],

$f_1 = 50$ - частота сети [Гц],

$n_n = 1470$ - номинальная скорость вращения вала [мин].

$p = 2$ - число пар полюсов,

$n_n = 0,8$ - коэффициент полезного действия [о.е.].

$\cos \varphi = 0.75$ - коэффициент мощности.

$I_a = 23$ - номинальный ток статора [А].

$K_T = 6$ - кратность пускового тока.

$T_{II} = 2$ - кратность пускового момента.

$m_{\max} = 2.2$ - кратность максимального момента.

J - момент инерции [$кг \cdot м^2$].

$S_n = 0,027$ - номинальное скольжение.

Параметры асинхронной машины рассчитываем по следующим выражениям:

$$U = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ - номинальное фазное напряжение [В],}$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ - скорость вращения магнитного поля}$$

(синхронная скорость) [$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$],

$$S_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,0027 \text{ - номинальное скольжение,}$$

$$S_{\text{кр}} = S_n \cdot (m_{\max} + \sqrt{m_{\max}^2 - 1}) = 0,027 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 1,12 \text{ - критическое скольжение,}$$

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ , - скорость вращения магнитного поля}$$

(синхронная скорость) [$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$],

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1470}{30} = 153 \text{ - номинальная угловая скорость вращения}$$

вала [$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$],

$M_n = 368$ - номинальный момент [Нм],

$M_{\max} = m_{\max} \cdot M_n = 2,2 \cdot 368 = 810$ - максимальный момент [Нм],

$M_{II} = m_n \cdot M_n = 2 \cdot 368 = 736$ - пусковой момент [Нм],

$P_{\text{мех}} = 0,027 \cdot P_H = 0,027 \cdot 55000 = 1485$ - механические потери [Вт],

$C = 1,01$ - коэффициент приведения (меньшее значение для машин большей мощности),

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_H + \Pi_{\text{mex}}}{I_H^2 \cdot \frac{1+S_H}{S_H}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{55000 + 1485}{23^2 \cdot \frac{1+0,027}{0,027}} = 0,94 \text{ -приведенное активное}$$

сопротивление ротора [Ом] ,

$$R_s = \frac{U \cdot \cos \varphi \cdot (1-\eta)}{I_H} - C^2 \cdot R_r - \frac{\Pi_{\text{mex}}}{3 \cdot I_H^2} = \frac{220 \cdot 0,75 \cdot (1-0,8)}{23} - 1,01^2 \cdot 0,94 - \frac{1485}{3 \cdot 23^2} = 0,89$$

-активное сопротивление статора [Ом] ,

$$L_{sp} = L_{\text{cp}} = \frac{U}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1+C^2) \cdot k_l \cdot I_H} = \frac{220}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (1+1,01^2) \cdot 6 \cdot 23} = 0,0012 \text{ -приведенная}$$

индуктивность рассеяния статора и ротора [Гн],

$$L_s = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_H \cdot \sqrt{1-\cos^2 \varphi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{\text{max}} \cdot S_H}{p \cdot U} \cdot \frac{S_H}{S_{\text{кр}}}} =$$

$$= \frac{220}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 23 \cdot \sqrt{1-0,5625} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 810}{2 \cdot 220} \cdot \frac{0,027}{1,12}} = 1,071787$$

- индуктивность

статора [Гн],

5.1 Измерительные блоки и блоки вывода информации.

Модель системы электроснабжения в нормальном режиме представлена на рис 2.

В качестве переходного процесса исследуем изменение токов и напряжений в системе при пуске двигателя.

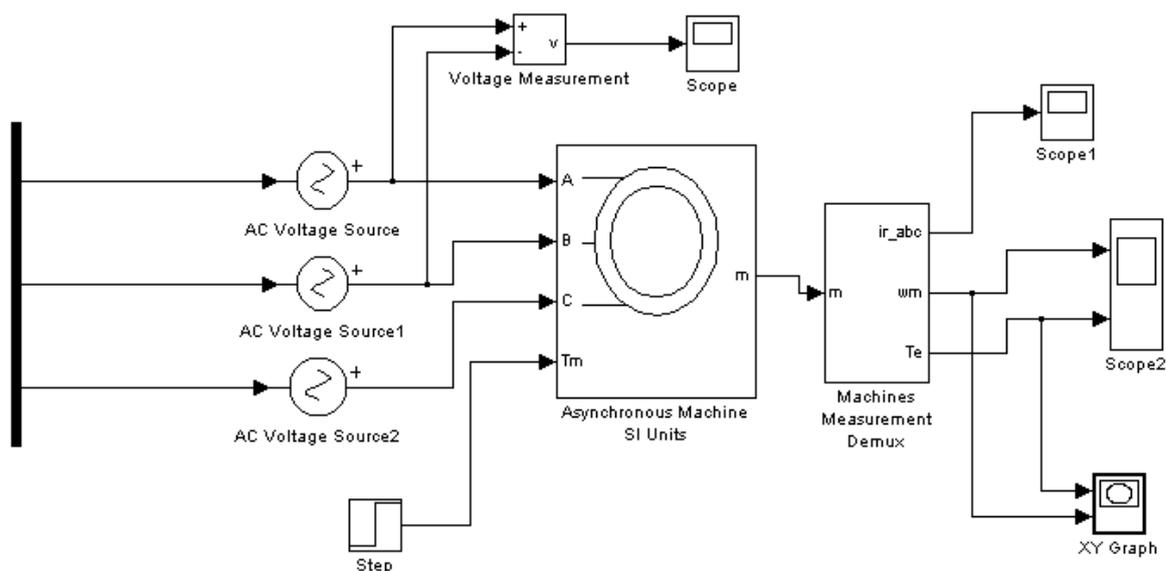


Рисунок 2. Модель электрической системы

Выводы по разделу пять

В данном разделе в результате моделирования получены графики изменения напряжения, тока и частоты вращения двигателя. Полученные значения токов и напряжения согласуются с расчетами, выполненными в четвертом разделе работы.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

6. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМНУ-ТОГО ДВИГАТЕЛЯ

6.1. При управлении от преобразователя частоты с инвертором напряжения.

На основании опыта непосредственной нагрузки имеем:

кратность критического момента

$$\lambda = \frac{M_{kp}}{M_n} = \frac{1112}{368} = 3,03,$$

кратность начального пускового момента

$$K_n = \frac{M_n}{M_H} = \frac{750,7}{368} = 2,04,$$

кратность минимального момента

$$K_{min} = \frac{M_{min}}{M_H} = \frac{669,8}{368} = 1,82.$$

1. Приведенное активное сопротивление обмотки фазы ротора

$$r_2' = 0,151 \text{ Ом.}$$

2. Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$x_k = \sqrt{\frac{U_k^2}{I_k^2} - (r_1 + r_2')^2} = \sqrt{\frac{220^2}{536^2} - (0,09 + 0,151)^2} = 0,368 \text{ Ом.}$$

3. Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора

$$x_1 = \frac{x_k}{2} = \frac{0,368}{2} = 0,184 \text{ Ом.}$$

4. Приведенное индуктивное сопротивление обмотки фазы ротора

$$x_2' = \frac{x_k}{2} = \frac{0,368}{2} = 0,184.$$

5. Активное сопротивление намагничивающей цепи

$$r_0 = \frac{P_0 \cdot 10^3}{3 \cdot I_0^2} - r_1 = \frac{1,74 \cdot 10^3}{3 \cdot 28,16^2} - 0,09 = 0,641 \text{ Ом.}$$

6. Индуктивное сопротивление намагничивающей цепи

$$x_0 = \sqrt{\frac{U_0^2}{I_0^2} - (r_1 + r_0)^2} - x_1 = \sqrt{\frac{220^2}{28,2^2} - (0,09 + 0,641)^2} - 0,184 = 7,6 \text{ Ом.}$$

7. Номинальная частота вращения

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1470}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

8. Расчетный номинальный момент двигателя

$$M_n = 368 \text{ Нм.}$$

9. Синхронная частота вращения при f_{1n}

$$\omega_{1n} = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1510}{30} = 159 \text{ с}^{-1}.$$

10. Номинальное скольжение двигателя при f_{1n}

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$S_n = 0.027.$$

11. Номинальный приведенный ток ротора

$$I'_{2n} = \sqrt{\frac{M_n \cdot \omega_{1n} \cdot S_n}{3 \cdot r'_2}} = \sqrt{\frac{368 \cdot 159 \cdot 0.027}{3 \cdot 0.151}} = 59 \text{ А.}$$

12. Ток намагничивания

$$I_\mu = \sqrt{(I'_{2n} \cdot \sin \varphi_{2n})^2 + I_{1n}^2 - I_{2n}'^2 - I'_{2n} \cdot \sin \varphi_{2n}} = \\ = \sqrt{(59 \cdot 0.8537)^2 + 77.8^2 - 59^2 - 59 \cdot 0.8537} = 20.36 \text{ А,}$$

$$\text{где } \sin \varphi_{2n} = \frac{x'_2}{\sqrt{r_2'^2 + x_2'^2}} = \frac{0.184}{\sqrt{0.151^2 + 0.184^2}} = 0.8537.$$

Сравнение тока I_μ с током холостого хода $I_\mu < I_0$ подтверждает правильность выполненных расчетов.

13. Коэффициент рассеяния статора

$$\tau_1 = \frac{x_1}{x_0} = \frac{0.184}{7.6} = 0.024.$$

14. Коэффициент рассеяния ротора

$$\tau_2 = \frac{x'_2}{x_0} = \frac{0.184}{7.6} = 0.024.$$

15. Общий коэффициент рассеяния

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \cdot \tau_2 = 0.024 + 0.024 + 0.024 \cdot 0.024 = 0.04858.$$

16. Определение величин «b», «c», «d» и «e»

$$b = r_1 \cdot (1 + \tau_2) = 0.09 \cdot (1 + 0.024) = 0.09216 \text{ Ом,}$$

$$c = x_0 \cdot \tau = 7.6 \cdot 0.04858 = 0.3692 \text{ Ом,}$$

$$d = \frac{r_1}{x_0} = \frac{0.09}{7.6} = 0.01184,$$

$$e = 1 + \tau_1 = 1 + 0.024 = 1.024.$$

При этом

$$b^2 = 0.09216^2 = 0.00849,$$

$$c^2 = 0.3692^2 = 0.13631,$$

$$d^2 = 0.01184^2 = 0.00014,$$

$$e^2 = 1.024^2 = 1.04857.$$

17. Критическое скольжение двигателя при f_{1n}

$$S_{кр} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}} = \frac{0.151}{\sqrt{0.09^2 + 0.368^2}} = 0.38.$$

18. Критическое абсолютное скольжение при $\alpha = 1$

$$\beta_{кр(\alpha)} = r'_2 \cdot \sqrt{\frac{d^2 + e^2 \cdot \alpha^2}{b^2 + c^2 \cdot \alpha^2}} = 0.151 \cdot \sqrt{\frac{0.00014 + 1.04857 \cdot 1^2}{0.00849 + 0.13631 \cdot 1^2}} = 0.38.$$

Так как при $\alpha = 1$ $\beta_{кр(\alpha)} = S_{кр}$, то расчет параметров электродвигателя выполнен правильно.

19. Учитывая значения параметров двигателя, коэффициентов рассеяния «b», «c», «d» и «e», получим

								13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					44

$$A(\alpha, \beta) = 0.13631\alpha^2\beta^2 + 0.02391\alpha^2 + 0.00849\beta^2 + 0.02718\alpha\beta + 0.0000032;$$

$$B(\beta) = 0.0228 + 0.03385\beta^2;$$

$$C(\beta) = 0.000395 + 1.04858\beta^2;$$

$$D(\beta) = 0.000395 + 0.04858\beta^2.$$

20. Относительное напряжение для второго закона регулирования $\gamma = f(\alpha, \beta)$

$$\gamma = \frac{\alpha}{1 - 0.07 \sqrt{\frac{C(\beta)}{A(\alpha, \beta)}}}$$

Для первого закона регулирования при $\alpha \leq I$ $\gamma = \alpha$, при $\alpha > I$ $\gamma = I$.

21. Э.д.с. статора $E_1 = f(\alpha, \beta, \gamma)$

$$E_1 = 220 \cdot \gamma \cdot \alpha \sqrt{\frac{B(\beta)}{A(\alpha, \beta)}}$$

22. Ток статора $I_1 = f(\alpha, \beta, \gamma)$

$$I_1 = 220 \cdot \gamma \sqrt{\frac{C(\beta)}{A(\alpha, \beta)}}$$

23. Приведенный ток ротора $I'_2 = f(\alpha, \beta, \gamma)$

$$I'_2 = 220 \cdot \gamma \frac{\beta}{\sqrt{A(\alpha, \beta)}}$$

24. Ток намагничивания $I_\mu = f(\alpha, \beta, \gamma)$

$$I_\mu = 220 \cdot \gamma \sqrt{\frac{D(\beta)}{A(\alpha, \beta)}}$$

25. Момент двигателя $M = f(\alpha, \beta, \gamma)$

$$M = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.151}{159} \cdot \frac{\gamma^2 \cdot \beta}{A(\alpha, \beta)} = 137.8943 \cdot \frac{\gamma^2 \cdot \beta}{A(\alpha, \beta)}$$

26. Относительный момент двигателя

$$M^* = \frac{M}{M'_n} = \frac{M}{368}$$

27. Относительная частота вращения $\omega^* = f(\alpha, \beta)$

$$\omega^* = \alpha - \beta.$$

28. Абсолютная частота вращения $\omega = \omega^* \cdot \omega_{1n}$.

29. Критическое абсолютное скольжение при различных значениях α представлено в таблице 1.

Таблица 1.

α	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.2
β^k	0.14252	0.22184	0.29684	0.37837	0.3784	0.38304

6.2. При управлении от преобразователя частоты с инвертором тока.

1. $r'_2 = 0.151$ Ом; $x_1 = x'_2 = 0.184$ Ом; $x_0 = 7.6$ Ом; $\tau_2 = 0.024$; $I_\mu = 20.36$ А;
 $I'_{2n} = 59$ А.

2. Номинальное значение параметра абсолютного скольжения

$$\beta_n = \frac{m_1 \cdot I_\mu^2 \cdot x_0^2 \cdot r_2'}{2\omega_{1n} \cdot M_n \cdot x_2'^2} \pm \sqrt{\frac{m_1^2 \cdot I_\mu^4 \cdot x_0^4 \cdot r_2'^2}{4\omega_{1n}^2 \cdot M_n^2 \cdot x_2'^4} - \frac{r_2'^2}{x_2'^2}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 20.36^2 \cdot 7.6^2 \cdot 0.151}{2 \cdot 157 \cdot 368 \cdot 0.184^2} \pm \sqrt{\frac{9 \cdot 20.36^4 \cdot 7.6^4 \cdot 0.151^2}{4 \cdot 157^2 \cdot 368^2 \cdot 0.184^4} - \frac{0.151^2}{0.184^2}} =$$

$$= 2.7725 \pm 2.7452;$$

$$\beta_{1n} = 5,521; \beta_{2n} = 0,0273.$$

Так как параметр абсолютного скольжения при номинальном режиме работы не может быть больше единицы, то принимаем $\beta_{2n} = 0,0273$, что соответствует номинальному скольжению двигателя ($S_n = 0,027$).

3. Критическое значение параметра абсолютного скольжения для двигательного режима

$$\beta_{кр} = \frac{r_2'}{x_2'} = \frac{0.151}{0.784} = 0.1926.$$

4. Критическое значение электромагнитного момента для двигательного режима.

$$M_{кр} = \frac{m_1 \cdot I_\mu^2 \cdot x_0^2}{2\omega_{1n} \cdot x_2'^2} = \frac{3 \cdot 20.36^2 \cdot 7.6^2}{2 \cdot 157 \cdot 0.184^2} = 2686.4 \text{ Нм.}$$

Кратность критического электромагнитного момента при $\Phi = const$ и частотнотоковом управлении

$$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_n} = \frac{2686.4}{368} = 7.3.$$

5. Значение пускового момента

$$M_n = \frac{m_1 \cdot I_\mu^2 \cdot x_0^2 \cdot r_2'}{\omega_{1n}} \cdot \frac{\alpha}{r_2'^2 + x_2'^2 \cdot \alpha^2} =$$

$$= \frac{3 \cdot 20.36^2 \cdot 7.6^2 \cdot 0.151}{157} \cdot \frac{\alpha}{0.151^2 + 0.184^2 \cdot \alpha^2} = \frac{690.8\alpha}{0.0228 + 0.034\alpha^2}$$

Расчет пускового момента для различных частот сводим в таблицу 5.

Таблица 5.

α	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
M_n , Н	2686,4	2134,4	1600,8	1251,2	1023,0
M					4
M_n^*	7,3	5,8	4,35	3,4	2,78

Выводы по разделу шесть

В данном разделе произведен расчет характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя.

7. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

7.1. Выбор системы электроснабжения

В соответствии с указаниями Инструкции по проектированию электроустановок угольных шахт рекомендуется проектировать без постоянного дежурного персонала с применением устройств автоматики и сигнализации об аварийных отключениях.

Выбор числа и конструктивного исполнения питающих линий электропередачи 6·220кВ для новых и реконструируемых шахт производится в зависимости от метанообильности, водообильности и климатических условий в районе размещения шахты.

Проектирование электроснабжения следует выполнять исходя из перспектив развития предприятия.

К сетям внутреннего электроснабжения угольных предприятий относятся распределительные сети напряжение 110, 35,6, 10,04/0,23кВ в границах: сборные шины 110,35, 6, 10,04/0,23кВ главной понизительной подстанции (ГПП) – зажимы электроприемников. Эти сети служат продолжением энергосистемы и обеспечивают электроснабжение цехов предприятия, технологических агрегатов и отдельных электроприемников. Конфигурация сетей внутреннего электроснабжения предприятия зависит от:

числа, мощности, напряжения, режима работы основных машин и механизмов;

бесперебойности и степени резервирования приемников и предприятия в целом;

генерального плана предприятия;

характеристики источников питания (напряжение, мощность).

Указанные факторы зависят от: производственной мощности предприятия, количества и расположения стволов, размеров шахтного поля, глубины и водообильности шахты, размеров и формы площади открытых разработок, мощности и т.д.

Сети внутреннего электроснабжения предприятий представляют собой совокупность главных понижающих или распределительных подстанций и распределительных сетей.

В практике эксплуатации угольных предприятий широкое распространение получили две основные схемы распределения электроэнергии: радиальная и магистральная. Предприятие в целом использует комбинированную схему внутреннего электроснабжения, представляющую собой сочетание радиальной и магистральной схем.

При радиальной схеме распределения питающие линии от источника питания (ГПП, РП), к каждому потребителю, распределительному пункту или трансформаторной подстанции выполняются без ответвлений на пути для питания других потребителей.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

При магистральной схеме распределения электроэнергии питание нескольких потребителей осуществляется по одной или нескольким линиям, заводимым в распределительные пункты этих потребителей.

Электроснабжение электроприемников напряжением до 1000В в подземных выработках угольных шахт осуществляется от подземных участковых передвижных подстанций. В последнее время получили некоторое распространение в подземных выработках электроприемники на номинальное напряжение 1140В. Эти потребители также питаются от ПУПП.

В проект заложены два типа участковых подстанций:

- стационарные – для питания электроприемников стационарных механизмов,
- передвижные – для питания электроприемников передвижных машин и механизмов.

Стационарные подстанции устанавливаю в камерах с решетчатой дверью, без притовопожарны дверей. В такой подстанции в установке принимают как сухие трансформаторы во взрывобезопасном исполнении, ток и передвижные трансформаторные подстанции (ПУПП) в количестве от одного до трех.

Для шахт Подмосковного угольного бассейна, где применяется обычная система подготовки шахтного поля – панельная с обработкой длинными столбами, системы электроснабжения заметно отличаются от обычных. Особенности систем электроснабжения в Подмосковном угольном бассейне определяются следующими основными условиями:

1. Шахты не являются опасными по газу или пыли, хотя и находятся на газовом режиме.
2. Глубина залегания пласта 50-70м.
3. Питание потребителей электроэнергии на участке осуществляется напряжением 380В или 660В через скважины от трансформаторных киосков, установленных на поверхности.
4. Транспорт по сборному панельному штреку – электровозный.

При неглубоком залегании пластов (до 400м) в ряде случаев питание подземных электроприемников целесообразно и экономично производить с поверхности через энергетические скважины.

При этом способе питания электроприемников передача электроэнергии осуществляется от ГПП шахты до энергетически скважин по воздушной и кабельной ЛЭП 6-10кВ, а также по воздушным ЛЭП 35-110кВ, от устья энергетических скважин до РПП напряжением 0,66-6кВ по кабельным линиям электропередачи соответствующего напряжения.

Электроснабжение участков через скважину позволяет:

- а) снизить стоимость сетей напряжением 6кВ за счет замены дорогостоящих подземных кабельных линий более дешевой воздушной ЛЭП;
- б) снизить стоимость электрооборудования на напряжение 6кВ за счет применения общепромышленного электрооборудования вместо взрывобезопасного исполнения;
- в) сократить строительство подземных сооружений для РПП-6 и ПУПП;

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ				

г) повысить безопасность обслуживания системы электроснабжения и применения электроэнергии в подземных выработках за счет уменьшения протяженности сетей, что обеспечит защиту от однофазных замыканий на землю.

Применяют способ питания участка через скважину низким напряжением 660В. Участок получает электроэнергию от общешахтной подстанции по ЛЭП –10кВ. На энергоскважине установлен трансформатор ТМ-630кВ·А. От трансформатора по двум кабелям СБ 3х70 электроэнергия поступает в камеру энергоскважины. Рассчитываемый участок представляет собой одну лаву, оборудованную комплексом. Участок работает в 3 смены по добыче угля и одна смена ремонтная.

К недостаткам схемы питания через скважины относятся:

1. необходимость частого перемещения скважин по условиям потери напряжения,
2. необходимость бурения скважин и их закрепления обсадными трубами диаметром 125, 150мм, которые обычно не извлекаются и повторно не используются.

7.2. Расчет электроснабжения очистного участка шахты “Коркинская”

Шахта «Коркинская» относится к 1 категории. Система подготовки шахтного поля – панельная. Система разработки – столбы (1000м) с отработкой от границы панели; мощность пласта 2,2м, угол падения пласта 5°, длина лавы 120м. Способ выемки в лаве – очистной механизированный комплекс. Рабочее напряжение для силовых приемников на участке – 660В, для ручных электросверл и освещения 127В. Данные об остальных приемниках электроэнергии на участке приведены в таблице 1.

7.2.1. Выбор участкового силового трансформатора

Коэффициент спроса при выемке очистным механизированным комплексом

$$K_c = 0,4 + 0,6 \frac{P_{\text{ог. max}}}{\sum P},$$

$$K_c = 0,4 + 0,6 \frac{105}{530,5} = 0,52$$

Расчетная активная нагрузка

$$P_p = K_c \cdot \sum P,$$

$$P_p = 0,52 \cdot 530,5 = 276 \text{ кВт.}$$

Расчетная мощность трансформатора

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$S_{\text{тр-р}} \frac{P_p}{\cos \varphi_{\text{ср}}},$$

$$S_{\text{тр-р}} \frac{276}{0,7} = 394 \text{кВ} \cdot \text{А},$$

Таблица 1

Основные технические данные потребителей электроэнергии участка.

Приемники тока	Установленная мощность, кВт	Номинал. ток, А.	Номинал. К.П.Д.	Номинал. $\cos \alpha$
Очистной комбайн	105	116	0,92	0,86
Скребок конвейер	3x55=165	61	0,88	0,85
Перегрузатель скребок	45	50	0,9	0,86
Насосная станция	2x55=110	61	0,89	0,85
Лебедка ЛШВ	5,5	7	0,88	0,88
Насосы К-60	8x7,5=60	9	0,88	0,87
ЗИФ-ШВ5	40	45	0,9	0,87
Агрегаты пусковые для освещения лавы и штреков	2x4			
Общая установленная мощность	530,5			

С учетом мощности пусковых агрегатов расчетная мощность трансформатора 402кВ·А.

Принимаем передвижную трансформаторную подстанцию типа ТКШВП мощностью 630кВ·А на номинальное напряжение 6000/690В.

Основные технические данные подстанции:

Номинальная мощность 630 кВ·А.

Напряжение х.х. ВН 6000 В.

НН 690 В.

Номинальный ток ВН 60,9 А.

НН 527 А.

Напряжение к.з. 3,5%

Ток х.х. 3%

Потери, Вт

х.х. при номинал. напряжении 2500Вт

к.з. при номинал. нагрузке 4900Вт

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ					

Размеры, мм

Длина	4500
Ширина	1130
Высота от головки рельса	1650
Масса, кг	5200

7.2.2. Выбор сечений кабельной сети по нагреву

Сечение кабеле выбираем по нагреву плотности тока.

Так, для комбайна принимаем гибкий кабель марки КГЭШ сечением $3 \times 35 + 1 \times 10 + 3 \times 4 \text{ мм}^2$.

Учитывая длину лавы 120м, предельное расстояние от лавы до РП или магнитной станции 30м и 10% длины кабеля на провисание, общая длина гибкого кабеля составит $1,1(120+30)=165\text{м}$.

Ток в фидерном кабеле от передвижной трансформаторной подстанции до РП лавы при расчетной нагрузке 280кВт составит

$$J_{к.ф.р.} = \frac{10^3 P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi},$$
$$J_{к.ф.р.} = \frac{10^3 \cdot 276}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,7} = 350 \text{ А.}$$

Этому току, согласно справочнику данных, соответствует двойной полугибкий кабель марки КГЭШ сечением $3 \times 50 \text{ мм}^2$, допускающий нагрузку $2 \times 155 \text{ А} = 310 \text{ А}$, с избытком превышающую расчетную, равную 300А.

Исходя из шага передвижки ПУПП, равного 120м и 5% провисания кабеля, принимает кабель марки КГЭШ сечением $3 \times 50 + 1 \times 10 + 4 \times 4$ стандартной длиной 150м.

Сечение кабелей для остальных приемников принимаем также по условию нагрева, с учетом механической прочности и по условиям потери напряжения.

7.2.3. Расчет участковой сети по потере напряжения при нормальном режиме работы

а) Потеря напряжения в трансформаторе

$$\Delta U_{тр.н.} = \beta (U_3 \cos \varphi + U_p \sin \varphi),$$
$$\beta = S_{тр.р} / S_{тр.н.},$$
$$\beta = 402 / 630 = 0,64,$$
$$\Delta U_{тр.н.} = 0,63(0,6 \cdot 0,7 + 3,45 \cdot 0,7) = 1,8\%$$

или в абсолютных величинах

$$\Delta U_{тр.н.} = 690 \cdot 0,018 = 12 \text{ В.}$$

б) Потеря напряжения в фидерном (магистральном) кабеле

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$\Delta U_{к.ф.} = P(r + x) / U_n,$$

$$\Delta U_{к.ф.} = \frac{276 \cdot 10^3 \left(\frac{0,377 \cdot 0,25}{2} + \frac{0,063 \cdot 0,25}{2} \right)}{660} = 23В.$$

в) Потеря напряжения в гибких комбайновом кабеле

$$\Delta U_{к.з.} = P(r + x) / U_n,$$

$$\Delta U_{к.ф.} = \frac{105 \cdot 10^3 (0,540 \cdot 0,25 + 0,064 \cdot 0,25)}{660} = 24В.$$

г) Общая потеря напряжения во всех элементах сети

$$\sum \Delta U_n = \Delta U_{тр.н} + \Delta U_{к.ф.н.} + \Delta U_{к.з.н.} = 12 + 23 + 24 = 59В.$$

д) Колебания напряжения на зажимах комбайнового двигателя при нормальном режиме

$$\Delta U_{дв.н.} = \frac{660 \cdot 631}{660} 100 = 4,4\% ,$$

что ниже допустимого 5%

7.2.4. Проверка участковой сети на колебания напряжения при пусковом режиме

а) Допустимое минимальное напряжение на зажимах комбайнового двигателя при пуске

$$U_{дв.мин} \geq U_n \sqrt{\frac{R}{a}} = 660 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 70}{122}} = 547.$$

б) В момент, предшествующий запуску электродвигателя, напряжение на шинах РП лавы будет равно

$$631 + 24 = 655В.$$

в) Определение уровня напряжения у двигателя при пуске

$$U_{д.п.ф.} = \frac{U_{рн}}{1 + \sqrt{3} \frac{I_{дв.пн.}}{U_n}} = 555 ,$$

т.е. больше минимального допустимого 547В.

г) Колебания напряжения при пуске

$$\delta U_{дв.н.} = \frac{660 - 555}{660} 100 = 19,9 ,$$

что допустимо.

7.3. Защита кабелей и электрооборудования устанавливаемого в подземных выработках

В соответствии с ПБ в подземных сетях напряжением выше 1140В должно осуществляться защита линий, трансформаторов и электродвигателей от токов к.з.

Для электродвигателей следует предусматривать также защиту от токов перегрузки и нулевую защиту. Во всех случаях отключения сети защитами допускается применение автоматического повторного включения (АВП) однократного действия и устройств автоматического включения аппаратуры с блокировками против подачи напряжения на линии и электроустановки при повреждении их изоляции относительно земли и коротком замыкании.

Применение распределительных коробок без установки на ответвлениях к электродвигателям аппаратов защиты допускается только для многодвигательных приводов при условии, что кабель каждого ответвления защищен от токов к.з. групповым защитным аппаратом.

Кабели, прокладываемые в лаве, должны быть защищены от механических повреждений устройствами, входящими в комплекс, или другими средствами механической защиты кабелей.

Ближайшая к машине часть гибкого кабеля, питающего передвижные машины, может быть приложена по почве на протяжении не более 30м. При работе комбайнов и врубовых машин на пластах мощностью до 1,5м допускается прокладка гибкого кабеля по почве очистной выработки.

Гибкие кабели, находящиеся под напряжением, во избежание их перегрева должны быть растянуты и подвешены. Токовые нагрузки на кабели, которые по условиям эксплуатации должны находиться в бухтах или на барабанах, должны быть снижены на 30% от номинальной.

Выбор устройств релейной защиты, а также расчет и проверка параметров срабатывания этих устройств следует выполнять согласно Инструкции по выбору и проверке электрических аппаратов напряжение 346кВ.

Выводы по разделу семь

В данном разделе произведен выбор системы электроснабжения, участкового силового трансформатора, сечений кабельной сети по нагреву, также произведен расчет электроснабжения очистного участка шахты, участковой сети по потере напряжения при нормальном режиме работы.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

8. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНВЕЙЕРА

При автоматизации конвейерной установки кроме аппаратуры пуска и управления применяются автоматически действующие приборы контроля состояния отдельных узлов конвейера. К ним относятся приборы контроля наличия материала на ленте, мест перегрузки, схода и пробуксовки ленты, натяжение тягового органа и его обрыв.

8.1. Контроль схода ленты

Неправильная загрузка ленточного конвейера и неравномерная вытяжка ленты, плохой монтаж конвейерного става, налипание материала на барабаны и ролики – все приводит к отклонению ленты в сторону и сходу ее с роликкоопор. Для устранения схода ленты применяются разнообразные центрирующие роликкоопоры. Однако практика их использования показала, что существующие конструкции таких роликкоопор не обеспечивают надежного центрирования ленты.

Для контроля схода ленты и отключения конвейера при отклонении ленты применяется аппарат АКЛ-1. Он состоит из двух конечных выключателей, оборудованных рычагом. На рычаге расположен контролирующий ролик, который в нормальном состоянии перекачивается по нерабочей стороне ленты. При отсутствии ленты под роликом рычаг под действием груза поворачивается и переключает контакты выключателя. При этом обесточивается катушка реле РКЛ, которое отключает пускатель конвейера. Аппарат контролирует сход ленты в обе стороны.

8.2. Контроль пробуксовки и обрыва ленты

Для предотвращения длительной пробуксовки ленты применяется аппарат контроля пробуксовки .

Этот аппарат реагирует также на разрыв ленты, нарушение целостности роликкоопор и работы двигателей.

При нормальном движении ленты период полного оборота рычага, закрепленного на оси ведомого барабана конвейера, по времени будет постоянным. Реле времени пробуксовки РВП настраивается таким образом, чтобы время отпускания его замыкающего контакта было несколько больше периода полного оборота рычага. При увеличении времени оборота рычага, что может быть вызвано только пробуксовкой ленты, реле РВП размыкает свой контакт, так как замыкающий контакт конечного выключателя пробуксовки ВКП будет разомкнут дольше, чем время принятой установки реле РВП. В результате размыкание контакта РВП теряет питание катушки пускателя конвейера.

Устройство для контроля пробуксовки ленты отключает конвейер и при обрыве ленты. Однако на наклонном конвейере обрыв ленты ведет к ее

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

сползанию вниз и тяжелой аварии. Поэтому на современных наклонных конвейерах обязательно устанавливаются ловители лент – устройства удерживающие ленту при ее обрыве.

8.3. Учет перемещаемых грузов

Учет перемещаемых грузов является составной частью общей системы управления работой транспортной линии и всегда тесно связан с планированием и оперативным управлением. При полной автоматизации учета все операции по сбору, обработке и выдаче учетной информации выполняются автоматически. Для автоматизации учета в данном случае используем весовой метод учета.

Данный метод предполагает взвешивание без вывода груза из зоны транспортирования. Весоизмерительное устройство в этом случае является составной частью конвейера, что не ведет к снижению производительности конвейерной установки. В качестве высокоизмерительных устройств, встроены в конвейерные линии, широко используются выпускаемые промышленностью ленточные весовые дозаторы непрерывного действия. Используем конструктивно унифицированные весы непрерывного действия предназначенные для автоматического взвешивания. Весы выполнены в виде самостоятельно транспортного механизма.

Усилие от веса материала находящегося на ленте конвейера, подвешенного на четырех подвесках весового механизма к раме передается через систему рычагов на уравновешивающий механизм, состоящий из метрологической пружины, демпфера и двух электрических дифференциально-трансформаторных преобразователей измерения, типа ПД-5.

Каждой массе материала соответствует определенное положение метрологической пружины, и соответственно, плунжеров-преобразователей. Схема измерения построена на приборах частотно-ферродинамической модели. Сигнал одного преобразователя измерения подается на вход измерительного прибора типа ВФС-24-СРР, осуществляющего показания и запись мгновенной производительности. Прибор имеет два выходных преобразователя ферродинамический и частотный сигнал последнего подается на вход частотного сумматора типа С4, показывающего суммарную массу материала, прошедшего через весы.

Выводы по разделу восемь

В данном разделе рассмотрены вспомогательные устройства автоматизированного конвейера.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

9. ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

В процессе работы ленточного конвейера, конвейер загружается неравномерно по его живому сечению. Исследуем этот вопрос на примере регулирования скорости ленточного конвейера.

Окружное усилие $W_0 = 125821$ соответствует 100% загрузке конвейера по его сечению.

При этом крутящий момент и мощность на тяговом барабане определяем

$$M = \frac{W_0 D}{2} = \frac{125821 \cdot 0,5}{2} = 31455,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
$$N = \frac{W_0 U}{2} = \frac{125821 \cdot 1,25}{2} = 157,3 \text{ кВт}.$$

Для исследования влияния загрузки конвейера и его скорости на технико-экономические показатели введем понятие степени загрузки ленты по сечению

$$\psi = Fl / F = \text{от } 0 \text{ до } 1,$$

При этом уравнение окружного усилия принимает вид

$$W_0 = a + B\psi,$$

a – усилие на протягивание тягового органа,

B – усилие на транспортировку угля,

$$a = 24650 \text{ Н},$$

$$B = 101237.$$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

В качестве технико-экономических показателей возьмем следующие три показателя:

- 1) Потребляемая мощность установки
- 2) КПД установки
- 3) Энергоемкость установки

Потребляемую мощность выразим формулой

$$N_{\Sigma} = N_u + N_z.$$

КПД установки представим в виде

$$\eta = \frac{N_z}{N_{\Sigma}}.$$

Энергоемкость установки

$$E = \frac{N_{\Sigma}}{Q}.$$

Для конвейера с нерегулируемой скоростью при $U=1,25$ при $\psi = 1$ будут иметь:

Мощность:

$$N_u = 24650 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 30,8 \text{ кВт},$$

$$N_z = 101237 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 126,6 \text{ кВт},$$

$$N_{\Sigma} = 157,4 \text{ кВт}.$$

КПД:

$$\eta = 0,8.$$

При частичной загрузке конвейера его КПД снижается:

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

$$\eta = \frac{126,6\psi}{126,6\psi + 30,8},$$

Таблица 1

ψ	0,1	0,25	0,5	0,75	1
η_i	0,29	0,51	0,67	0,75	0,8

Энергоемкость:

$$E = \frac{24650 + 101266\psi}{3600 \cdot 60 \cdot \psi},$$

Таблица 2

ψ	0,1	0,25	0,5	0,75	1
E	1,6	0,92	0,7	0,62	0,58

Для конвейера с регулируемой скоростью в функции его постоянной загрузки по сечению ленты, т.е. $U = \text{var}$ при $\psi = 1$ будем иметь

Мощность:

$$N_1 = 24650 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 30,8 U_l / U_{\max},$$

$$N_2 = 101237 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 126,6 U_l / U_{\max},$$

$$N_{\Sigma} = 157,4 U_l / U_{\max}.$$

которые изменяются по линейному закону, т.е. КПД

$$\eta = \frac{126,6}{157,4} = 0,8,$$

и остается величиной постоянной во всем диапазоне регулирования скорости.

Энергоемкость:

$$E = \frac{30,8 + 126,6}{60 \cdot 3600} = 0,58 \text{ кВт} / \text{ч}.$$

Также остается величиной постоянной и минимальной во всем диапазоне регулирования скорости. Приведенные вычисления представлены в виде графиков.

Проектом предусматривается увеличение добычи угля в связи с внедрением нового конвейера до 1000 т/сут.

Ожидаемую себестоимость 1т угля определим по состоянию цен на 1 октября 2001г и сравним ее с фактической средней себестоимостью участка с нагрузкой 520 т/сут.

Участковая себестоимость 1т угля складывается из затрат по заработной плате, материалам, электроэнергии и амортизации.

Расход лесных материалов на 1000т добычи угля планируется в объеме 4,2м³. Цена 1 кубометра лесных материалов 1500руб. Общий расход материалов составит 126м³.

Стоимость лесных материалов:
1500х126=189000 руб.

Себестоимость 1т угля по участку по затратам «лесные материалы»
189000/30=6,3 руб.

Износ, погашение и прочие материалы планируются в размере 0,5 руб.

Себестоимость 1т угля по «зарплатной плате» 5,35 руб.

Себестоимость 1т добычи угля по статье «амортизация» 3,24 руб.

Планируются затраты по электроэнергии 0,9 руб.

Общая себестоимость 1т угля по элементу «материалы» составит:
6,3+0,5=6,8 руб.

Общая участковая себестоимость составит:
6,8+0,9+5,35+3,24=16,29 руб.

При нагрузке 1000т в сутки расчетная экономия затраты на 1т добычи угля определится:

$$28,58-16,29=12,29 \text{ руб.}$$

Годовая экономия составит:

$$355 \text{ т.т.} \cdot 12,29 \text{ руб} = 4362 \text{ тыс. руб.}$$

Основные технико-экономические показатели в сравнении с действующим участком

№	Наименование показателей	Ед. изм. т/сут	Действующ. участок	Планируемый участок
1	Добыча угля	Т/сут	520	1000
2	Нагрузка: месячная годовая	тыс.т.	15	30
		тыс.т.	185	355
3		т/мес	205	366
4	Себестоимость 1т. угля	руб.	28,58	16,29
5	Годовая экономия	тыс. руб	4362	

Данные для расчета взяты на шахте «Коркинская» из экономического и планового отделов.

Выводы по части девять

В данном разделе рассмотрены технико-экономические показатели.

									Лист
									59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ				

10. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

10.1. Анализ опасных и вредных факторов

Шахта является сверхкатегорийной по выделению газа и опасной по внезапным выбросам угля и газа. Все угольные пласты, разрабатываемые на шахте, опасные по взрывам пыли и являются высокометаносными. При этом пласт «Мощный» с отметки –350 м и пласт «Тройной» с отметки –500 м являются опасными по внезапным выбросам угля и газа, а пласт «Четвёртый» с отметки –800 м – угрожаемый. Кроме того, все три пласта являются опасными по горным ударам соответственно с отметок –65, –270 м.

Выделение ядовитых газов в атмосферу шахты происходит только при буровзрывных работах.

Породы шахты содержат более 10 % свободного кремнезёма, поэтому выработки, пройденные по породе, относятся к силикозоопасным.

10.2. Разработка устройств по очистке вентиляционных и промышленных выбросов от газов и пыли

В качестве основных мероприятий по борьбе с выделениями метана предусматривается эффективное проветривание горных выработок и дегазации пластов.

Борьба с метаном ведется в следующих направлениях:

- исключение образования взрывоопасных метановоздушных смесей;
- сокращение метановыделения в горные выработки;
- предотвращение возможности воспламенения и взрывов метана.

Основным источником метановыделения является выработанное пространство участка, которое определяется в основном метановыделением из пластов-спутников. Каптаж метана из пластов-спутников производят подземными скважинами, пробуренными с фланговых выработок, в зонах, разгруженных от горного давления.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

На шахте работают вакуум-насосные станции, оборудованные насосами типа НВ-50 и ЖВН-50, с помощью которых по системе подземных скважин и дегазационных трубопроводов из пластов-спутников и выработанного пространства выдается основная масса метановоздушной смеси для утилизации метана (сжигание в котлах котельной шахты).

Для ликвидации местных и слоевых скоплений метана необходимо применение вентиляторов местного проветривания пульсирующего действия. Местные скопления метана в лаве ликвидируются воздушными эжекторами.

Контроль за концентрацией метана во всех выработках осуществляется с помощью аппаратуры автоматического действия АМТ-3 и СММ-1, индивидуальных сигнализаторов метана СШ-2 и «Сигнал», газоанализаторов периодического действия ШИ-10, ШИ-11.

Проветривание выемочных участков производится с полным обособленным разбавлением метана по источникам его выделения.

Проветривание проходческих забоев осуществляется с помощью вентиляторов местного проветривания (ВМП) в комплексе с аппаратурой «Ветер – 1М», обеспечивающей непрерывный контроль за работой ВМП.

Комплекс «Метан» применяется для выдачи информации на диспетчерский пункт и отключения ячеек распределительных пунктов в аварийных ситуациях.

Для снижения запылённости атмосферы в шахте предусмотрен комплекс мероприятий для борьбы с угольной и породной пылью, который включает в себя: использование гидрозабойки при буровзрывных работах, осланцевание, установка водяных завес, обмывка, связывание осевшей пыли, увлажнение угля в массиве, орошение.

Для локализации взрывов угольной пыли устанавливаются водяные или сланцевые заслоны, которыми изолируются очистные и подготовительные забои, откаточные выработки, крылья шахтного поля, конвейерные выработки, склад ВВ, выработки околоствольного двора. Количество инертной пыли в заслоне определяется из расчета 400 кг/м^2 площади поперечного сечения выработки в свету, длина заслона должна быть не менее 20 м. Количество воды и число сосудов водяного заслона определяется из расчета 400 л/м^2 площади поперечного сечения выработки в свету, длина водяного заслона – не менее 30 м.

В качестве индивидуальных средств защиты при работах в очистных и подготовительных забоях, выполнении работ в нишах и на исходящей струе из лавы применяются респираторы. Респираторами должны быть обеспечены все рабочие, а также ИТР участка. На каждом участке ведётся учёт проводимых мероприятий по борьбе с пылью.

Для осаждения взвешенной в воздухе пыли необходимо устройство

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

водяных завес в местах образования пыли и на исходящей струе участка.

Для борьбы с пылью при проведении взрывных работ необходимо применение водяных завес и гидрозабойки, создаваемой взрыванием заряда ВВ в полиэтиленовых сосудах с водой.

У погрузочно-разгрузочных пунктов, у перегрузочных пунктов на конвейерных линиях один раз в смену производится обмывка горных выработок. В конвейерных выработках очистных участков и в подготовительных выработках обмывка производится раз в сутки.

Для повышения зольности осевшей угольной пыли производится осланцевание выработок.

10.3. Расчет и проектировка заземляющего устройства

Электрооборудование в штреке, где расположен ленточный конвейер получает питание от понижающего трансформатора ТМ-400 кВ·А-6/0,4кВ. Сеть 380В имеет изолированную нейтраль. Грунт в штреке – глина. Величина удельного электрического сопротивления грунта, неизвестна. Шахта расположена в 3 климатической зоне.

Анализ опасности поражения электрическим током показывает, что в штреке есть возможность прикосновения человека к металлическим корпусам электрооборудования, поэтому проектируемый конвейер обязательно заземляется.

По ПУЭ нормативное значение сопротивления $R_{\text{норм}}$ не более 2 Ом.

Для устройства искусственных заземлителей имеются трубы длиной 1,5 м, диаметром 30 мм. Стенки труб имеют 20 отверстий диаметром 5мм. Труба помещается в шпур на глубину 1,4 м.

По справочнику выбираем значение для глины $\rho = 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$,

$$\rho = \rho_{\text{пр}} \psi ,$$

где ρ – удельное объемное сопротивление грунта растеканию тока, Ом·м;

$\rho_{\text{пр}}$ – приближенное значение удельного сопротивления грунта, Ом·м;
 ψ – коэффициент сезонности,

$$\rho_{\text{Г}} = 40 \cdot 1,5 = 60 \text{ Ом},$$

$$\rho_{\text{З}} = 40 \cdot 1,8 = 72 \text{ Ом}.$$

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Определяем сопротивление растеканию тока одиночного горизонтального заземлителя (опоры) по формуле:

$$R_{1 \text{ опоры}} = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d},$$

где l – длина горизонтального заземлителя, м;

d – наружный диаметр заземлителя, м,

$$R_{1 \text{ опор.}} = \frac{72}{\pi \cdot 1} \ln \frac{2 \cdot 1}{0,1} = 69 \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление всех горизонтальных опор с учетом их числа и коэффициента использования по формуле:

$$R_{\text{всех опор}} = \frac{R_{1 \text{ опоры}}}{n_{\text{опор}} \eta_n},$$

где R_3 – сопротивление всех вертикально установленных заземлителей, Ом;

R_1 – сопротивление одиночного заземлителя, Ом;

n – число заземлителей;

η_3 – коэффициент использования вертикальных заземлителей,

$$R_{\text{всех опор}} = \frac{69}{75 \cdot 0,25} = 3,7 \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление растеканию тока одиночного вертикального заземлителя по формуле:

$$R_{\text{верт.труб}} = \frac{\rho_3 \cdot \psi_3}{2\pi L_3} \left(\ln \frac{2L_3}{d_3} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_3 + L_3}{4t_3 - L_3} \right),$$

где L_3 – длина заземлителя, м;

d_3 – диаметр заземлителя, м;

t_3 – глубина заземлителя, м;

$t_3 = t_0 + L_3/2$,

где t_0 – расстояние от поверхности земли до верхнего края заземлителя, м,

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$R_{\text{верт.}} = \frac{72}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 1,5}{0,03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,25 + 1,5}{4 \cdot 1,25 - 1,5} \right) = 37 \text{ Ом.}$$

Рассчитываем общее сопротивление всех вертикально установленных заземлителей с учетом их числа и коэффициента использования:

$$R_{\text{всех труб}} = \frac{R_{\text{верт. труб}}}{n_{\text{тр}} \cdot \eta},$$

где $R_{\text{всех труб}}$ – сопротивление всех вертикально установленных заземлителей, Ом;

$R_{\text{верт. труб}}$ – сопротивление одиночного заземлителя, Ом;

$n_{\text{тр}}$ – число заземлителей;

η – коэффициент использования вертикальных заземлителей,

$$R_{\text{всех труб}} = \frac{37}{10 \cdot 1} = 3,7 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем общее сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{з.у}}$, состоящего из и вертикально забитых в землю труб и горизонтальных опор по формуле:

$$R_{\text{з.у.}} = \frac{R_{\text{всех.опор}} R_{\text{всех.труб}}}{R_{\text{всех.опор}} + R_{\text{всех.труб}}},$$

$$R_{\text{з.у.}} = \frac{3,7 \cdot 3,7}{3,7 + 3,7} = 1,8 \text{ Ом.}$$

Полученное сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{з.у.}} = 1,8 \text{ Ом}$ удовлетворяет требованиям ПУЭ, т.е. не превышает 2 Ом.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

10.4. Пожарная безопасность

Согласно требований [16], каждая шахта, с целью подготовки к ликвидации возможных пожаров, должна быть обеспечена противопожарной защитой, для чего составляются проекты противопожарной защиты.

В проекте противопожарной защиты шахты предусмотрено использование для пожаротушения всех действующих водоотливных магистралей, водопроводов, специальных противопожарных трубопроводов и ёмкостей. На поверхности шахты располагается пожарный водоём и насосная установка, сеть противопожарного трубопровода, закольцованная с общешахтным трубопроводом. По всем действующим выработкам проложен противопожарный став, на котором через каждые 50 метров устанавливаются пожарные краны; в местах возможного возникновения пожара (электрооборудование, механизмы, сопряжения выработок) находятся средства пожаротушения – огнетушители, ящики с песком, инертной пылью, несгораемое полотно.

На поверхности шахты и на каждом действующем горизонте в специальных камерах оборудованы специальные противопожарные склады и поезда. Каждый поезд и склад, согласно [16], укомплектованы специальным оборудованием, средствами и материалами пожаротушения. Для локализации пожаров устья стволов и камеры с электрооборудованием оборудуются противопожарными дверями.

Основные мероприятия противопожарной защиты:

прямоточная обособленная схема проветривания очистных и подготовительных работ;

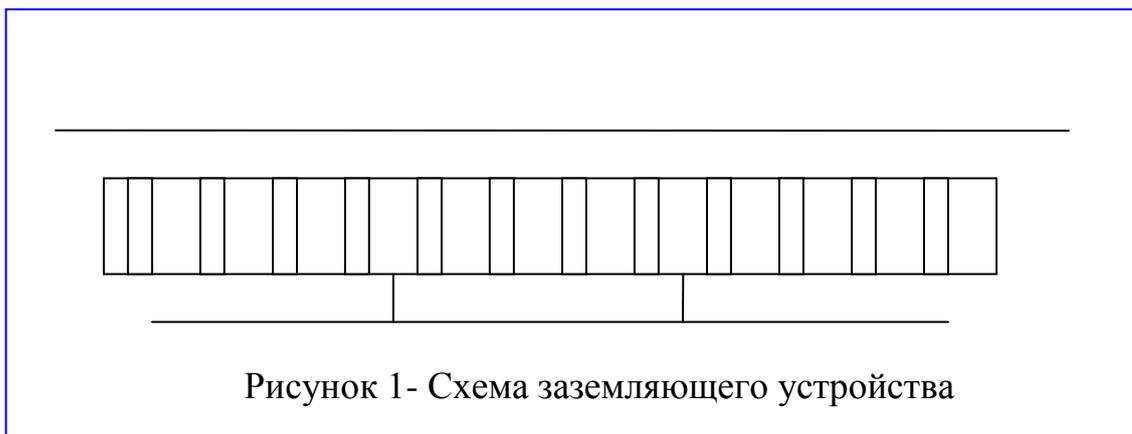
выемка пластов без оставления промежуточных целиков;

для крепления подземных выработок применяются металлическая и железобетонная крепь;

все проходческие забои, действующие лавы, стационарные установки, электроустановки оборудуются средствами пожаротушения: песок (инертная пыль), огнетушители и др.;

для строительства шахтных зданий и сооружений используются несгораемые материалы и конструкции.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65



10.5. Охрана окружающей среды

На шахте для предупреждения динамических явлений применяется комплекс мероприятий:

а) мероприятия по предупреждению горных ударов и внезапных выбросов: бесцеликовая выемка угля, первоочередная отработка пласта «Четвертого», система разработки длинными столбами с поддержанием выработок на границе массив – выработанное пространство, дегазация пласта «Тройного» с защитного пласта «Четвертого», увлажнение угольного массива обрабатываемых пластов, ведение очистных работ по пласту «Тройному» в защищенной зоне, применение гидроотжима или гидрорыхления опережающих полостей при проведении подготовительных выработок;

б) технологические мероприятия, направленные на снижение опасности газодинамических явлений: проведение горных выработок узким забоем, управление кровлей полным обрушением, узкозахватная выемка в очистных забоях, проведение выработок по рабочим пластам проходческими комбайнами, отказ от применения БВР по углю;

в) мероприятия по обеспечению безопасности рабочих при ведении работ на опасных пластах.

Выводы по части десять

В данном разделе произведен расчет и проектировка заземляющего устройства, описана пожарная безопасность, охрана окружающей среды.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) произведена модернизация автоматизированного электропривода ленточного конвейера 2ЛТ-80

В процессе работы над ВКР выполнен расчёт электропривода, выбран электродвигатель, произведён обзор и выбор электропривода. Выполнен статический и динамический расчёт электропривода. Все технологические требования в ходе проектирования были выполнены.

Представлен расчет характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя при управлении от преобразователя частоты с инвертором напряжения и тока.

Приведена модернизация системы электроснабжения участка ленточного конвейера.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности. Произведена идентификация и анализ опасностей и вредностей при эксплуатации данного станка. Разработаны мероприятия по снижению опасностей и вредностей на организм человека, проведена оценка пожаробезопасности. Оценено воздействие процессов механической обработки металлов на окружающую среду и способы ее защиты.

Выполнено экономическое обоснование модернизации, в ходе которого была рассчитана экономия на годовых эксплуатационных издержках при внедрении модернизированного оборудования, срок окупаемости и рентабельность капитальных вложений.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессекерский и др. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978, 512 с.
2. Борисов Б.Д., Костюк В.С., Фащиленко В.Н. Частотно-токовое управление асинхронным электроприводом привода добычных машин. Известия вузов. Горный журнал, 1981, №8, 95 с.
3. Костюк В.С., Цереслегин Н.Г., Шитилов Ю.В., Фащиленко В.Н. Автоматизированный электропривод. – М.: МГИ, 1981, 83 с.
4. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. М.: Энергия, 1971, 326 с.
5. Справочник по автоматизированному электроприводу/Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шилиянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983, 616с.
6. Шахмейстер Л.Г., Солод Г.И. Подземные конвейерные установки. – М.: Недра, 1976, 432 с.
7. Шахмейстер Л.Т., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. 2-е изд. перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1987г. 336с.
8. Волотковский С.А. Электроснабжение угольных шахт. М., 1984г.
9. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. – М: Энергия 1974г.
10. Зеленский О.В. Петров А.С. Справочник по проектированию ленточных конвейеров. –М. Недра, 1986г.
11. Конвейеры. Справочник/ Р.А. Волков и др. Под общ. Ред. Ю.А. Пертена. – Л. Машиностроение, Ленинг. отделение, 1984г.
12. Справочник по шахтному транспорту. Под ред. Г.Я. Пейсаховича М. Недра, 1977г.
13. Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. – Л. Энегргоиздат, 1982г.
14. Справочник по электрическим машинам: в 2т. /Под редакцией Копылова И.П., Клакова Б.К. –М.: Энергоатомиздат, 1988-455с.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

15. Шахмейстер Л.Т., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров.

1-е изд. перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1987г. 336с.

16. Правила безопасности в угольных шахтах: –Самара, Самарский дом печати,

1995. – 292 с.

					13.03.02.2018.998.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69