

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**  
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»  
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_/А.Н. Шишков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

**ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-148 ВКР**

**Руководитель, должность**

\_\_\_\_\_/М.А. Григорьев/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Автор**

студент группы  П-476

\_\_\_\_\_/А.Д. Голиков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Нормоконтролер, должность**

\_\_\_\_\_/Т.А. Функ/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

## АННОТАЦИЯ

Голиков А.Д. Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90т. – Челябинск: ЮУрГУ, П-476; 2017, 61 с., 16 ил., 13 табл., библиографический список – 26 наименований.

В ходе дипломного проектирования был разработан электропривод и спроектирована система автоматизации подъема мостового крана г/п 90т.

Выбрано электрооборудование системы управления электроприводом, включающее в себя асинхронный двигатель переменного тока краново-металлургической серии 4AM1280S4Y2; преобразователь частоты: Commander SE, силовое и вспомогательное оборудование.

В дипломном проекте приведены вопросы безопасности жизнедеятельности, в которых рассмотрели показатели надежности и безопасности при эксплуатации.

В экономической части дипломного проекта выполнен расчет затрат на разработку системы управления асинхронным двигателем механизма главного подъема.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Голиков А.Д.				<b>Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Григорьев						4	61
Реценз						<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

## СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	4
Содержание	5
Введение	7
1 Описание технологического процесса	9
1.1 Краткая характеристика механизма подъема мостового крана	9
1.2 Условия работы и общая техническая характеристика электрооборудования механизма подъема мостового крана	11
1.3 Требования	14
2 Выбор силовой части электропривода	20
2.1 Выбор двигателя	20
2.2 Выбор преобразователя частоты	23
2.3 Статические характеристика электропривода	26
2.4 Расчет переходных процессов	24
2.5 Проверка ПЧ по перегрузочной способности и по нагреву	30
3 Синтез системы управления	32
3.1 Выбор структуры	32
3.2 Расчет параметров регуляторов	35
3.3 Настройка контура регулирования скорости	35
4 Раздел автоматики	37
4.1 Схема подключения Commander SE	37
4.2 Программирование	38
4.3 Дополнительные устройства	39
4.4 Система управления	41
5 Экономическая часть	44
5.1 Введение в экономическую часть	44
5.2 Расчет затрат на проектирование	44
6 Безопасность жизнедеятельности	53
6.1 Размещение оборудования	53
6.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов	53

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

6.3	Микроклимат цеха.	54
6.4	Освещение	55
6.5	Площадки и лестницы	55
6.6	Устройства безопасности	56
6.7	Электробезопасность	56
6.8	Обслуживание электроприводов	58
6.9	Пожарная безопасность	58
	Заключение	59
	Литература	60
	Приложения. Спецификация	62

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

## ВВЕДЕНИЕ

Крановое электрооборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Подавляющее большинство грузоподъемных машин изготовляемых отечественной промышленностью, имеет привод основных рабочих механизмов, и поэтому действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового оборудования.

Перемещение грузов, связанное с грузоподъемными операциями, во всех отраслях народного хозяйства, на транспорте и в строительстве осуществляется разнообразными грузоподъемными машинами. Грузоподъемные машины служат для погрузочно-разгрузочных работ, перемещения грузов в технологической цепи производства или строительства и выполнения ремонтно-монтажных работ с крупногабаритными агрегатами. Грузоподъемные машины с электрическими приводами имеют чрезвычайно широкий диапазон использования, что характеризуется интервалом мощностей приводов от сотен ватт до 1000 кВт.

Мостовые краны в зависимости от назначения и характера выполняемой работы снабжают различными грузозахватными приспособлениями: крюками, грейферами, специальными захватами и т.п. Мостовой кран весьма удобен для использования, так как благодаря перемещению по крановым путям, располагаемым в верхней части цеха, он не занимает полезной площади.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременным режимом работы при большей частоте включения, широким диапазоном регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы.

В крановом электроприводе начали довольно широко применять различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радио каналу или одному проводу.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов. Эти машины используются во многих отраслях народного хозяйства в металлургии, строительстве, при добыче полезных ископаемых, машиностроении, транспорте, и в других отраслях.

Развитие машиностроения, занимающиеся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства страны.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## 1.1 Краткая характеристика механизма подъема мостового крана

1.1.1 Электрические подъёмные краны - это устройства служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов. Подвижная металлическая конструкция с расположенной на ней подъемной лебёдкой являются основными элементами подъёмного крана. Механизм подъемной лебёдки приводится в действие электрическим двигателем.

Подъемный кран представляет собой грузоподъемную машину циклического действия, предназначенную для подъема и перемещения груза, удерживаемого грузозахватным устройством (крюк, грейфер). Он является наиболее распространенной грузоподъемной машиной, имеющей весьма разнообразное конструктивное исполнение и назначение.

1.1.2 Мостовой кран (рисунок 1.1) представляет собой мост, перемещающийся по крановым путям на ходовых колесах, которые установлены на концевых балках. Пути укладываются на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонны цеха.

Механизм передвижения крана установлен на мосту крана. Управление всеми механизмами происходит из кабины прикрепленной к мосту крана.

1.1.3 Питание электродвигателей осуществляется по цеховым троллеям. Для подвода электроэнергии применяют токосъемы скользящего типа, прикрепленные к металлоконструкции крана. В современных конструкциях мостовых кранов токопровод осуществляется с помощью гибкого кабеля. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

### 1.1.4 Любой современный грузоподъемный кран в соответствии с

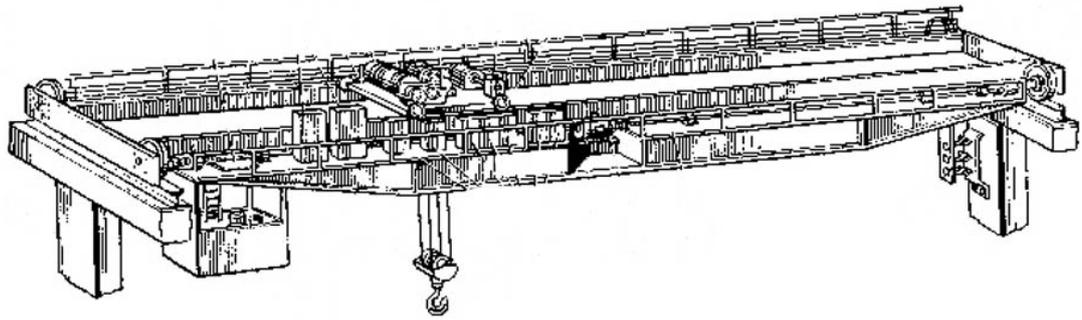
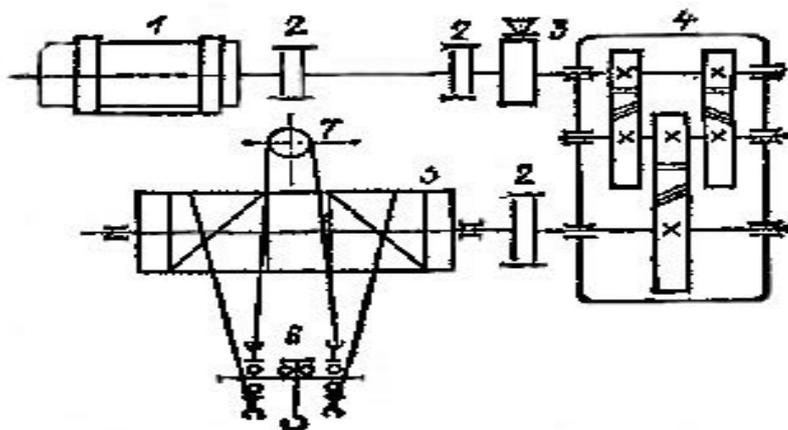


Рисунок 1.1 – Общий вид мостового крана

требованиями безопасности, может иметь для каждого рабочего движения в трех плоскостях, следующие самостоятельные механизмы: механизм подъема - опускания груза, механизм передвижения крана в горизонтальной плоскости и механизмы обслуживания зоны работы крана (передвижения тележки).

1.1.5 По заданию проекта необходимо спроектировать и электрооборудование и электропривод для механизма подъема.

1.1.6 Кинематическая схема механизма подъема крана приведена на рисунке 1.2



1 - двигатель; 2 - муфта; 3 - тормоз; 4 - редуктор; 5 - барабан; 6 - полиспаст; 7 - неподвижный блок полиспасты  
Рисунок 1.2 - Кинематическая схема механизма подъема главного крюка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1303.02.2017.13-148ПЗ

Лист

10

1.1.7 Грузоподъемные машины изготавливают для различных условий использования по степени загрузки, времени работы, интенсивности ведения операций, степени ответственности грузоподъемных операций и климатических факторов эксплуатации. Эти условия обеспечиваются основными параметрами грузоподъемных машин. К основным параметрам механизма подъема относятся:

- грузоподъемность;
- скорость подъема крюка;
- режим работы;
- высота подъема грузозахватного устройства.

Номинальная грузоподъемность - масса номинального груза на крюке или захватном устройстве, поднимаемого грузоподъемной машиной.

Скорость подъема крюка выбирают в зависимости от требований технологического процесса, в котором участвует данная грузоподъемная машина, характера работы, типа машины и ее производительности.

Режим работы грузоподъемных машин цикличен. Цикл состоит из перемещения груза по заданной траектории и возврата в исходное положение для нового цикла.

Все многообразие грузоподъемных кранов охвачено восемью режимными группами 1К-8К. Классификация механизмов по группам режимов работы осуществляется по параметрам суммарного времени работы механизмов за срок службы и степени усредненного нагружения крана.

1.2 Условия работы и общая техническая характеристика электрооборудования механизма подъема мостового крана

1.2.1 Повышенная опасность работ при транспортировке поднятых грузов требует при проектировании и эксплуатации соблюдение обязательных правил по устройству и эксплуатации подъемно-транспортных машин:

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

- В схеме управления предусматривают максимальную защиту, отключающую двигатель при перегрузке и коротком замыкании.
- Нулевая защита исключает самозапуск двигателей при подаче напряжения после перерыва в электроснабжении.
- Для безопасного обслуживания электрооборудования, находящегося на ферме моста, устанавливают, блокировочные контакты на люке и двери кабины.
- При открывании люка или двери напряжение с электрооборудования снимается.
- Предусматривается также установка конечных выключателей, предотвращающих наезд механизмов в случае работы двух и более кранов на одном мосту
- На механизмах подъема и передвижения правилами по устройству и эксплуатации предусмотрена установка ограничителей хода, которые воздействуют на электрическую схему управления
- Конечные выключатели механизма подъема ограничивают ход грузозахватывающего приспособления вверх, а выключатели механизмов передвижения моста и тележки ограничивают ход механизмов в обе стороны. Исключение составляют установки со скоростью движения до 30 м/мин.
- Крановые механизмы должны быть снабжены тормозами закрытого типа, действующими при снятии напряжения

1.2.2 На крановых установках допускается применять рабочее напряжение до 500 В, поэтому крановые механизмы снабжают электрооборудованием на напряжения 220, 380, 500 В переменного тока и 220, 440 В постоянного тока.

1.2.3 При работе крана происходит постоянное чередование направления движения крана, тележки и крюка. Так, работой механизма подъема состоит из процессов подъема и опускания груза и процессов

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

передвижения пустого крюка. Для увеличения производительности крана используют совмещение операций: Время пауз, в течение которого двигатель не включен и механизм не работает, используется для навешивания груза на крюк и освобождение крюка, для подготовки к следующему процессу работы механизма. Каждый процесс движения может быть разделен на периоды неустановившегося движения (разгон, замедление) и период движения с установившейся скоростью.

1.2.4 Мостовой кран установлен в литейном цеху металлургического производства, где наблюдается выделение пыли, поэтому электродвигатель и все электрооборудование мостового крана требует защиты общепромышленного исполнения не ниже IP 53 - защита электрооборудования от попадания пыли, а также полная защита обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями, а также защита электрооборудования от капель воды падающих под углом  $60^{\circ}$  к вертикали.

1.2.5 Кабина управления краном выполняется теплоизолированной, в ней также оборудуется установка для кондиционирования воздуха, т.к. краны литейных цехов работают непрерывно при интенсивном использовании оборудования, наличием высокой температуры окружающей среды и излучением теплоты от раскаленного или расплавленного металла.

Учёт режима работы крана при проектировании и выборе электрооборудования определяет энергетические показатели и надёжность при эксплуатации крановой установки. Правилами Госгортехнадзора предусматривается четыре режима работы механизмов: лёгкий - Л, средний - С, тяжёлый - Т, весьма тяжёлый - ВТ.

1.2.6 Электрооборудование механизмов подъема и передвижения должно быть способно формировать ускорения (замедления), возникающие при пуске, регулировании скорости и остановке в соответствии со следующими значениями:

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

В таблице 1.1 приведены исходные данные механизма главного подъема

Таблица 1.1-Механизм главного подъема

Общие сведения, наименование параметра, размерность	Величина
Высота подъема, м	12,5
Грузоподъемность	90 т
Скорость подъема, м/мин	6
Допустимое ускорение подъема, м/с <sup>2</sup>	0,04...0,05
Характеристики электродвигателя	Асинхронный с к/з ротором
Продолжительность включения, ПВ%	40
Напряжение, В	380
Частота, Гц	50
Вид охлаждения	без принудительного охлаждения
Степень защиты	IP44
Количество, шт	1
Исполнение	Горизонтальное на лапах
Количество силовых концов вала, шт.	1
Вводные сальники на фланце коробки	+
Класс изоляции обмоток	F
Напряжение антиконденсатного подогрева, В	230
Термодатчик	+
Цифровой датчик скорости на один двигатель, шт.	1

### 1.3 Требования

#### 1.3.1 Требования к электроснабжению:

○ Электропитание электрооборудования крана должно осуществляться от источника надежного питания переменного тока ЗАС N+PE напряжением 380 В ( $\pm 10\%$ ), частотой 50 Гц ( $\pm 0,1$  Гц) с

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

глухозаземленной нейтралью. Качество электроэнергии должно соответствовать ПУЭ и ГОСТ 13109;

○ Исходные данные на проектирование токоподвода к крану и требования по установке элементов системы подавления помех со стороны питающей сети должны быть дополнительно разработаны.

○ Напряжение цепей управления:

▪ переменное 220 В ( $\pm 10\%$ ) АС (допускается 220 В DC, 380 В АС);

▪ постоянное 24В DC;

○ Питание на электрооборудование крана должно подаваться через вводное устройство;

○ Электроприводы должны сохранять работоспособность (без поддержания нормируемых параметров) при кратковременном (до 60 с) снижении напряжения питания до 80% номинального значения при номинальной частоте сети и номинальной нагрузке двигателя;

○ Кратковременное (до 0,1 сек) пропадание одной из фаз не должно вызывать сбоев в работе приводов там, где это технически возможно;

○ Система управления должна сохранять рабочее состояние при кратковременных (менее 1сек) пропаданиях питающего напряжения.

### 1.3.2 Требования к освещению:

○ напряжение подкранового освещения - 220В АС;

○ ремонтное освещение - не более 50 В АС;

○ напряжение освещения в шкафах - не более 50 В АС.

### 1.3.3 Требования к преобразователям частоты.

○ Для управления двигателями должны быть применены комплектные статические полупроводниковые преобразователи частоты, размещенные в необходимом количестве шкафов;

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15



○ Частотные преобразователи должны быть оборудованы операторскими сервисными панелями, которые обеспечивают отображении информации по диагностике неисправностей, текущих параметрах электропривода, готовности к включению, наличию питающих напряжений и пр.;

○ Статическая ошибка скорости не более 1%.

#### 1.3.4 Требования к СУ:

○ Система управления на основе одиночного PLC.

○ Все модули ввода – вывода дискретных сигналов должны быть рассчитаны на напряжение 24В и не должны содержать релейных контактов внутри.

○ Должно быть предусмотрено устройство для ведения протокола событий, связанное с PLC непосредственно либо через полевою шину, содержащее кольцевой энергонезависимый буфер размером не менее 1 Гбайт

○ Должен быть установлен независимый источник питания программируемого логического контроллера, обеспечивающий работу PLC при потере напряжения питания крана в течение 10 мин

○ Датчики, используемые в СУ должны быть малочувствительны к условиям повышенной запыленности (т.е. применение оптических датчиков и емкостных должно быть обоснованно и согласовано).

○ Датчики должны быть устойчивы к воздействию интенсивной вибрации

○ СУ должна обеспечивать:

- Управление энергопотребителями крана и контроль состояния силовых цепей. Информация об отказах и срабатываниях защит заносится в энергонезависимый циклический буфер

- Непрерывный контроль датчиков безопасности. Информация о срабатывании датчиков заносится в энергонезависимый циклический буфер

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

- Ограничение грузоподъемности основного и вспомогательного подъема с помощью независимого блока с функцией регистратора параметров

- Контроль и регистрацию данных о функционировании частотных преобразователей

Информация об отказе частотных преобразователей либо о превышении тока двигателя более чем на 20% выше номинального заносится в энергонезависимый циклический буфер

- Обработку и регистрацию команд оператора  
все действия оператора, ведущие к изменению состояния электрооборудования, заносится в энергонезависимый циклический буфер

- Управление частотными преобразователями и получение диагностической информации от них.

- Подсчет суммарного времени работы каждого механизма (счетчик моточасов)

- Пуск приводов подъемов с начальным моментом для исключения просадки груза;

- Контроль превышения скорости для приводов подъемов;

- Самодиагностику;

- Управление системой с различными уровнями доступа

▪ Первый, самый низкий уровень доступа – оператор – только управление краном и просмотр сообщений системы

▪ Второй уровень – обслуживающий персонал – просмотр содержимого циклического буфера.

▪ Третий уровень – специалисты Поставщика – изменение критических настроек системы.

### 1.3.5 Требования к блокировкам, обеспечиваемым СУ

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

○ СУ должна обеспечивать контроль последовательности фаз, при нарушении которой кран или электропривод автоматически должен отключаться от сети либо должна автоматически исправляться последовательность фаз.

○ СУ должна быть оборудована устройством контроля замыкания «на землю». Информация о срабатывании контрольного устройства выводится на пульт управления.

В СУ крана использованы следующие блокировки.

○ Автоматическая блокировка, запрещающая передвижение тележек и крана при достижении крайних положений.

○ Автоматическая блокировка достижения механизмов подъема крайнего верхнего или крайнего нижнего положения грузозахватными органами.

○ Автоматическое наложение тормозов всех механизмов при отключении электропитания крана.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

## 2 ВЫБОР СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1 Выбор двигателя

#### 2.1.1 Расчет зависимостей момента и скорости рабочего органа от времени

а) Момент статический:

$$M_c = \Delta M_{\text{мех}} + M_{\text{тр1}} + M_{\text{тр2}} + m_{\text{гр}} \cdot g \cdot R,$$

где  $M_{\text{тр1}}$  – момент трение в подшипниках;

$M_{\text{тр2}}$  – момент трение качения;

$M_{\text{мех}}$  – момент сопротивления механический;

$m_{\text{гр}}$  – масса груза;

$g = 10 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;

$R = 613 \text{ мм}$  – радиус выходного барабана редуктора главного движения

Так как величина  $M_{\text{тр1}}$ ,  $M_{\text{тр2}}$ ,  $M_{\text{мех}}$  незначительная по сравнению с  $m_{\text{гр}} \cdot g \cdot R$ , то в расчетах при выборе двигателя не учитываются.

$$M_c = 90000 \cdot 10 \cdot 0,613 = 551700 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

б) Момент динамический:

$$M_{\text{дин ро}} = m_{\text{гр}} \cdot a_{\text{доп}} \cdot R,$$

где  $a_{\text{доп}} = 0,045 \text{ м/с}^2$  – допустимое ускорение;

$$M_{\text{дин ро}} = 90000 \cdot 0,045 \cdot 0,613 = 2482 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

в) Время пуска/торможения:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = V / a_{\text{доп}},$$

где  $V = 0,1 \text{ м/с}$  – скорость подъема.

$$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = 0,1 / 0,045 = 2,22 \text{ с}.$$

Среднее время установившегося режима работы:

$$t_{\text{р}} = h / V = 12,5 / 0,1 = 125 \text{ с},$$

где  $h = 12,5 \text{ м}$  – высота подъема;

г) Угловая скорость:

$$\omega_{\text{ро}} = V / R;$$

$$\omega_{\text{ро}} = 0,1 / 0,613 = 0,16 \text{ рад/с};$$

Угловое ускорение:

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$\varepsilon = a_{\text{лон}}/R;$$

$$\varepsilon = 0.045/0.613 = 0.073 \text{ м/с}^2.$$

д) Пусковой/тормозной момент:

$$M_{\text{Ппо}} = M_{\text{Тпо}} = M_{\text{динпо}} = 2482 \text{ Н*м.}$$

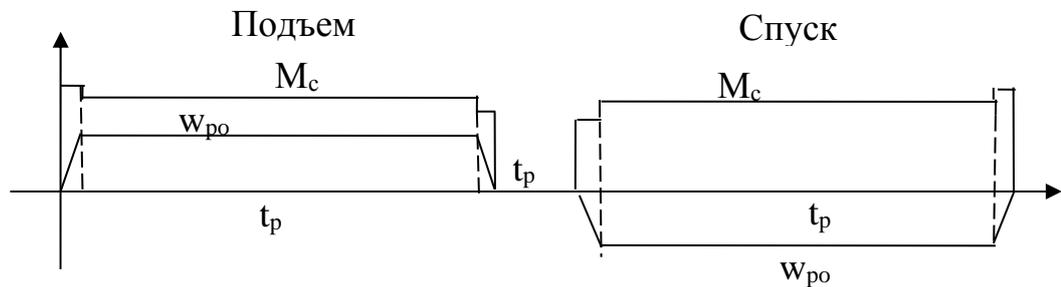


Рисунок 2.1 - Зависимости момента и скорости рабочего органа от времени

Принимаем время паузы между подъемом и спуском равной времени  $t_p$

Так как  $M_{\text{динпо}}$  и время пуска и торможения незначительны по сравнению с  $M_c$  и  $t_p$ , то время пуска и торможения, а также  $M_{\text{динро}}$  примем равными нулю.

### 2.1.2 Предварительный выбор мощности двигателя

а) Мощность двигателя:

$$P_{\text{двпредв}} = K_3 \cdot M_{\text{сркв}} \cdot \frac{w_{\text{po}}}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_\phi}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}},$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса ( $K_3 = 1,1 \dots 1,5$ );

$\eta$  – КПД передачи рабочий орган – двигатель ( $\eta = 0.9$ );

ПВ – продолжительность включения ( $\text{ПВ}_\phi = \text{ПВ}_{\text{кат}} = 40\%$ );

$M_{\text{сркв}}$  – среднеквадратичный момент;

$w_{\text{po}}$  – установившаяся скорость;

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{M_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}} = 444919 \text{ Нм};$$

$$P_{\text{двпредв}} = 1,1 \cdot 44491 \cdot 0,16 / 0,9 \cdot 1 = 108 \text{ кВт.}$$

При выборе двигателя необходимо выполнение условия:

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{двпредв}}.$$

Выбран асинхронный двигатель переменного тока краново-металлургической серии 4АМ1280S4У2 при ПВ = 40% мощностью 110 кВт, данные двигателя приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Данные двигателя

Мощность, кВт	110
Номинальное напряжение, В	380
Частота, Гц	50
Номинальный ток статора, А	202
Номинальная скорость, об/мин	470
cosφ	0,74
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	12,25
$M_{\text{пуск}}/M_{\text{номин}}$	1.6
$I_{\text{пуск}}/I_{\text{номин}}$	5.5
$M_{\text{макс}}/M_{\text{номин}}$	2.4

б) Номинальный момент двигателя

$$M_H = P_H / \omega_H;$$

$$M_H = 110 \cdot 10^3 / (470 \cdot 3.14 / 30) = 2240 \text{ Н·м.}$$

### 2.1.3 Выбор редуктора

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя  $\omega_H$  и основной скорости движения исполнительного органа  $V$ ,

$$j_p = \frac{\omega_H \cdot R}{v} = \frac{47 \cdot 0,613}{0,1} = 180.$$

С учетом требуемого передаточного числа, номинальной мощности и скорости выбранного двигателя выбран 3-х ступенчатый редуктор RAF – 180 (передаточное число: 180).

2.1.4 Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции системы:

$$J_{\text{пр}} = \delta \cdot J_{\text{д}} + \frac{m_{\text{гр}} \cdot R^2}{j_p^2},$$

где  $J_d = 12,25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  - момент инерции ротора двигателя;

$\delta = 1.5$  - коэффициент, учитывающий момент инерции остальных элементов электропривода: муфт, тормозного шкива, редуктора и др.

$$J_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 12,25 + \frac{90000 \cdot 0,613^2}{180^2} = 19,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

2.1.5 Динамический момент, обеспечивающий возможность разгона и торможения с заданным допустимым ускорением:

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{пр}} \cdot \varepsilon = 19,4 \cdot 0,073 \cdot 180 = 255 \text{ Нм}.$$

2.1.6 Проверка двигателя по нагреву

а) Проверка двигателя по нагреву произведена методом эквивалентного момента ( $M \equiv I$ )

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}} = \sqrt{\frac{3065^2 \cdot 125 + 3065^2 \cdot 125}{375}} = 2220 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{э}} = 2220 \leq 2236 \text{ Нм}.$$

Как видно из неравенства двигатель удовлетворяет условию нагрева.

2.2 Выбор преобразователя частоты

2.2.1 Допускает работу двигателя при номинальной скорости с преобразователями частоты с автономными инверторами (ПЧИ) осуществляют преобразование напряжения питающей сети в напряжение постоянного тока, а затем в трёхфазное напряжение регулируемой частоты.

2.2.2 Выбор преобразователя зависит от частоты питающей сети, требуемого диапазона изменения частоты на выходе преобразователя, определенного диапазоном изменения скорости вращения двигателя, от мощности двигателя, диапазона изменения нагрузки на валу двигателя, наличия или отсутствия реверса, режимов работы двигателя.

Диапазон изменения частоты преобразователя должен быть не менее требуемого диапазона изменения частоты питания двигателя.

Преобразователь двукратным током нагрузки.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Выбор преобразователя осуществляется по каталогам электротехнической промышленности на основе номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{нл}};$$

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{лн}},$$

где  $U_{\text{нл}}$ ,  $I_{\text{лн}}$  – соответственно номинальное линейное напряжение и фазный ток двигателя;

$U_{\text{нпч}}$ ,  $I_{\text{нпч}}$  – соответственно номинальное линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты.

2.2.3 Промышленные преобразователи частоты комплектуются собственными силовыми трансформаторами. Выходное напряжение подобных преобразователей, как правило, стабилизировано с высокой точностью внутренними обратными связями, что позволяет не учитывать внутреннее сопротивление преобразователя при расчёте механических характеристик двигателя.

2.2.4 На основе вышеизложенных требований к преобразователю был выбран преобразователь частоты типа COMMANDER SE мощностью 110 кВт.



Рисунок 2.2 –  
Преобразователь  
частоты  
Commander SE

2.2.5 Преобразователь частоты переменного тока Commander SE, рассчитанный на работу с асинхронными двигателями мощностью 0.25-110 кВт. Чрезвычайно прост в установке, настройке и эксплуатации, обладает отличным соотношением цена/качество. Может использоваться для управления практически любыми типами общепромышленных механизмов. Оснащен дополнительными функциями управления, расширяющими его возможности.

Общая информация Commander SE

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

➤ Преобразователи частоты Commander SE предназначены для регулирования частоты вращения асинхронных двигателей мощностью от 0.25 до 110 кВт;

➤ Изготавливаются на высокоавтоматизированном современном предприятии в Англии – фирмой Control Techniques, только из Brand Name компонентов и материалов, что гарантирует высокую надежность и большой ресурс.

#### 2.2.6 Техническая информация Commander SE

➤ Напряжение питания три фазы 380..480 В;

➤ Выходная частота 0..1000 Гц.

➤ Перегрузка по току 150% номинального тока в течение 1 мин.

➤ Векторное и скалярное управление.

➤ На верхнем уровне параметров преобразователя находится программируемая логика, компараторы, ПИД-регулятор, цифровой потенциометр, управление вторым двигателем, счетчик потребляемой энергии и ее стоимость и т.д.

➤ Последовательный интерфейс RS-485.

➤ Автонастройка преобразователя.

➤ Питание электропривода осуществляется от трёхфазной сети переменного тока напряжением 380 В частоты 50 Гц.

#### 2.2.7 Особенности преобразователей Commander SE

➤ Реализуют частотный и векторный способы управления (при векторном управлении без использования датчика) скорости диапазон частоты вращения не хуже 1:50, стабильности частоты вращения - в пределах (1...1.5) %.

➤ В векторном режиме регулировка момента 1:20, точность поддержания момента - не менее 3%.

➤ Автотестирование и определение параметров двигателя.

Встроенный ПИД-регулятор. Имеется источник питания внешнего датчика напряжением 25 В с нагрузочной способностью до 100 мА.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Таблица 4.2 – Технические данные преобразователя частоты Commander SE

Модель	SE53403000
Напряжение и частота питания переменного тока	3 фазы от 380 до 480В ±10%, от 48 до 62 Гц
cosφ	>0.97
Номинальная мощность двигателя, кВт	110
Среднеквадратичное значение выходного тока, А	250
Ток при перегрузке 150% в течение 60 секунд, А	375
Потери мощности привода при частоте коммутации 6кГц, Вт	950
Температура окружающей среды, °С	-10...+40
Максимальная влажность, %	95
Точность настройки частоты, %	0.01
Диапазон частот на выходе, Гц	0-1000
Число включений в час	20
Степень защиты	IP20
Масса, кг	42

### 2.3 Статические характеристика электропривода

По номинальным данным двигателя и преобразователя частоты произведём расчет механической и электромеханической характеристики электропривода.

Расчёт и построение данных характеристик произведён в программе HARAD.

Для построения данных графиков нужно найти активные и индуктивные сопротивления цепи ротора и статора асинхронного двигателя. Их можно рассчитать по формулам:

Активное сопротивление статора:

$$r_1 = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_{0H} \cdot M_k} - r_2' \cdot S_k;$$

где  $U_1$  – фазное напряжение на статоре;

$\omega_{0H}$  – синхронная скорость двигателя;

$M_k$  – критический момент двигателя;

$S_k$  – критическое скольжение;

$r_2$  – активное сопротивление ротора, которое равно:

$$r_2 = \frac{M_{\text{п}} \cdot w_{\text{OH}}}{3 \cdot I_{\text{п}}^2};$$

где  $M_{\text{п}}$ - пусковой момент двигателя;

$I_{\text{п}}$  – пусковой ток двигателя.

Индуктивное сопротивление статора и ротора:

$$x_1 = x_2 = \frac{x_k}{2};$$

Индуктивность в роторе при критическом скольжении:

$$x_k = \sqrt{r_2^2 \cdot S_k^2 - r_1^2}$$

Критическое скольжение находится по формуле:

$$S_k = S_H \cdot \left( \frac{M_k}{M_H} + \sqrt{\frac{M_k}{M_H} - 1} \right);$$

где  $S_H$  – номинальное относительное скольжение;

Номинальное скольжение находится по формуле:

$$S_H = \frac{w_{\text{OH}} - w_H}{w_{\text{OH}}};$$

$$S_H = \frac{52 - 49}{52} = 0.05;$$

$$S_k = 0.05 \cdot (2.4 + \sqrt{2.4 - 1}) = 0.18$$

$$r_2 = \frac{3577 \cdot 52}{3 \cdot 1111^2} = 0.05 \text{ Ом};$$

$$r_1 = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 52 \cdot 2236 \cdot 2.4} - 0.05 \cdot 0.18 = 0.25 \text{ Ом};$$

$$x_k = \sqrt{0.05 \cdot 0.18^2 - 0.25^2} = 0.24 \text{ Ом};$$

$$x_1 = x_2 = \frac{0.24}{2} = 0.12 \text{ Ом}.$$

Естественную механическую  $\omega(M)$  и электромеханические характеристики асинхронного двигателя  $\omega(I_1)$ ,  $\omega(\Gamma_2)$ ,  $\omega(I_{\mu})$  (соответственно зависимости частоты вращения ротора  $\omega$  от тока статора  $I_1$ , от тока ротора  $I_2$ , от тока намагничивания  $I_{\mu}$ ) рассчитываем с

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27



изменяется порядок следования фаз напряжения на статорной обмотке, вызывая реверсирование двигателя.

Расчёт переходных режимов необходим:

- для определения времени и характера их протекания;
- для оценки их соответствия требованиям технологического процесса рабочего органа;
- для оценки механических и электрических перегрузок;
- для правильного выбора мощности двигателя, преобразователя и аппаратуры управления.

Нагрузочные диаграммы, построенные для переходных и установившихся режимов работы электропривода, дают возможность проверить выбранный двигатель по условиям заданной производительности, по нагреву, кратковременной перегрузке и условиям пуска. Они используются также для проверки преобразователя по допускаемым нагрузкам.

На характер переходного процесса оказывают существенное влияние механическая инерция электропривода, жёсткость механической передачи, электромагнитная инерция обмоток двигателя и элементов преобразователя.

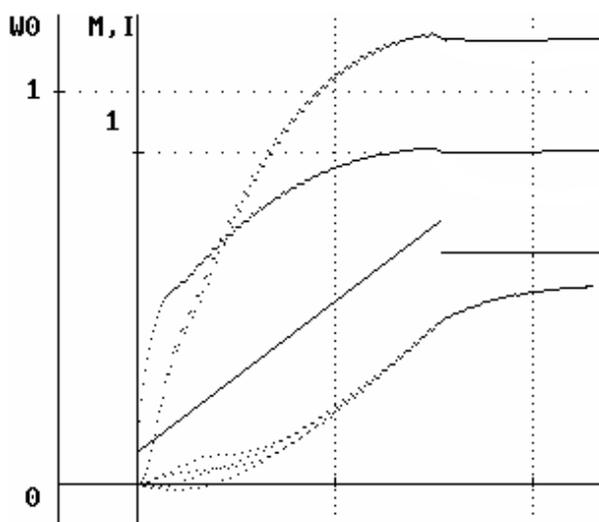


Рисунок 2.4 – Переходный процесс начала подъема груза

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.5 Проверка ПЧ по перегрузочной способности и по нагреву

Проверку выбранного двигателя по нагреву следует выполнять методом эквивалентного тока:

$$I_э = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}},$$

где  $I_i$  – среднеквадратичное значение тока на  $i$ -ом участке;

$\Delta t_i$  – длительность  $i$ -ого участка работы;

$\beta_i$  – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;

$I_{\text{доп}}$  – допустимый по нагреву ток.

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывают коэффициентом ухудшения теплоотдачи  $\beta_i$ , который в зависимости от скорости вращения принимает значения:

$$\beta_i = \beta_0 \quad \text{при} \quad 0 \leq \omega \leq 0,2 \cdot \omega_n;$$

$$\beta_i = \frac{1 + \beta_0}{2} \quad \text{при} \quad 0,2 \cdot \omega_n \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_n;$$

$$\beta_i = 1 \quad \text{при} \quad \omega \geq 0,8 \cdot \omega_n.$$

Так как по конструктивному исполнению выбранный двигатель закрытый без принудительного охлаждения, то значение коэффициента  $\beta_0 = 0,95$ , учитывая, что  $\omega_n = 49,2$ , то выражения можно записать следующим образом.

$$\beta_i = 0.35 \quad \text{при} \quad 0 \leq \omega \leq 9,84;$$

$$\beta_i = 0.675 \quad \text{при} \quad 9,84 \leq \omega \leq 39,36;$$

$$\beta_i = 1 \quad \text{при} \quad \omega \geq 39,36.$$

Допустимый ток рассчитывают через представленное в каталоге значение допускаемого тока  $I_{\text{кат}}$  для каталожной ПВ<sub>к</sub>, ближайшей к фактической ПВ<sub>ф</sub>, полученной по результатам расчёта нагрузочных диаграмм:

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{к}}}{ПВ_{\text{ф}}}} = 202 \cdot \sqrt{\frac{40}{40}} = 202 \text{ А};$$

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{207^2 \cdot 1.5 + 125 \cdot 202^2 + 207^2 \cdot 1.5}{0.32 \cdot 0.3 + 1 \cdot 0.675 + 125 \cdot 1 + 0.32 \cdot 0.3 + 1 \cdot 0.675}} = 201.52 \text{ А.}$$

Условие выполняется:  $201.52 < 202$  Отсюда следует, что выбранный двигатель по нагреву проходит.

Проверка двигателя на кратковременную перегрузку заключается в сравнении пиковых значений токов и моментов с максимально – допустимыми значениями тока и момента выбранного двигателя.

Проанализировав нагрузочные диаграммы (таблица б) следует, что наибольший момент  $M_{\text{макс}} = 2238 \text{ Н}\cdot\text{м} < M_{\text{доп}} = 5366 \text{ Н}\cdot\text{м}$  значит, выбранный двигатель проходит по кратковременной перегрузке.

## 2.6 Проверка преобразователя частоты

Проверка номинального тока

$$I_{\text{э}} \leq I_{\text{н}};$$

$$201,52 \text{ А} \leq 250 \text{ А.}$$

Проверка тока перегрузки

$$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{макс}}_{\text{пч}};$$

$$207 \text{ А} \leq 350 \text{ А}$$

## 3 СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### 3.1 Выбор структуры

#### 3.1.1 Требования технологического процесса

Для статического режима прямоугольная механическая характеристика, содержащая два участка:

- участок поддержания заданного значения скорости в диапазоне допустимого изменения рабочих нагрузок;
- участок ограничения момента при перегрузках привода со стороны рабочего механизма.

3.1.2 Наиболее распространенной структурой управления в электроприводах переменного тока остается системой подчиненного регулирования (рисунок 3.1), в котором контур регулирования момента КРМ охвачен внешним контуром регулирования скорости. Внешний контур содержит регулятор скорости РС (с блоком ограничения), датчик обратной связи по скорости ДОС, а звеном Д учитываются динамические свойства механических звеньев электропривода (вращающихся масс якоря с присоединенными механической передачей и рабочим механизмом).

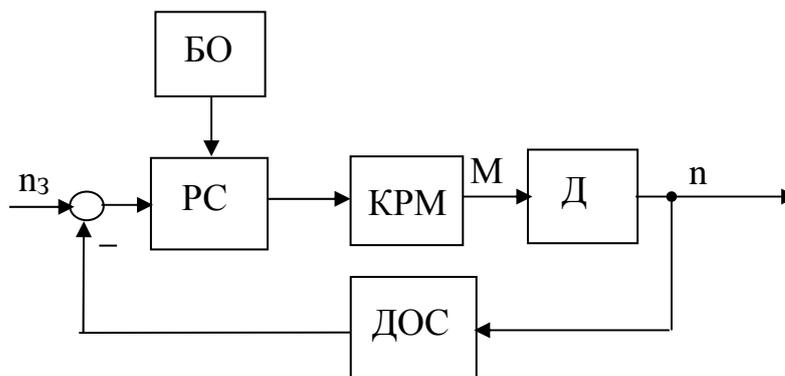


Рисунок 3.1 – Структурная схема электропривода с подчиненным регулированием координат

3.1.3 Появление микропроцессорных средств позволило вычислять переменные состояния электропривода, недоступные для прямого измерения и реализовать законы управления более эффективные.



Как правило, фирмы-изготовители электрооборудования не считают обязательным раскрывать алгоритмы функционирования отдельных блоков более подробно, чем это представлено на рисунке 3.2. Поэтому настройку внутренних контуров выполнить не удастся.

Для более глубокого понимания процессов, происходящих в системе управления, рассмотрим подробнее один из возможных вариантов работы модели асинхронного двигателя.

Будем исходить из упрощенной модели двигателя, для чего примем

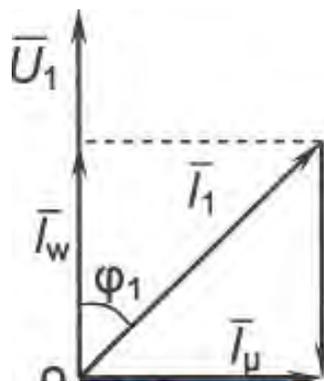


Рисунок 3.3 - Упрощенная векторная диаграмма асинхронного двигателя

ряд допущений. Прежде всего, считаем, что асинхронный двигатель работает в режимах малых скольжений, когда цепь ротора можно принять чисто активной, а вектор приведенного тока ротора  $I_2$  равнопротивоположен вектору  $I_w$ . Это вполне допустимо, так как в номинальном режиме отклонение вектора тока  $I_2$  от ЭДС ротора  $E_2$  не превышает 10...15 градусов.

Далее, не будем учитывать падение напряжения в обмотке статора, тогда можно принять ортогональность векторов напряжения на статоре и тока намагничивания. С учетом сказанного принята векторная диаграмма асинхронного двигателя (рисунок 3.3), которая является основой для описания электромагнитного состояния двигателя.

Уравнения, описывающие состояние двигателя, с учетом принятых допущений выглядят следующим образом.

Уравнение связи между напряжением на статоре и током намагничивания:

$$U_1 \approx E_1 = K_1 \cdot f_1 \cdot I_\mu \cdot$$

Уравнение токов в асинхронном двигателе:

$$I_2 \approx I_w = \sqrt{(I_1^2 - I_\mu^2)} \cdot$$

Закон Ома для цепи ротора:

$$I_2 \approx \frac{K_2 \cdot I_{\mu} \cdot s}{r_2}$$

Наконец, связь между частотой напряжения на статор  $f_1$ , угловой скоростью  $n$  ротора и скольжением  $s$  дается уравнением:

$$f_1 = n + s.$$

Здесь  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты пропорциональности;  $r_2$  - активное сопротивление роторной цепи.

Данный способ управления и предлагает выбранный преобразователь частоты.

### 3.2 Расчет параметров регуляторов

Как видно из рисунка 3.2 внутренний контур регулирования момента сложен для расчета, поэтому его принимаем его за апериодическое звено с постоянной времени  $T_{КРМ} = 0.015$  с, с единичным коэффициентом усиления в относительных единицах.

Тогда схема расчета контура регулирования момента изображена на рисунке 3.4.

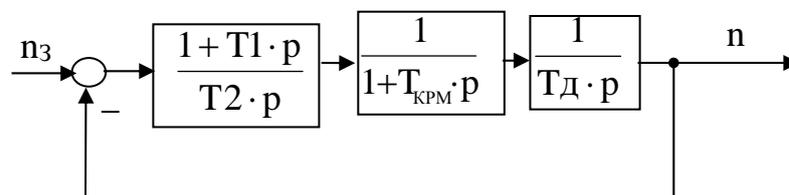


Рисунок 3.4 – Расчетная схема

### 3.3 Настройка контура регулирования скорости

3.3.1 Механическая постоянная времени  $T_D$  двигателя, учитывающего на структурной схеме механическую инерцию вращающихся масс двигателя и механизма.

$$T_D = (J_D + J_M) \cdot \frac{n_0}{M_H} = (12.25 + 7) \cdot \frac{52}{2236} = 0.45 \text{ с,}$$

где  $J_D$ ,  $J_M$  – момент инерции двигателя и рабочего механизма.

3.3.2 Для достижения прямоугольной механической характеристики Возьмем ПИ – регулятор скорости, для поддержания заданной точности скорости. Тогда коэффициент пропорциональности ПИ регулятора скорости равен:

$$K_{PC} = \frac{T_D}{3 \cdot T_{KPM}} = 10,$$

где  $K_{PC}$  – коэффициент пропорциональности ПИ регулятора скорости.

Согласно правилу технического оптимума найдем величину  $T_2$ :

$$\frac{1}{T_2} \leq \frac{1}{T_{PC} \cdot 3},$$

где  $T_{PC} = 3 T_{KPM} = 0.045$  с – постоянная времени регулятора скорости.

Тогда  $T_2 = 3 \cdot T_{PC} = 3 \cdot 0.045 = 0.135$  с.

Тогда  $T_1 = K_{PC} \cdot T_2 = 1.35$  с.

### 3.3.3 Частотные характеристики

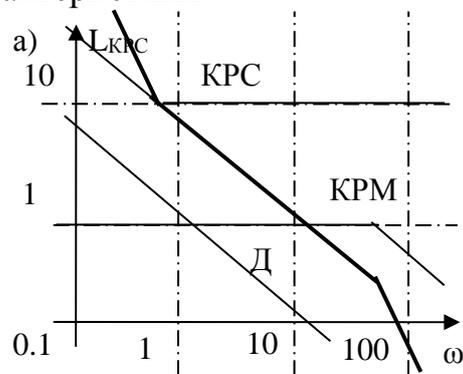


Рисунок 3.5 – ЛАЧХ

## 4 РАЗДЕЛ АВТОМАТИКИ

### 4.1 Схема подключения Commander SE

4.1.1 Схема подключения состоит из двух частей: схемы подключения силовой части и схемы подключения цепей управления. Схема подключения силовой части представлена на рисунке 4.1, схема подключения цепей управления на рисунке 4.2.

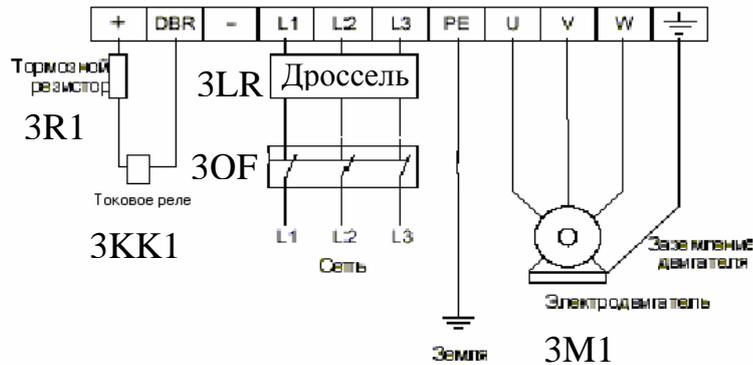


Рисунок 4.1 – Схема подключения силовой части

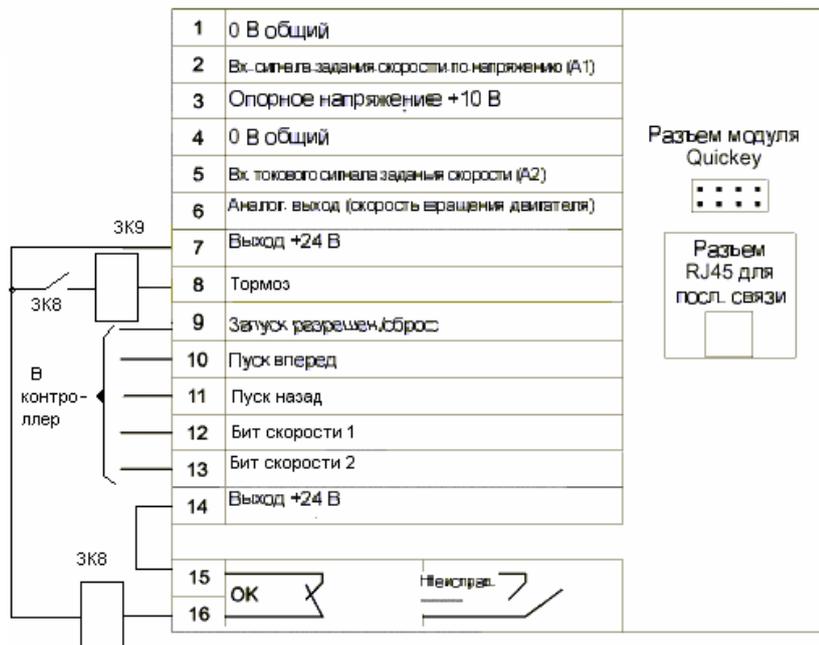


Рисунок 4.2 – Схема подключения цепей управления

4.1.2 Преобразователь Commander SE имеет пять полностью программируемых цифровых входов (клеммы 9 – 13) и один программируемый цифровой вход/выход (клемма 8). Управление приводом перемещения груза моста осуществляется по цифровым

входам (клеммы 8 – 13), аналоговые входы не используются (клеммы 2,5).

Управление приводом движения груза осуществляется джойстиком на четыре положения вперед и четыре положения назад, каждому положению джойстика соответствует определенная предустановочная скорость, которая задается в преобразователе.

Переключение предустановочных скоростей реализуется по цифровым входам (клемма 12, 13).

Таблица 4.1 – Выбор предустановочных скоростей

Клемма 12	Клемма 13	Запуск разрешен	Пуск вперед	Сигнал задания скорости
разомкнута	разомкнута	замкнута	замкнута	Предустановленное значение скорости 1 (параметр 11)
замкнута	разомкнута	замкнута	замкнута	Предустановленное значение скорости 2 (параметр 12)
разомкнута	замкнута	замкнута	замкнута	Предустановленное значение скорости 3 (параметр 13)
замкнута	замкнута	замкнута	замкнута	Предустановленное значение скорости 4 (параметр 14)

Пуск привода на первой предустановленной скорости происходит по сигналу «пуск вперед» (клемма 10) или «пуск назад» (клемма 11).

Для включения тормоза при остановке используется функция управления тормозом (клемма 8).

Разрешение пуска / сброса (клемма 9) используется для разрешения работы привода.

Реле неисправности (клеммы 15, 16) используется для контроля готовности привода.

## 4.2 Программирование

4.2.1 Commander SE насчитывает 47 основных параметров, которые подразделяются на два уровня параметров: 1 и 2. К первому уровню параметров относятся параметры с 1 по 9, ко второму – с11 по 44. Возможна установка кода доступа к параметрам - только просмотр параметров первого уровня. При правильном коде доступа возможно изменение всех параметров. Установленный код доступа 5. Для просмотра всех параметров необходимо установить L2 в параметре 10.

Для изменения выбранного параметра необходимо нажать М в правой части дисплея будет мигать Code, клавишами  установить код доступа и нажать М, после чего можно изменить параметр.

Используя клавиши М,  необходимо ввести карту параметров привода, 06 (номинальный ток, А), 07 (номинальная скорость, об/мин), 08 (номинальное напряжение) и 09 (коэффициент мощности). Также параметр 02 (максимальная скорость), параметр 39 (номинальная частота двигателя) и параметр 40 (число полюсов) должны быть при необходимости установлены на правильные значения. Эти значения должны быть взяты с шильдика двигателя.

4.2.2 Если привод запускается первый раз, то для измерения сопротивления статора и смещения напряжения он выполнит автоматическую настройку без вращения двигателя. В процессе выполнения данной процедуры в правой части дисплея будет мигать надпись Auto tune. Как только настройка будет выполнена, двигатель заработает в соответствии с заданными требованиями.

Для задания управления с предустановочных скоростей необходимо в параметре 05 задать Pr.4, затем в параметрах 11 – 14 задать предустановочные скорости.

### 4.3 Дополнительные устройства

4.3.1 Для отключения от сети, тепловой и максимально токовой защиты преобразователя использован автоматический выключатель ВА47-100-3р ( $I_n = 300 \text{ A}$ ).

$$I_{\text{нав}} \geq I_{\text{нпч}} + I_{\text{нэг}},$$

где  $I_{\text{нав}}$  - номинальный ток автоматического выключателя;

$I_{\text{нпч}}$  - номинальный входной ток преобразователя частоты;

$I_{\text{нэг}}$  - номинальный ток потребляемый

электрогидротолкателем тормоза (2...3 А);

4.3.2 Для улучшения формы входного тока и снижения уровня гармоник входного тока применяется реактор. Выбран реактор OMRON

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

3G3IV – 3KD400 – 060.40 ( $I_n = 300 \text{ A}$ ) по номинальному входному току преобразователя частоты и току электрогидротолкателя  $I_{нэг} = 2..3 \text{ A}$ .

4.3.3 Для ограничения перемещения груза и избежание аварийных ситуаций применяются конечные выключатели.

Конечные выключатели должны иметь в рабочем положении нормально замкнутые контакты, что необходимо проверить при монтаже. В каждом направлении движения необходима установка по одному конечному выключателю – аварийное отключение (обесточивает привод в аварийной ситуации). И срабатывает система торможения груза.

Выбраны путевые выключатели КУ-701 наиболее распространенные на мостовых кранах.

4.3.4 Для удобства управления применяется джойстик. Выбран джойстик на четыре положения вперед и четыре положения назад КCSOE(4-0-4).

4.3.5 При торможении привода для рассеивания энергии, которую не может рассеять звено постоянного тока применяется тормозной резистор. Выбран тормозной резистор 3G3IV-PERF961W-J100T.

4.3.6 Для защиты тормозного резистора от перегрева используется тепловое реле.

Выбрано реле тока РТ40(140)/100 с уставкой тока срабатывания 250 – 300 А

4.3.8 Для отключения питания приводов передвижения груза при наезде на конечный выключатель «аварийное отключение» использован контактор К0112511

$$I_{нлк} \geq 2 \cdot I_{нпч} + 2 \cdot I_{нэг},$$

где  $I_{нлк}$  - номинальный ток линейного контактора;

$I_{нпч}$  - номинальный входной ток преобразователя частоты;

$I_{нэг}$  - номинальный ток потребляемый электрогидротолкателем тормоза.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

#### 4.4 Система управления

4.4.1 В данном дипломном проекте блок управления системы автоматизации реализован на программируемом контролере SIMATIC S7-300 фирмы Siemens.

Аппаратные программируемые средства контролера позволяют обеспечить выполнение всех типовых, информационных и управляющих функций: сбор технологической информации, контроль и регулирование в соответствии с логическими уравнениями, изображение и передача информации.

4.4.2 Программируемый контроллер SIMATIC S7-300 имеет широкий спектр процессоров (CPU) различных классах мощности и модулей ввода вывода. Максимальное количество модулей в корпусе может быть доведено до 32. Так же данный контроллер через многоточечный интерфейс (MPI), PROFIBUS Industrial Ethernet может работать в сети. Одной из особенностей контроллера является конфигурирования оборудования с помощью утилиты HWConfig. С помощью программного обеспечения SIMATIC Manager контроллер удобен в наладке и программировании.

В корпусе S7-300 расположены следующие модули:

- блок питания PS-307 2A;
- центральный процессор CPU 315F-2DP;
- 2 дискретных модуля ввода типа SM 321;
- 2 модуля вывода релейных сигналов типа SM 322;

4.4.3 Характеристики дискретных модулей ввода, модулей вывода релейных дискретных сигналов представлены в таблицах 4.2, 4.3.

Эквивалентные схемы дискретных модулей ввода, модулей вывода релейных дискретных сигналов и модуля вывода аналоговых сигналов представлены на рисунках 4.3, 4.4.

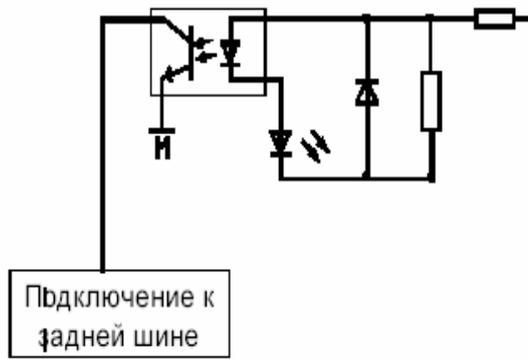


Рисунок 4.3 – Эквивалентная схема цифрового модуля ввода

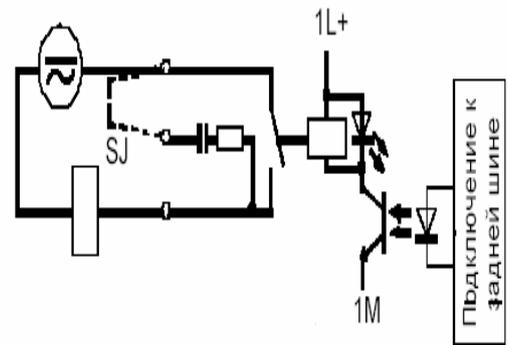


Рисунок 4.4 – Эквивалентная схема модуля вывода релейных сигналов

Таблица 4.2 – Характеристики модуля ввода

Название модуля	Входной ток, мА	Напряжение, В	Число входов
SM321 6ES7 321-1BH02-0AA0	7	2 4	16

Таблица 4.3 – Характеристики модуля вывода

Название модуля	Максимальная частота переключений, Гц	Длительный тепловой ток, мА	Диапазон напряжений, В	Число выходов
SM321 6ES7 322-5HF00-0AB0	10	7	-24 ~230	8

4.4.4 Функциональная схема контроллера представлена на рисунке 4.5.

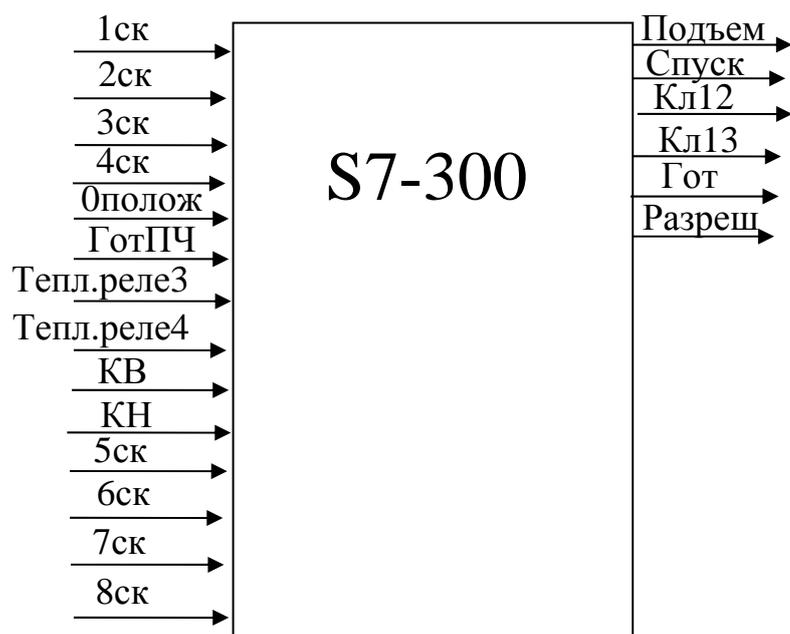


Рисунок 4.5 – Функциональная схема контроллера

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

4.4.5 Для описания работы контроллера составим логические уравнения работы.

Сигнал ГС возникает в автоматическом режиме при готовности преобразователя частоты (Гот.ПЧ) и тепловых реле 3 и 4.

$$\text{Гот.} = \text{Гот.ПЧ} \cdot \text{Тепл.реле3} \cdot \text{Тепл.реле4}$$

Сигнал разрешения (Разреш.) возникает при наличии сигнала готовности 0 положения джойстика. Этот сигнал запоминается, до снятия готовности.

$$\text{Разреш.} = \text{Гот.} \cdot (\text{Ополож.} + \text{Разреш})$$

Сигнал движения на подъем возникает при наличии готовности и установке джойстика в положении 2ск, 4ск, 6ск или 8ск с самоблокировкой сигнала Спуск.

$$\text{Подъем} = \text{Гот} \cdot (2\text{ск} + 4\text{ск} + 6\text{ск} + 8\text{ск}) \cdot \overline{\text{Назад}} \cdot \overline{\text{КВ}}$$

Сигнал движения на Спуск возникает при наличии готовности и установке джойстика в положении 1ск, 3ск, 5ск или 7ск, до крайнего верхнего положения КВ.

$$\text{Спуск} = \text{Гот} \cdot (1\text{ск} + 3\text{ск} + 5\text{ск} + 7\text{ск}) \cdot \overline{\text{Подъем}} \cdot \overline{\text{КН}}$$

Сигнал движения со скоростью 1 возникает при наличии сигнала 1ск или 2ск с джойстика, при наличии сигнала готовности. Остальные сигналы скорости возникают аналогично.

$$\text{Скорость1} = \text{Гот} \cdot (1\text{ск} + 2\text{ск})$$

$$\text{Скорость2} = \text{Гот} \cdot (3\text{ск} + 4\text{ск})$$

$$\text{Скорость3} = \text{Гот} \cdot (5\text{ск} + 6\text{ск})$$

$$\text{Скорость4} = \text{Гот} \cdot (7\text{ск} + 8\text{ск})$$

Эти вспомогательные переменные создают сигнал Кл12 и Кл13, которые идут на входы ПЧ (Таблица 4.1)

$$\text{Кл12} = \text{Скорость1} + \text{Скорость3}$$

$$\text{Кл13} = \text{Скорость2} + \text{Скорость4}$$

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 5.1 Введение в экономическую часть

В экономической части дипломного проекта представлен расчёт себестоимости разработки системы управления электроприводом механизма главного подъема.

### 5.2 Расчет затрат на проектирование

5.2.1 Затраты на разработку, оформление технической документации по проекту и реализацию электропривода механизма главного подъема включают затраты на расходные материалы, комплектующие к электроприводу, заработную плату и амортизацию используемого оборудования.

5.2.2 Затраты по статье «Материалы» определяются по следующей формуле:

$$M = K_{ТЗ} \cdot \sum_{i=1}^m H_i \cdot Ц_i ,$$

где  $K_{ТЗ}$  – коэффициент транспортно-заготовительных расходов ( $K_{ТЗ} = 1,06$ );

$m$  – номенклатура применяемых для изготовления материалов, штук;

$H_i$  - норма расхода материала  $i$ -го наименования;

$Ц_i$  – цена единицы расходного материала  $i$ -го наименования, рублей.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Таблица 5.1 – Перечень материалов, необходимых для изготовления дипломного проекта

Наименование материала	Единица измерения	Цена, рублей	Норма расхода	Стоимость материала, рублей
Бумага писчая, формат А4	лист	0,2	500	100
Ватман, формат А1	лист	5	10	50
Картридж для принтера	шт.	2000	1	2000
Итого				2279
Прочие расходные материалы +20%				456
Всего				2735

Затраты по статье «Материалы» составляют:

$$M = 1,06 \cdot (100 + 150 + 2000) = 2279 \text{ рублей.}$$

Затраты на вспомогательные материалы примем равными 20% от затрат по статье «Материалы»:

$$M_B = 0,2 \cdot M = 0,2 \cdot 2279 = 456 \text{ рублей.}$$

Общие затраты на материалы определяются суммой затрат на основные и вспомогательные материалы:

$$M_{\Sigma} = M + M_B = 2279 + 456 = 2735 \text{ рублей.}$$

5.2.4 Расходы по статье "Основная заработная плата членов команды" рассчитывается по формуле:

$$Z_O = K_{ур} \cdot q \cdot \sum_{i=1}^k \frac{O_{M_i} \cdot T_i}{22},$$

где  $K_{ур}$  - уральский коэффициент ( $K_{ур} = 1,15$ );

$k$  - число работников, оплачиваемых повременно, человек;

$O_{M_i}$  - месячный оклад рабочего-повременщика, рублей;

$T_i$  - трудоемкость операции  $i$ -го наименования, дни;

q - доплаты, включающие в себя премии по премиальным системам (принимается в размере 20% от тарифной зарплаты,  $q = 1,2 / 17$ ).

Месячные оклады членов команды следующие (занесем их в таблицу 6.2):

- научный сотрудник = 3662 рублей;
- электрик = 4980 рублей
- электрик = 4980 рублей
- инженер = 7200 рублей
- инженер = 7200 рублей

Затраченное время:

- научный сотрудник – 20 дней;
- электрик – 11 дней
- электрик – 3 дня
- инженер – 12 дней
- инженер – 6 дней

Расходы по статье "Дополнительная заработная плата членов команды" принимается в размере 7.5% от основной заработной платы:

$$Z_{\text{доп}} = 0,075 \cdot Z_o .$$

Начисления на заработную плату складываются из следующих отчислений: в пенсионный фонд (28%), социальное страхование (5,4%), медицина (3,6%), что в сумме составляет 37%.

$$U_n = 0,37 \cdot (Z_o + Z_{\text{доп}}) .$$

Результаты расчетов по формулам для каждого члена команды сведены в таблице 5.2.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Таблица 5.2 – Заработная плата на разработку и изготовление

Должность	Оклад, рублей в месяц	Трудоемкость, дни	Основная заработная плата, рублей	Дополнительная заработная плата, рублей	Начисления на заработную плату, рублей
Научный сотрудник	3662	20	2441	183	1023
Электрик	4980	11	1826	137	766
Электрик	4980	3	498	37	209
Инженер	7200	12	2880	216	1207
Инженер	7200	6	1440	08	604
Итого (3Σ)					13575

5.2.5 Затраты по статье "Покупные комплектующие изделия" определяются по следующей формуле:

$$\Pi = K'_{т.з} \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot Ц_{п.и} ,$$

$K'_{т.з}$  – коэффициент транспортно-заготовительных расходов (в среднем  $K'_{т.з} = 1,1$ );

$\Pi_i$  – количество указанных изделий  $i$  –го наименования, штук;

Перечень используемых покупных комплектующих изделий сведен в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Ведомость покупных изделий

Наименование, тип, марка	Ед. измерения	Количество изделий в устройствах, штук	Цена одного изделия, рублей	Стоимость изделий в устройствах, рублей
Преобразователь частоты Commander SE, 110 кВт	шт.	1	14800	14800
Двигатель асинхронный 110 кВт	шт.	1	420000	420000
Контроллер S7-300	шт	1	90000	90000
Итого				524800

Цены на 1 января 2007 года.

Итого затраты по статье "Покупные комплектующие изделия" составили:

$$\Pi = 1,1 \cdot (524800) = 577280 \text{ рублей.}$$

5.2.6 Стоимость прочего оборудования принимаем в размере 2% от суммарной стоимости оборудования:

$$C_{\text{но}} = 0,02 \cdot (M + M_{\text{в}} + \Pi) = 0,02 \cdot (2279 + 456 + 577280) = 11600 \text{ рублей.}$$

5.2.7 Так как при разработке стенда использовалось дополнительное оборудование (Таблица 5.4), необходимо посчитать амортизацию.

Таблица 5.4 – Перечень использованного оборудования

Наименование прибора	Количество, штук	Стоимость, рублей	Время использования
Компьютер	1	19000	30
Принтер	1	10000	5
Сканер	1	2000	1

Амортизационные отчисления за использование приборов вычисляются по формуле:

$$C_a = K_a \cdot \left( \sum_{i=1}^m C_{\text{П}i} \cdot \text{П}_{\text{П}i} \right) / 365,$$

где  $K_a$  – коэффициент амортизации (для лабораторного оборудования  $K_a=0,2$ );

$C_{\text{П}i}$  – стоимость приборов, рублей;

$\text{П}_{\text{П}i}$  – число дней использования приборов.

В соответствии с формулой х.6 имеем:

$$C_a = 0,2 \cdot (19000 \cdot 30 + 10000 \cdot 5 + 2000 \cdot 1) / 365 = 341 \text{ рубль.}$$

5.2.8 Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования принимаются в размере 60-80% от основной заработной платы работников:

$$U_{\text{со}} = 0,7 \cdot 3_0 = 0,7 \cdot 6001 = 4201 \text{ рублей.}$$

5.2.9 Расчет итоговой технологической себестоимости производится суммированием всех показателей, полученных ранее:

$$C_{\text{тех}} = M + M_{\text{в}} + \text{П} + C_{\text{но}} + 3_0 + 3_{\text{доп}} + U_{\text{н}} + C_a + U_{\text{со}} = 2279 + 456 + 5772 + 80 + 11600 + 6001 + 681 + 3809 + 341 + 4201 = 606648 \text{ рублей.}$$

5.2.10 Прочие производственные расходы принимаются в размере 5% от технологической себестоимости:

$$U_{\text{пр}} = 0,05 \cdot C_{\text{тех}} = 0,05 \cdot 606648 = 30332 \text{ рублей.}$$

5.2.11 Итоговая производственная себестоимость:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{тех}} + U_{\text{пр}} = 606648 + 30332 = 636980 \text{ рублей.}$$

5.2.12 Затраты по статье «Внепроизводственные расходы» принимаем равными 1% от итоговой производственной себестоимости:

$$U_{\text{вр}} = 0,01 \cdot C_{\text{пр}} = 0,01 \cdot 636980 = 6370 \text{ рублей.}$$

5.2.13 Транспортно-заготовительные расходы принимаются в размере 8% от стоимости учтённого и неучтённого оборудования применительно к Южно-Уральскому территориальному коэффициенту:

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$U_{тз} = 0,08 \cdot 1,15 \cdot (M + M_{в} + П + C_{но}) = 0,08 \cdot 1,15 \cdot (2279 + 456 + 577280 + 11600) = 54428$  рублей.

5.2.15 Итоговая себестоимость разработки:

$C = C_{пр} + U_{вр} + U_{тз} = 636980 + 6370 + 54428 = 697778$  рублей.

В таблицу 5.5 сведены затраты по всем статьям расходов, составляющих себестоимость разработки системы управления асинхронным механизмом главного подъема.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Таблица 5.5 – Сводная таблица расчёта стоимости проекта

Наименование статьи расходов	Обозначение	Значение, рублей
Материалы	М	2279
Вспомогательные материалы	М <sub>в</sub>	456
Основная заработная плата	З <sub>о</sub>	2442
Дополнительная заработная плата	З <sub>доп</sub>	183
Социальные отчисления (ЕСН)	У <sub>н</sub>	1023
Покупные комплектующие изделия	П	577280
Стоимость прочего оборудования	С <sub>но</sub>	11600
Амортизационные отчисления	С <sub>а</sub>	5487
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	У <sub>со</sub>	1709
Итоговая технологическая себестоимость	С <sub>тех</sub>	606648
Прочие производственные расходы	У <sub>пр</sub>	30332
Итоговая производственная себестоимость	С <sub>пр</sub>	636980
Внепроизводственные расходы	У <sub>вр</sub>	6370
Транспортно заготовительные расходы	У <sub>тз</sub>	54428
Итоговая себестоимость	С	697778

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1303.02.2017.13-148ПЗ

Лист

51

Вывод: В экономической части дипломного проекта рассчитана себестоимость разработки системы управления асинхронным двигателем механизма главного подъема, равна 697778 рублей.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

## 6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 6.1 Размещение оборудования

6.1.1 Проектируемый электропривод расположен на кране, установленном в цехе.

6.1.2 Электродвигатели механизма главного подъема расположен на тележке.

6.1.3 Электродвигатели привода передвижения моста расположены на мосту.

6.1.4 Электродвигатели питаются переменным током напряжением 380 В.

6.1.5 Электрооборудование приводов располагается в двух шкафах и вводной панели, которые находятся в кабине крана.

6.1.6 Для работы на кране (во время ремонтов или обслуживания) на мосту предусмотрены розетки для подключения переносных светильников напряжением 12В.

6.1.7 Под мостом предусмотрено рабочее освещение, выполненное для ламп УПД-500

- для ламп накаливания мощностью 750- 1000Вт. Питание освещения переменный ток напряжением 220В.

6.1.8 Мостовой кран должен быть немедленно (аварийно) отключен от сети в следующих случаях:

- при несчастных случаях с людьми;
- появлении дыма или огня из электродвигателей, а также из его пускорегулирующей аппаратуры и устройств возбуждения;
- поломке приводного механизма, появлении не нормального стука;

### 6.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.

6.2.1 К вредным факторам следует относить факторы, которые, воздействуя на организм человека, могут привести к частичной или полной потере трудоспособности вследствие заболевания, в том числе профессионального. К таким факторам относятся:

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

- вибрация;
- шум;
- запыленность;
- загазованность;
- недостаточная освещенность.

6.2.2 К опасным факторам следует относить факторы, которые, воздействуя на организм человека, могут привести к травме. К таким факторам относятся:

- электрический ток;
- движущиеся части электропривода;
- легковоспламеняющиеся и взрывоопасные вещества;

6.2.3 Действие электрического тока на живую ткань, в отличие от других материальных факторов, носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действия. При этом могут возникнуть различные нарушения в организме, включая нарушения и даже полное прекращение деятельности сердца и легких, а также механические повреждения тканей. Любое из этих действий тока может привести к электрической травме, т.е. к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока или электрической дуги.

6.2.4 Оказывают негативное воздействие на организм человека также такие психофизические факторы, как умственное перенапряжение, перенапряжение зрительных и слуховых анализаторов, монотонность труда машиниста крана.

### 6.3 Микроклимат цеха.

6.3.1 Микроклимат производственного помещения (цеха, в котором установлен кран) — это метеорологические условия внутренней среды этого помещения, которые определяются действующими на организм человека, то есть:

- влажность воздуха
- скорость движения воздуха

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54



## 6.6 Устройства безопасности

6.6.1 Шкафы управления приводами оборудованы индивидуальными замками, которые перекрывают несанкционированный доступ.

6.6.2 Электросхема управления исключает самозапуск приводов после восстановления исчезавшего напряжения питающей сети.

## 6.7 Электробезопасность

6.7.1 Все электроприборы напряжением 220 В переменного тока и 110 В постоянного тока представляют опасность для жизни в случае попадания человека под это напряжение.

6.7.2 Опасность поражения электрическим током состоит в том, что при прохождении через тело человека тока, вызванного приложением потенциалов, происходит судорожное сокращение мышц, в том числе мышц, осуществляющих дыхательное движение клетки и работы сердца. Вследствие нарушения нормальной работы сердца и дыхания, или того и другого наступает смерть. Проходя через организм человека, электрический ток производит также термическое, электролитическое и механическое действие. Термическое действие проявляется в нагреве тканей вплоть до ожогов отдельных участков тела. Электролитическое действие вызывает разложение крови и плазмы.

6.7.3 Значение электролитического тока проходящего через тело человека, является основным фактором, обуславливающим исход поражения. В таблице 6.1 согласно ГОСТ 12.1.038-82 представлены предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов.

Таблица 6.2 – Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов для нормального режима работы.

Род тока	U, В не более	I, mA не более	R <sub>min чел.</sub> , Ом
Переменный ток, 50 Гц	2	0,3	700
Переменный ток, 400 Гц	3	0,4	700
Постоянный ток	8	1,0	800

6.7.4 Сила тока зависит не только от напряжения, приложенного к телу человека, но и от ряда других факторов: сопротивление тела человека в момент соприкосновения с токоведущей частью, которое в свою очередь определяется физиологическим состоянием человека; площади соприкосновения тела человека с токоведущей частью; места входа и выхода тока через тело человека, состояние кожного покрова человека и т.д.

6.7.5 Требования к электрической прочности изоляции: по ГОСТ 25071-81 сопротивление изоляции электродвигателей должно быть не менее 0,5 Мом, сопротивление изоляции цепей управления должно быть не менее 20 Мом.

6.7.6 Двери шкафов оборудованы внутренними замками, открываемыми специальными ключами. На дверь нанесен знак «Осторожно. Электрическое напряжение» и дополнительная табличка «Под напряжением. Опасно для жизни».

6.7.8 На кране заземление осуществляется металлоконструкцией крана.

6.7.9 Для отключения питания всех приводов в аварийной ситуации предусмотрен аварийный выключатель.

#### 6.8 Обслуживание электроприводов

6.8.1 К эксплуатации электроприводов допускается персонал, ознакомленный с правилами техники безопасности, действующими на предприятии, прошедшие проверку знаний согласно ПЭЭП и МПОТСП сдавший экзамен, прошедший стажировку и имеющий группу не меньше III (до и выше 1000 В) по электробезопасности.

#### 6.8.2 Запрещается:

- эксплуатация двигателя без надежного заземления;
- касаться незаземленных и вращающихся частей привода во время работы двигателя;
- шунтировать изоляцию подшипников во время работы двигателя;
- включать двигатель, имеющий неисправности;

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

- производить какие-либо работы на двигателе под напряжением;

6.8.3 При консервации и расконсервации двигателя необходимо соблюдать требования противопожарной безопасности и санитарии, предъявляемые при работах с материалами, указанными в инструкции "Транспортировка и хранение электрических машин и аппаратов".

#### 6.9 Пожарная безопасность

6.9.1 Согласно СНиП 21-01-97 "Пожарная безопасность зданий и сооружений" помещение имеет категорию В по пожарной безопасности со степенью огнестойкости II.

6.9.2 См. ПУЭ-85, ПЭЭП, ППБ-93 ГОСТ 12.1.004-91ССБ

6.9.3 Зона работы крана оборудована средствами пожаротушения:

- пожарные щиты - 1 штука;
- ящики с песком - 6 штук;
- углекислотные огнетушители типа ОУ-5 - 10 штук.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте рассмотрено использование современных частотно-регулируемых электроприводов на базе преобразователей частоты фирмы Control Techniques (Commander SE) при модернизации мостового крана. Рассмотрены достоинства и недостатки преобразователей частоты. Представлены схемы подключений, пример программы для контроллера

Кроме того была рассчитана экономическая часть и были получены экономические показатели:

Безопасное обслуживание и эксплуатация достигается соблюдением всех норм техники безопасности, представленных в разделе техники безопасности.

На основании данного проекта возможно внедрение частотно-регулируемого электропривода в производстве, промышленности и других отраслях, где используются грузоподъемные машины. Главные преимущества: плавный пуск и использование короткозамкнутых асинхронных двигателей, что значительно снижает затраты на обслуживание приводов и увеличивает срок службы оборудования.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.4.113 - 82 Система стандартов безопасности труда.
2. ГОСТ 12.1.003 - 83
3. ГОСТ 12.0.003 - 74
4. ГОСТ 12.4.026 - 76
5. Сидоров А.И. , Хашковский А.В. Безопасность жизнедеятельности: Конспект лекций Челябинск: ЧГТУ, 1992. - Ч.1.
6. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР - 6Е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1985.-640с.
7. ОНТП 24 - 84 Общественные нормы технического проектирования.
8. ГОСТ 12.2.032 - 78 Рабочее место при выполнении работ сидя.
9. «Курс лекций по теории электропривода» Г.И. Драчев, ЮУрГУ, 2001 г.
10. Характеристики двигателей в электроприводе» Вешеневский С.Н., М. Энергия 1977г.
11. Решетов Д.Н. «Детали машин» Машиностроение, М., 1964г.
12. “Commander SE “ Control techniques www. Control techniques. Com
13. Каталог электротехнической продукции ЭТМ №4 2000г. AC reactor OMRON Каталог 2001г.
14. Joystick Каталог 2001г.
15. Schneider Electric каталог 2001г.
16. ИЭК ООО «ИНТЕРЭЛЕКТРОКОМПЛЕКТ» Каталог 2001
17. Brake resistor OMRON Каталог 2001г.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

18. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. технич. учебных заведений. -Л., Энергия, 1974. - 840с.

19. СТП ЮУрГУ 04 – 20013 Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к оформлению.

20. ГОСТ 7.1-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. –М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. -47 с.

21. СТП ЮУрГУ 17-2004. Система управления качеством образовательных процессов. Учебные рефераты. Общие требования к построению, содержанию и оформлению. – Взамен СТП ЮУрГУ 17-98; Введ. 01.03.04 – Челябинск: ЮУрГУ, 2005 - 39с. Группа Т62.

22. Вайнштейн Л.И. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергия, 1970, 315 с.: ил.

23. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Энергия, 1979.

24. Стукалова О.В. Экономика предприятия: Методическое пособие для проведения практических занятий. – Челябинск: Изд-во “Полиграф-Мастер”, 2003. -47с.

25. Борисов Е.Ф. Экономическая теория: учебник. – М.: Юристъ, 1997 год.

26. Риполь-Сарагоси С.Б. Финансовый и управленческий анализ. – М.: Издательство Приор, 1999 год.

					1303.02.2017.13-148ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

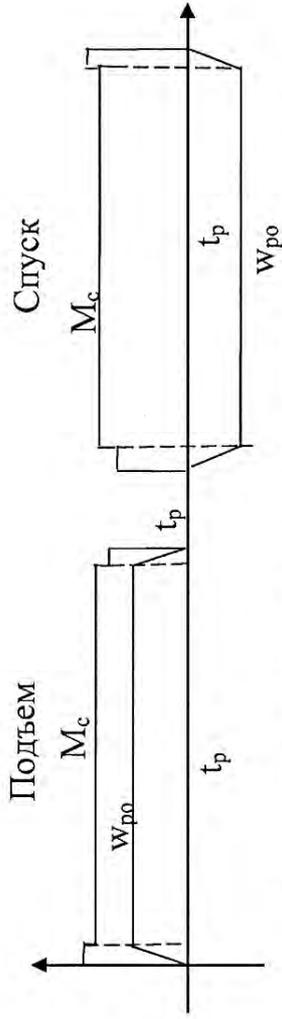
					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ</b>			
<b>Изм.</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дат</b>	<b>Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.</b>	<b>Лит.</b>	<b>Лист</b>	<b>Листов</b>
Разраб.		Голиков А.Д.		24.05			7	7
Провер.		Григорьев М.А.		24.05				
Реценз								
Н. Контр.		Функ Т.А.		24.05				
Утверд.		Шишков А.Н.		25.05		<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		

ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Голиков А.Д.		24.05.17			
Провер.		Григорьев М.А.		24.05.17		1	7
Реценз							
Н. Контр.		Функ Т.А.		24.05.17			
Утверд.		Шишков А.Н.		25.05.17			

Электропривод и система  
автоматики подъема мостового  
крана г/п 90 т.

ЮУрГУ  
Кафедра «АЭП»



Зависимости момента и скорости рабочего органа от времени

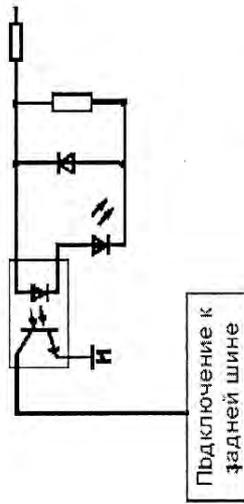
$$M_{\text{срkv}} = \sqrt{\frac{M_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}} = 444919 \text{ Нм}$$

Данные двигателя

Мощность, кВт	110
Номинальное напряжение, В	380
Частота, Гц	50
Номинальный ток статора, А	202
Номинальная скорость, об/мин	470
cosφ	0,74
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	12,25
$M_{\text{пуск}}/M_{\text{НОМИН}}$	1.6
$I_{\text{пуск}}/I_{\text{НОМИН}}$	5.5
$M_{\text{макс}}/M_{\text{НОМИН}}$	2.4

ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Голиков А.Д.		21.05	Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Григорьев М.А.		24.05			2	7
Реценз						ЮУрГУ		
Н. Контр.		Функ Т.А.		24.05		Кафедра «АЭП»		
Утверд.		Шишков А.Н.		25.05				



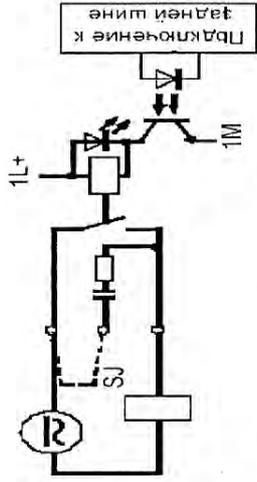
Эквивалентная схема цифрового модуля ввода

Характеристики модуля ввода

Название модуля	Входной ток, мА	Напряжение, В	Число входов
SM321 6ES7 321-1BH02-0AA0	7	24	16

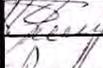
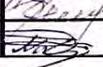
Характеристики модуля вывода

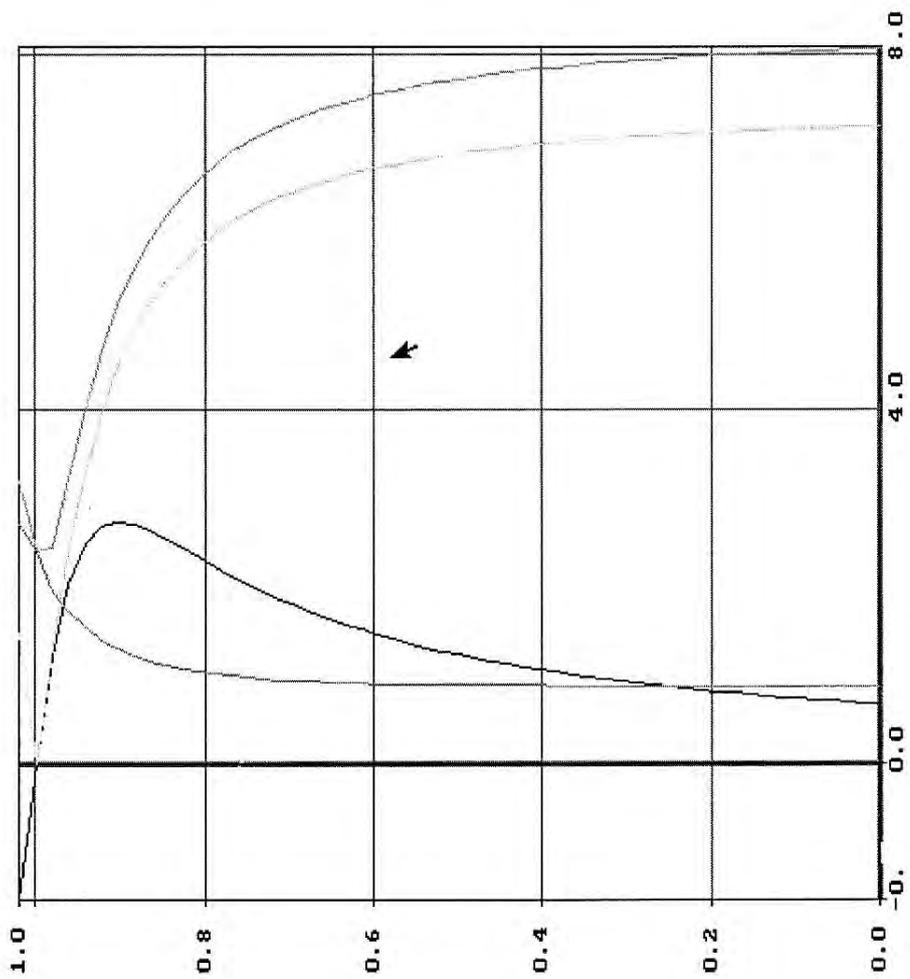
Название модуля	Максимальная частота переключений, Гц	Длительный тепловой ток, мА	Диапазон напряжений, В	Число выходов
SM321 6ES7 322-5HF00-0AB0	10	7	-24 ~230	8



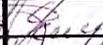
Эквивалентная схема модуля вывода релейных сигналов

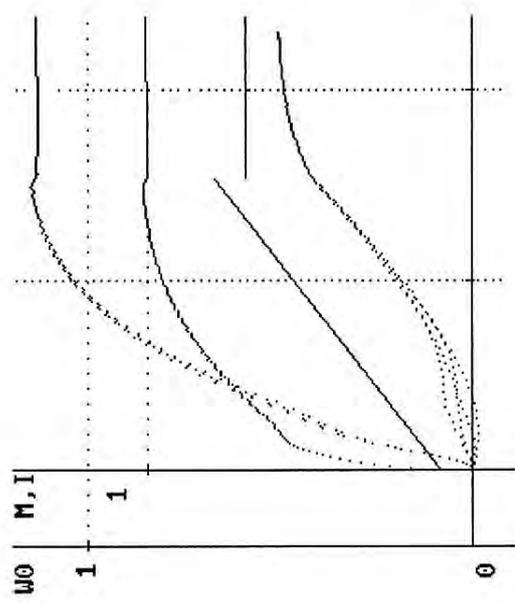
ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Голиков А.Д.		24.05	Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Григорьев М.А.		24.05			3	7
Реценз						ЮУрГУ		
Н. Контр.		Функ Т.А.		24.05		Кафедра «АЭП»		
Утверд.		Шишков А.Н.		25.05				



ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Голиков А.Д.		24.05	Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Григорьев М.А.		24.05			4	7
Реценз						ЮУрГУ		
Н. Контр.		Функ Т.А.		24.05		Кафедра «АЭП»		
Утверд.		Шишков А.Н.		25.05				



ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Голиков А.Д.		24.05			
Провер.		Григорьев М.А.		24.05		5	7
Реценз							
Н. Контр.		Функ Т.А.		24.05			
Утверд.		Шишков А.Н.		25.05			

Электропривод и система  
автоматики подъема мостового  
крана г/п 90 т.

ЮУрГУ  
Кафедра «АЭП»

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}$$

где  $I_i$  – среднеквадратичное значение тока на  $i$ -ом участке;

$\Delta t_i$  – длительность  $i$ -ого участка работы;

$\beta_i$  – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;

$I_{\text{доп}}$  – допустимый по нагреву ток.

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывают коэффициентом ухудшения теплоотдачи  $\beta_i$ , который в зависимости от скорости вращения принимает значения:

$$\begin{aligned} \beta_i &= \beta_0 && \text{при} && 0 \leq \omega \leq 0,2 \cdot \omega_n; \\ \beta_i &= \frac{1 + \beta_0}{2} && \text{при} && 0,2 \cdot \omega_n \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_n; \\ \beta_i &= 1 && \text{при} && \omega \geq 0,8 \cdot \omega_n. \end{aligned}$$

Допустимый ток рассчитывают через представленное в каталоге значение допускаемого тока  $I_{\text{кат}}$  для каталожной ПВ<sub>к</sub>, ближайшей к фактической ПВ<sub>ф</sub>, полученной по результатам расчёта нагрузочных диаграмм:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{к}}}{ПВ_{\text{ф}}}} = 202 \cdot \sqrt{\frac{40}{40}} = 202 \text{ А};$$

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{207^2 \cdot 1.5 + 125 \cdot 202^2 + 207^2 \cdot 1.5}{0.32 \cdot 0.3 + 1 \cdot 0.675 + 125 \cdot 1 + 0.32 \cdot 0.3 + 1 \cdot 0.675}} = 201.52 \text{ А}.$$

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.03АИ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Электропривод и система автоматики подъема мостового крана г/п 90 т.	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Голиков А.Д.			24.05			6	7
Провер.	Григорьев М.А.			24.05				
Реценз								
Н. Контр.	Функ Т.А.			24.05				
Утверд.	Шишков А.Н.			25.05		<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		

