

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт открытого и дистанционного образования  
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2020г.

Модернизация электропривода мостового крана грузоподъемностью до 10 тонн  
на транспортном предприятии

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.311.979 ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы ДО – 481  
\_\_\_\_\_ Е.И. Туркин  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер,  
преподаватель  
\_\_\_\_\_ О.С. Микерина  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Туркин Е.И. Модернизация электропривода мостового крана грузоподъемностью до 10 тонн на транспортном предприятии. - Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ(НИУ)», ИОДО; 2020, 76 с., 26 ил., библиографический список – 22 наименования, 7 листов чертежей ф.А1.

В выпускной квалификационной работе произведена модернизация электропривода мостового крана. Произведены расчеты и выбор электродвигателя. Произведен выбор частотного преобразователя. Выполнено моделирование электропривода.

В экономической части проекта произведен расчет затрат.

В разделе безопасность жизнедеятельности проведен анализ опасных и вредных факторов. Предусмотрены меры по охране труда. Рассмотрены рекомендации по эксплуатации электрооборудования.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Туркин Е.И			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Виноградов К.М.			2	76	
Реценз.					ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ТТС» гр.ДО-481		
Н. Контр.		Микерина О.С.					
Утверд.		Виноградов К.М.					
Модернизация электропривода мостового крана							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	6
1.1 Техническая характеристика крана .....	6
1.1.1 Технологическое назначение крана .....	6
1.1.2 Краткое описание принципа работы, кинематической схемы механизмов крана .....	7
1.1.3 Основные технические параметры крана .....	9
1.1.4 Условия эксплуатации электрооборудования .....	10
1.1.5 Технические требования к электроприводу и схеме управления .....	10
1.2 Анализ вариантов технических решений .....	11
1.2.1 Выбор и обоснование системы электропривода механизмов крана.....	12
1.2.2 Частотное управление в крановых электроприводах .....	13
2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ .....	16
2.1 Разработка схемы электрической принципиальной, силовой части электропривода механизмов крана.....	16
2.1.1 Расчет мощности и выбор приводного двигателя электропривода механизмов крана .....	16
2.2 Расчет и выбор преобразователя .....	30
2.3 Разработка схемы электрической принципиальной системы управления	39
2.3.1 Выбор рода тока, величины напряжений системы управления .....	39
2.3.2 Разработка алгоритма работы системы управления электропривода ...	39
2.3.3 Описание работы схемы электрической принципиальной .....	40
2.3.4 Расчет и выбор электроаппаратуры .....	41
2.3.5 Расчет и выбор электроаппаратуры силовой части .....	41
2.3.6 Расчет и выбор электроаппаратуры системы управления .....	45
2.4 Разработка монтажа электрооборудования .....	48
2.4.1 Монтаж основного электрооборудования .....	48
2.4.2 Монтаж электрооборудования шкафа управления.....	49
2.4.3 Выбор элементов монтажа .....	49
2.4.4 Расчет и выбор проводов.....	51
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	52
3.1 Составление и описание структурной схемы электропривода .....	52
3.2 Выбор структуры и расчет параметров корректирующих устройств .....	56
3.2.1 Настройка контура регулирования тока намагничивания $i_{1X}$ .....	56
3.2.2 Настройка контура регулирования потокосцепления ротора $\psi_{2X}$ .....	57
3.2.3 Настройка контура регулирования тока намагничивания $i_{1Y}$ .....	58
3.2.4 Настройка контура регулирования скорости .....	60
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ .....	64
4.1 Общая постановка задачи.....	64
4.2 Расчет единовременных затрат (инвестиций) .....	64
4.3 Расчет годовых текущих издержек .....	64
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	67

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

5.1 Идентификация и анализ вредных и опасных факторов в проектируемом объекте.....	67
5.2 Технические и технологические решения по снижению вредных факторов .....	67
5.3 Рекомендации по эксплуатации электрооборудования .....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	75

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного производства все большее распространение получает регулируемый автоматизированный электропривод.

Основными причинами являются: повышенные возможности энергосбережение, повышение качества производственного процесса, а так же широкий круг возможностей, обусловленных применением программируемых контроллеров. Поскольку высокими темпами развиваются микроэлектроника, силовая преобразовательная техника, системы управления электроприводами и другие области науки и техники, то такие темпы развития приводят к тому, что электрооборудование быстро морально устаревают и требует модернизации.

Подъемно-транспортные машины, представляют собою большую категорию устройств назначения общепромышленного, исполняющих действия многообразные погрузочно-выгрузочные. К ним принадлежат краны - мостовые, башенные козловые, поворотные, и т.д.

Задачей данного дипломного проекта является модернизация электропривода мостового крана. Основное внимание будет обращено на замену реостатного регулирования асинхронных двигателей с фазным ротором и применение современного энергетического оборудования для управления всеми механизмами крана.

С целью свершения установленной цели следует реализовать последующие вопросы:

1. Подобрать двигатель и преобразователь частоты.
2. Подготовить модель в программной среде Simulink Matlab, позволяющую моделировать электропривод одного из механизмов крана.
3. Выполнить проведение исследования имитационной модели асинхронного частотно-регулируемого электропривода в разных системах работы: разной перегрузке и задании скорости.
4. Совершить вычисление и исследование технико-финансовых показателей.
5. Установить и изучить опасные и вредоносные условия .

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

# 1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Техническая характеристика крана

### 1.1.1 Технологическое назначение крана

Конструктивно кран мостового типа состоит из одной или двух балок, образующих мост крана, и перемещающейся по мосту грузовой тележки. Как на мосту, так и на тележке установлено электрооборудование и механические узлы, предназначенные для обеспечения заданных технологических процессов. Управляются все механизмы из кабины управления крана.

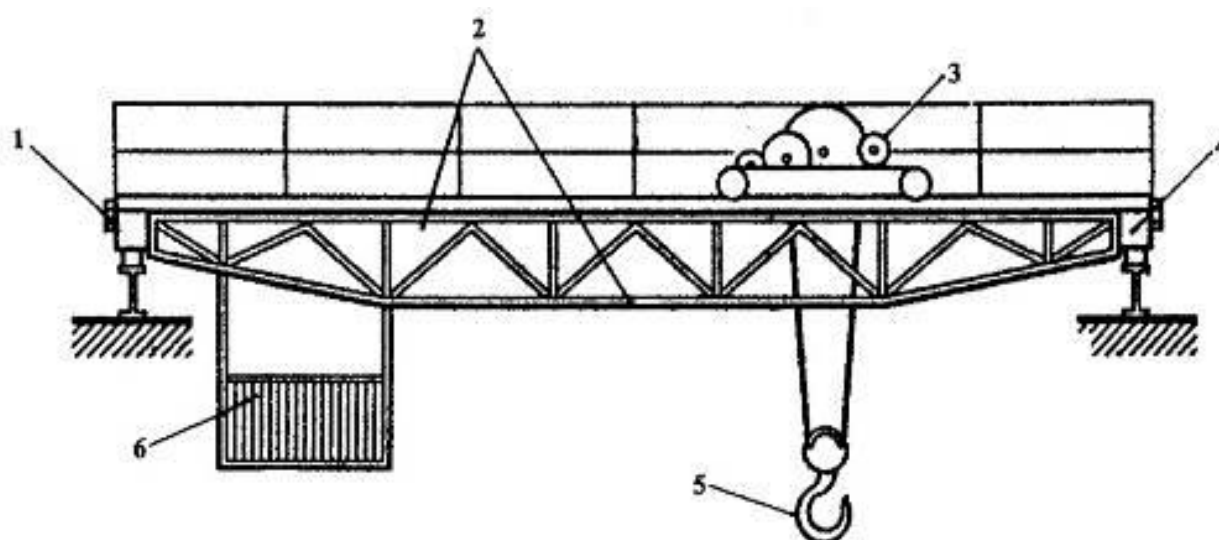


Рисунок 1.1 – Конструкция мостового крана: 1,4 – поперечные (концевые) балки; 2 – мостовая продольная балка; 3 – грузоподъемная тележка; 5 – крюковая подвеска; 6 – кабина.

Опора моста крана осуществляется на ходовые колеса, приводимых в движение электродвигателем. Движение на колеса передается через редуктор и трансмиссионные валы. Число ходовых колес моста зависит от грузоподъемности крана и пролета моста. На кранах грузоподъемностью до 10 т обычно ставят четыре ходовых колеса.

Мост движется по крановым путям, проложенным по всей длине цеха на железобетонной балке. Питание к двигателям крана подводится с помощью гибких кабелей или троллей.

Тележка служит для подъема и перемещения груза вдоль моста крана. На ее стальной раме монтируют ведущие и ведомые колеса. На тележке устанавливают: механизм передвижения тележки и механизм подъема.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

### 1.1.2 Краткое описание принципа работы, кинематической схемы механизмов крана

Вид кранового оборудования зависит от типа конструкции и специфики поднимаемых грузов. Однако стоит отметить, что основные узлы грузоподъемных механизмов аналогичны.

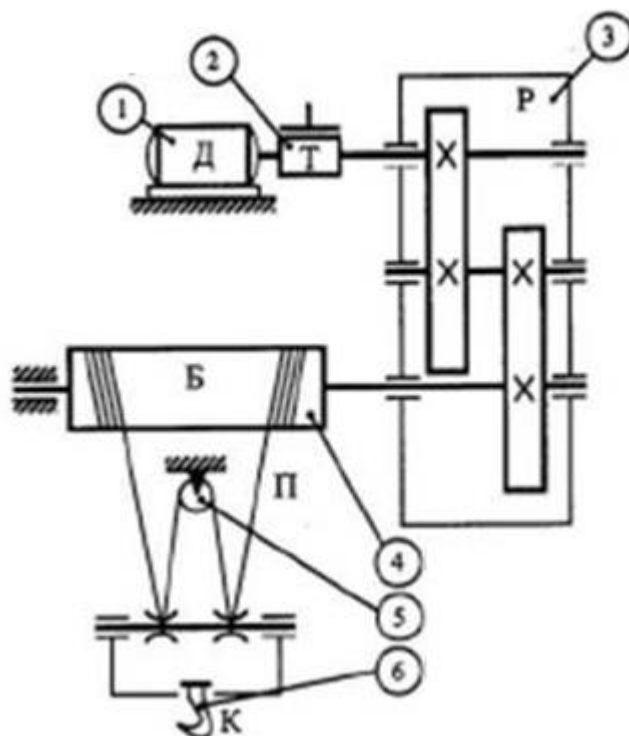


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема механизма подъема мостового крана

На рисунке 1.2 представлена типовая кинематическая схема кранового механизма, включающая:

1. Электродвигатель (чаще всего используются асинхронные трехфазные двигатели).
2. Тормоз – обеспечивает остановку и фиксацию перемещаемого груза в любом положении.
3. Редуктор – понижает количество оборотов двигателя.
4. Барабан – служит для равномерного натяжения крановых тросов.
5. Полиспаст – одинарный или обойма из нескольких блоков, обеспечивающих эффективное распределение энергии от привода и выигрыш в скорости и силе.
6. Крюк – устройство для захвата груза.

Механизм движения крана может быть центральным или индивидуальным. В свою очередь центральное перемещение подразделяется на два вида: с быстроходным и тихоходным трансмиссионным валом.





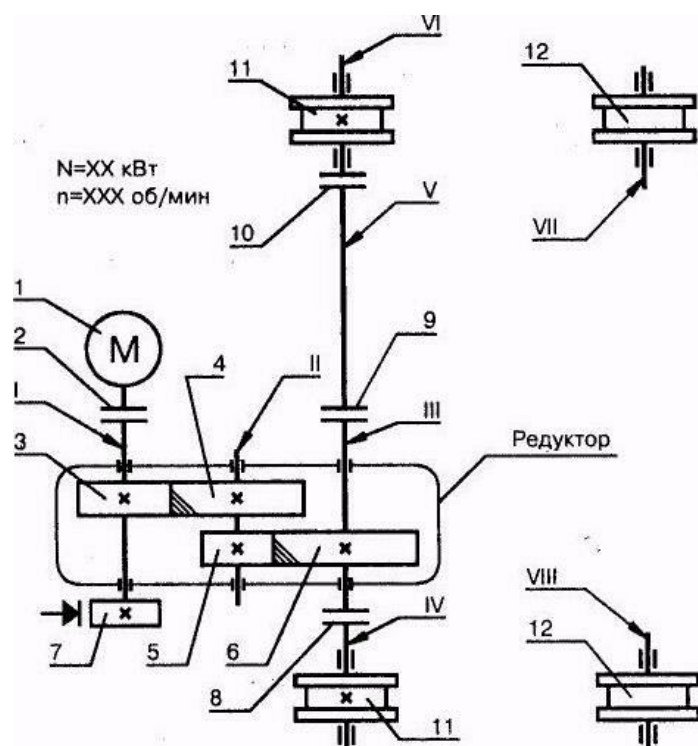


Рисунок 1.5 – Кинетическая схема механизма передвижения тележки

Грузовая тележка отвечает за подъем и перемещение рабочего органа крана. Они конструируются с расчетом для использования как на однобалочных, так и на двухбалочных конструкциях.

На схеме с рисунка 1.5 показано принцип перемещения тележки. Электрический двигатель 1 передает крутящий момент на приводные колеса 11 через муфты 2,8,9,10. Для снижения количества оборотов предназначены зубчатые колесами с косыми зубьями 3-6. Тормоз 7 блокирует передачу крутящего момента и останавливает тележку.

### 1.1.3 Основные технические параметры крана

Основные технические характеристики крана представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры электрооборудования крана

Грузоподъемность $m$ , т	5
Вес крюка с подвеской, $m_0$ , т	1,1
Высота подъема $H$ , м	25
Скорость подъема $U_{п}$ , м/с	0,3
КПД подъемного механизма $\eta$	0,78
Диаметр барабана лебедки $D_б$ , мм	335
Передаточное число полиспаста $n_{п}$	2
Пролет крана, $L$ , м	23
Длина кранового пути, м	80
Скорость передвижения тележки крана $V_T$ , м/с	0,5
Скорость передвижения моста крана $V_M$ , м/с	0,6

#### 1.1.4 Условия эксплуатации электрооборудования

Условия эксплуатации электрооборудования должны соответствовать климатическому исполнению оборудования «УХЛ–3» по ГОСТ 15150–69 (ГОСТ 15543–89Е): эксплуатация в крытых помещениях без регулирования температурных условий с естественной вентиляцией (температура практически не отличается от уличной, нет брызг и струй воды, незначительное количество пыли); с температурой окружающей среды - 60...+40 °С.

#### 1.1.5 Технические требования к электроприводу и схеме управления

Электрооборудование крана выполняется и эксплуатируется в соответствии с «Правилами устройств и безопасной эксплуатации кранов» (далее - Правила).

Электроснабжение кранов осуществляется от напряжения не более 500В: 380В переменного тока и 440В постоянного тока. Краны относятся ко II категории потребителей. Краны взрывопожароопасных цехов к I категории потребителей.

Питание электрооборудования крана передается по главным (цеховым) троллеям, о подаче питания на них указывают три сигнальные лампы. Двигатели крана запитываются через защитную панель от вспомогательных троллеев или гибким кабелем.

По требованиям Правил, подача питания на электрооборудование крана осуществляется через рубильник защитной панели, которая отпирается индивидуальной ключ-маркой, которая не может быть выдернута без операции отключения.

Электроприводы кранов мостового типа должны удовлетворять следующим условиям:

- наличие реверсирования привода;
- возможность регулирования угловой скорости электродвигателя в диапазоне не менее 4:1;
- высокая жесткость механической характеристики;
- обеспечение достаточного пускового момента для подъема максимального груза и перегрузочной способности двигателя.

Данным требованиям удовлетворяют три системы электропривода:

- асинхронный короткозамкнутый двигатель серии МТКФ, МТКН;
- асинхронный двигатель с фазным ротором серии МТФ, МТН;
- частотно-регулируемый асинхронный короткозамкнутый электропривод.

Применяют при высоких требованиях к диапазону и плавности регулирования скорости.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Электрооборудование крана выполняется и эксплуатируется в повторно-кратковременном режиме - S3. В зависимости от продолжительности включения ПВ электрооборудования различают четыре разновидности:

Л- легкий, характеризуется продолжительностью включения 10-15%, основная нагрузка 25% от номинала. В таком режиме работают строительно-монтажные краны.

С- средний, ПВ 15-25% краны механических и сборных цехов машиностроительных заводов.

Т – тяжелый, ПВ= 25-40%, краны производственных цехов и складов с крупносерийным производством.

ТВ - весьма тяжелый, ПВ=40-60%, технологические краны металлургического производства.

К основным типам электрических защит кранов мостового типа относятся:

1. Максимальная токовая защита от токов перегрузки и токов короткого замыкания осуществляется реле максимального тока, автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями.

2. Нулевая защита от самозапуска двигателя после отключения и восстановления напряжения.

3. На всех механизма крана предусматривается нормально замкнутые тормоза, на кранах взрывопожароопасных цехов два тормоза с разными типами привода.

4. Для ограничения конечных положений крана применяются конечные выключатели.

5. Для защиты цепей управления от токов к.з. применяются плавкие предохранители.

## 1.2 Анализ вариантов технических решений

Оценку и сравнение вариантов реализации силовой части электропривода механизма передвижения крана будем производить в соответствии с методом экспертных оценок.

Сравнение вариантов решения производится относительно n-характеристик системы, важных с точки зрения цели проектирования, путем сравнения определенных значений соответствующих показателей качества  $q_i$ , а также с учетом весового коэффициента  $\lambda$ .

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ					

Выбор наилучшего решения производится определением средневзвешенной суммы, лучший вариант имеет большую сумму:

$$S_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot q_i, \quad (1.1)$$

где  $\lambda_i$  - весовой коэффициент i-го варианта;

$q_i$  - оценка i-го варианта.

В качестве характеристик для сравнения выбранных вариантов будем рассматривать следующие:

- стоимость;
- расход энергии за цикл;
- эксплуатационные расходы;
- коэффициент полезного действия (КПД);
- надежность.

### 1.2.1 Выбор и обоснование системы электропривода механизмов крана

Показатели качества и весовые коэффициенты для выбранных вариантов реализации системы электропривода механизмов крана приведены в таблице 1.2.

Оценочная диаграмма для сравнения вариантов реализации системы электропривода механизмов крана представлена на рисунке 1.6.

Таблица 1.2 – Оценка выбранных вариантов реализации системы электропривода механизмов крана.

Характеристики системы	Стоимость	Расход энергии и за цикл	Эксплуатационные расходы	КПД	Надежность
Весовые коэффициенты	5	5	4	4	5
АДФР с реостатным регулированием	5	3	4	3	4
АДФР с импульсным регулированием	3	4	4	4	4
АДКЗ с частотным регулированием	4	4	4	4	5

В соответствии с таблицей 1.2 произведены расчеты средневзвешенной суммы для каждого из вариантов.

$$S_{АДФР.РР} = 5 \cdot 5 + 5 \cdot 3 + 4 \cdot 4 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 4 = 88 \quad (1.2)$$

$$S_{АДФР.ИР} = 5 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 4 = 87 \quad (1.3)$$

$$S_{АДКЗ} = 5 \cdot 4 + 5 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 5 = 97 \quad (1.4)$$

В результате анализа вариантов реализации системы электропривода механизмов крана, выбираем тип электропривода с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с частотным управлением. Данный тип привода отвечает всем необходимым характеристикам проектируемого электропривода.

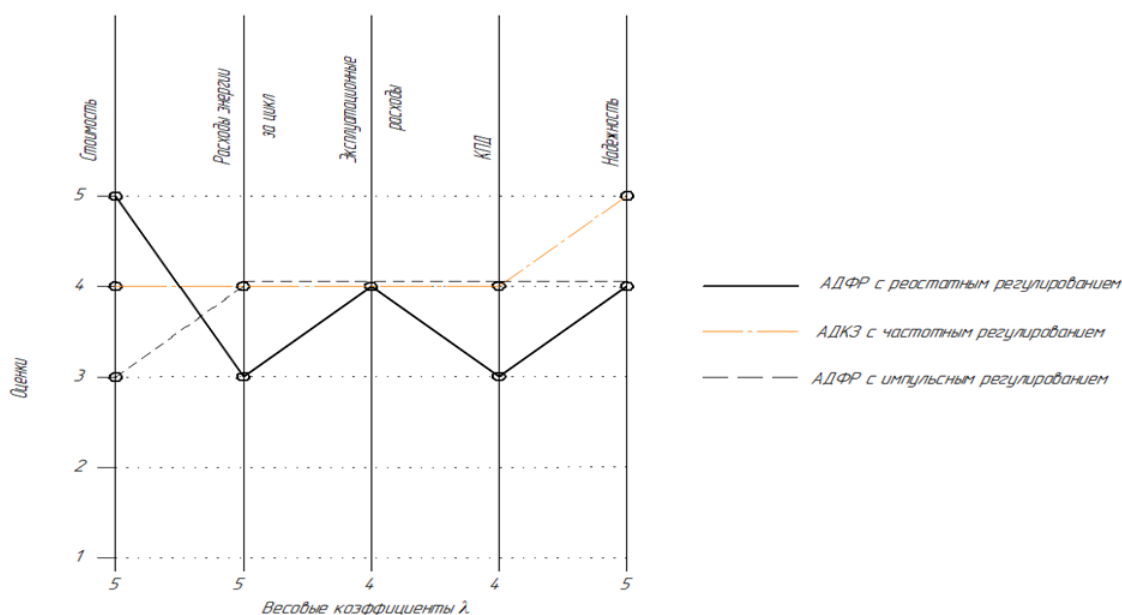


Рисунок 1.6 – Оценочная диаграмма вариантов реализации системы электропривода механизмов крана

### 1.2.2 Частотное управление в крановых электроприводах

Вопросы развития частотных преобразователей и их применения в промышленных электроприводах для управления различными механизмами рассмотрены в следующих источниках:

1 Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием/ Г. Г. Соколовский. – Москва: Изд-во Академия 2006. – 265 с.

2 Макаров, Л. Н. Двигатели новой серии для частотно-регулируемого электроприводакранов / Л. Н. Макаров. – Москва: Изд-во НИУ МЭИ,2005. – 59 с.

3 Баев, А. П. Современные системы управления асинхронным электроприводом /А. П. Баев, А. С. Исаков. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургский национальныйисследовательский университет информационных технологий, механики и оптики 2006. –34 с.

4 Электрооборудование грузоподъемных кранов / Е.М. Певзнер [идр.] под ред. Г.Б. Онищенко М.: Россельхозакадемия, 2009. 360с.

Частотно-регулируемый электропривод за последнее годы стал основой при разработке проектов новых грузоподъемных кранов. Кроме того, большинство эксплуатирующих организация при проведении модернизации кранов мостового типа чаще всего рассматривают в качестве основы частотные электропривода.

Внедрение преобразователей частоты (ПЧ) позволило получить любой требуемый для крановых механизмов диапазон регулирования скорости, как в двигательном, так и в тормозном режимах работы. Ранее подобные диапазоны регулирования достигались лишь в случае применения электродвигателей постоянного тока с не очень эффективными методами регулирования.

Еще одним преимуществом применения частотного регулирования скорости в крановом электроприводе является повышение удобства управления краном, существенно увеличение ресурса механических передач, тормозов и металлоконструкций из-за снижениядинамических нагрузок при пусках и торможениях механизмов.

В крановом электроприводе наибольшее распространение получили преобразователи частоты ведущих мировых электротехнических фирм, таких как Siemens, АВВ, Hitachi, Schneider Electric. Ряд производителей выпускает специализированные преобразователи для кранового оборудования с соответствующим набором функциональных возможностей: управление тормозом, подъем с повышенной скоростью, предотвращение ослабления грузового каната и т.д. Среди отечественных производителей преобразователей частоты стоит выделить преобразователи частоты «ОВЕН», которые благодаря широкой номенклатуре дополнительных модулей для систем управления получили широкое распространение в промышленном секторе.

Отечественные крановые электродвигатели серий (4)МТКФ,(4)МТКН показали свою достаточную надежность при работе в частотно-регулируемом электроприводе. Поскольку большую часть цикла электроприводы кранов общего назначения работает на номинальной скорости, вбольшинстве случаев возможно применение электродвигателей с самовентиляцией.

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ				

Таким образом, вопреки сложившемуся мнению, обязательное применение двигателей с независимой вентиляцией в крановом частотно-регулируемом электроприводе не требуется. При модернизации кранов допустимо использовать существующие электродвигатели с фазным ротором с закороченными контактными кольцами.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

## 2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ

2.1 Разработка схемы электрической принципиальной, силовой части электропривода механизмов крана

2.1.1 Расчет мощности и выбор приводного двигателя электропривода механизмов крана

Для определения времени отключения электрооборудования крана рассчитываем время работы привода подъема, тележки и моста.

$$t_n = \frac{H}{v_n}, c \quad (2.1)$$

$$t_T = \frac{L_m}{v_T}, c \quad (2.2)$$

$$t_M = \frac{L_{мп}}{v_M}, c \quad (2.3)$$

где  $v_n, v_T, v_M$  – скорость подъема, тележки, моста, м/с

$H$  – высота подъема, м

$L_m$  – пролет моста, м

$L_{мп}$  – длина подкрановых путей, м

$$t_n = \frac{25}{0,3} = 83,3, c$$

$$t_T = \frac{23}{0,5} = 46, c$$

$$t_M = \frac{80}{0,6} = 133,3, c$$

Так как проектируемый кран находится в механическом цехе тяжелого машиностроения, принимаем режим его работы как тяжелый (Т) ПВ=25-40%.  
Находим суммарное время включения электроприводов крана.

Рассчитываем суммарное время работы крана:

$$\Sigma t_p = 4 * t_n + 2 * t_M + 2 * t_T \quad (2.4)$$

где  $t_n$ - время подъёма, с

$t_T$ - время передвижения тележки, с

$t_M$ - время передвижения моста, с

$$\Sigma t_p = 4 * 83,3 + 2 * 46 + 2 * 133,3 = 691,8c$$

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16





Статическая мощность при подъеме крюка без груза:

$$P_{\Pi 0} = \frac{m_0 \cdot g}{\eta_0} \cdot U_{\Pi} \cdot 10^{-3} \quad (2.8)$$

где  $\eta_0$  – КПД механизма подъема без нагрузки

$$\eta_0 = \frac{K_{загр} \cdot \eta}{0,6 \cdot (1 - \eta) + 0,6 \cdot K_{загр} \cdot \eta + 0,4 \cdot K_{загр}} \quad (2.9)$$

где  $K_{загр}$  - коэффициент загрузки

$$K_{загр} = \frac{m_0}{m + m_0} = \frac{1,1}{5 + 1,1} = 0,18 \quad (2.10)$$

$$\eta_0 = \frac{0,18 \cdot 0,78}{0,6 \cdot (1 - 0,78) + 0,6 \cdot 0,18 \cdot 0,78 + 0,4 \cdot 0,18} = 0,49$$

$$P_{\Pi 0} = \frac{1100 \cdot 9,81}{0,49} \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 6,6 \text{ кВт}$$

Статическая мощность двигателя при спуске крюка в силовом режиме:

$$P_0 = m_0 \cdot g \cdot U_{\Pi} \cdot \left( \frac{1}{\eta_0} - 2 \right) \cdot 10^{-3} \quad (2.11)$$

$$P_0 = 1,1 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \cdot \left( \frac{1}{0,49} - 2 \right) = 0,13 \text{ кВт}$$

Рассчитываем эквивалентную мощность, приведенную к стандартной продолжительности отключения 100%.

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum (P^2 \cdot t_{РП})}{4 \cdot t_{РП}} \cdot \frac{ПВ}{ПВ_{СТ}}} \quad (2.12)$$

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{(P_{\Pi Г}^2 + P_{СГ}^2 + P_{\Pi 0}^2 + P_{С0}^2) \cdot t_{РП}}{4 \cdot t_{\Pi Г}} \times \frac{ПВ_P}{ПВ_{СТ}}}$$

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ				

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum(23^2 + 25,8^2 + 6,6^2 + 0,13^2) \cdot 83,3}{4 \cdot 83,3}} \cdot \frac{48,2}{100} = 12,2 \text{ кВт}$$

Номинальную мощность двигателя выбираем по условию

$$P_{\text{НОМ}} \geq K_{\text{зап}} \cdot P_{\text{Э}}$$

где  $K_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса, принимаем  $K_{\text{зап}}=1,1$

$$P_{\text{НОМ}} \geq 1,1 \cdot 12,2 = 13,4 \text{ кВт}$$

Исходя из средневзвешенной мощности, выбираем асинхронный короткозамкнутый двигатель АМТК160М6 со следующими техническими характеристиками:

Мощность номинальная	$P_{\text{Н}}=15 \text{ кВт}$
Номинальная скорость вращения:	$n_{\text{Н}}=970 \text{ об/мин}$
Номинальное напряжение:	$U_{\text{Н}}=380 \text{ В}$
Ток статора:	$I_{1\text{НОМ}}=32 \text{ А,}$
КПД	$\eta_{\text{Н}}=88 \%,$
Коэффициент мощности	$\cos\varphi=0,81$
Номинальный момент	$M_{\text{Н}}=148 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Максимальный вращающий момент	$M_{\text{макс}}=440 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Момент инерции ротора двигателя:	$J=0,14 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$
Продолжительность включения:	$\text{ПВ}=100\%.$

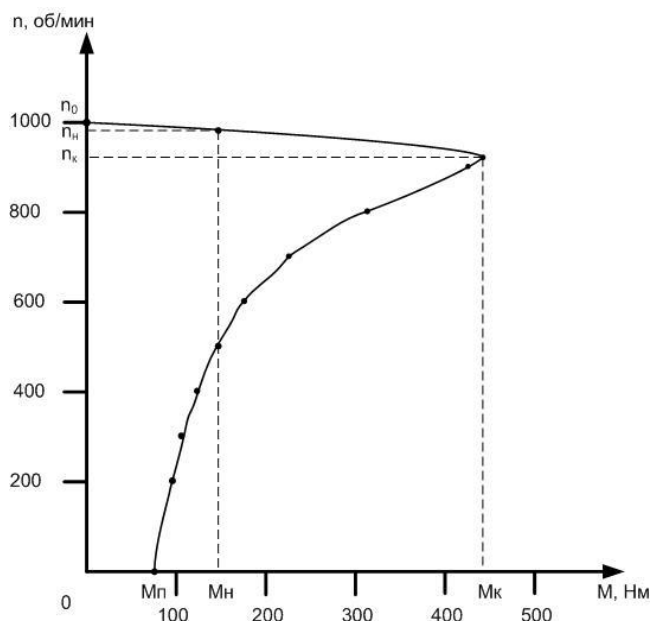


Рисунок 2.1 – Механическая характеристика асинхронного двигателя АМТК160М6

АМТК двигатели 3-фазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Класс изоляции F. Степень защиты IP 54, IP 55. Режим работы S1.

Электродвигатели предназначены для работы с преобразователями частоты и исключают протекание емкостного тока через подшипники. Асинхронный электродвигатель данной серии оснащен электромагнитным тормозом, независимой вентиляцией. Для контроля температуры в электродвигатели встроены датчики температуры, обеспечивающие защиту от перегрева.

Проверка двигателя на нагрев осуществляется по эквивалентному моменту, который рассчитывается с учетом пусковых и тормозных моментов двигателя.

Определяем передаточное число редуктора.

$$i_p = \frac{2\pi \cdot n_{ном} \cdot R_б}{60 \cdot V_{II} \cdot i_{II}} \quad (2.13)$$

где  $n_{ном}$  – число оборотов двигателя, об/мин  
 $R_б$  – радиус барабана подъемной лебедки, м.  
 $i_{II}$  – передаточное число полиспаста.

$$i_p = \frac{970 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,335}{2}}{60 \cdot 0,3 \cdot 2} = 28,3$$

Выбираем стандартный цилиндрический редуктор с передаточным числом ближайшим к расчетному, трехступенчатый редуктор с передаточным числом  $i_p=30$ .

Статический момент при подъеме груза, Н·м

$$M_{шт} = \frac{(m + m_0) \cdot g \cdot R_б}{\eta \cdot i_{II} \cdot i_p} \cdot 10^3 = \quad (2.14)$$

$$= \frac{(5 + 1,1) \cdot 9,81 \cdot 0,1675}{0,78 \cdot 2 \cdot 30} \cdot 10^3 = 214,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Проверку двигателя и выбранного преобразователя частоты на перегрузочную и пусковую способность осуществляем исходя из максимальной перегрузочной способности ПЧ обеспечивать  $2M_H$  двигателя в течении 60 с по условию.

Пусковой момент частотно-регулируемого двигателя:

$$M_{пуск} = 2M_H$$

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ					

$$M_{\text{пуск}} > M_{\text{пр}}$$

$$2 \cdot 148 = 296 \text{ Н} \cdot \text{м} > 214,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Следовательно, ПЧ и двигатель проходит проверку на перегрузочную способность.

Статический момент при тормозном спуске груза.

$$M_{CF} = \frac{(m + m_0) \cdot g \cdot R_B}{i_{\Pi} \cdot i_P} \left(2 - \frac{1}{\eta}\right) \cdot 10^3 =$$

$$= \frac{(5 + 1,1) \cdot 9,81 \cdot 0,1675}{2 \cdot 30} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,78}\right) \cdot 10^3 = 120 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.15)$$

Статический момент при подъеме пустого крюка.

$$M_{\Pi 0} = \frac{m_0 \cdot g \cdot R_B}{i_{\Pi} \cdot i_P \cdot \eta_0} \cdot 10^3 = \frac{1,1 \cdot 9,81 \cdot 0,1675}{2 \cdot 30 \cdot 0,49} \cdot 10^3 = 61,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.16)$$

Статический момент при силовом спуске крюка.

$$M_{C0} = \frac{m_0 \cdot g \cdot R_B}{i_{\Pi} \cdot i_P} \left(\frac{1}{\eta_0} - 2\right) \cdot 10^3 =$$

$$= \frac{1,1 \cdot 9,81 \cdot 0,1675}{2 \cdot 30} \left(\frac{1}{0,49} - 2\right) \cdot 10^3 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.17)$$

Приведенный момент инерции электропривода крана при работе с грузом.

$$J = K \cdot J_{\partial} + (m_{\Gamma} + m_0) \cdot \frac{U_{\Pi}^2}{\omega_{\text{ном}}^2} \quad (2.18)$$

где К – коэффициент, учитывающий моменты инерции элементов редуктора К=1,1

$J_g$  – инерции двигателя кг·м<sup>2</sup>

$J_M$  – момент инерции муфты соединяющий двигатель с редуктором кг·м<sup>2</sup>

$\omega_{\text{ном}}$  – угловая скорость двигателя с<sup>-1</sup>

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 970}{60} = 101,6 \text{ с}^{-1} \quad (2.19)$$

$$J_2 = 1,1 \cdot 0,14 + (5000 + 1100) \cdot \frac{0,3^2}{101,6^2} = 0,207 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Приведенный момент инерции электропривода без груза

$$J_0 = 1,1 \cdot 0,14 + 1100 \cdot \frac{0,3^2}{101,6^2} = 0,163 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Так как преобразователь частоты для кранового привода должен обладать функцией векторного управления, что позволяет двигателю развивать момент необходимый для разгона и торможения за заданное время. Задаем время пуска и торможения 1с, исходя из допустимого диапазона ускорения привода и снижения износа механических частей электропривода. Рассчитаем пусковые и тормозные моменты двигателя при заданном времени.

Пусковой момент необходимый для разгона привода при подъеме груза за заданное время

$$M_{\text{пуск.пг}} = J \frac{\omega_{\text{ном}} - 0}{t_{\text{пуск}}} + M_{\text{пг}} = 0,207 \cdot \frac{101,6}{1} + 214,2 = 235,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тормозной момент двигателя необходимый для остановки при подъеме груза за заданное время

$$M_{\text{т.пг}} = J \frac{0 - \omega_{\text{ном}}}{t_{\text{торм}}} + M_{\text{пг}} =$$

(2.20)

$$= 0,207 \cdot \frac{-101,6}{1} + 214,2 = 193,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковой момент необходимый для разгона привода при тормозном спуске груза за заданное время

$$M_{\text{пуск.сг}} = J \frac{\omega_{\text{ном}} - 0}{t_{\text{пуск}}} - M_{\text{сг}} = 0,207 \cdot \frac{101,6}{2} - 120 = -98,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Знак минус показывает противоположное направление действия момента по отношению к направлению вращения.

Тормозной момент двигателя необходимый для остановки при тормозном спуске груза за заданное время

$$M_{\text{т.сг}} = J \frac{0 - \omega_{\text{ном}}}{t_{\text{торм}}} - M_{\text{сг}} = 0,207 \cdot \frac{-102,6}{1} - 120 = -141 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.21)$$

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Пусковой момент необходимый для разгона привода при подъеме пустого крюка за заданное время

$$M_{\text{пуск.по}} = J_o \frac{\omega_{\text{ном}} - 0}{t_{\text{пуск}}} + M_{\text{по}} = 0,163 \cdot \frac{101,6}{1} + 61,4 = 77,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.22)$$

Тормозной момент двигателя необходимый для остановки двигателя при подъеме пустого крюка за заданное время

$$M_{\text{т.по}} = J_o \frac{0 - \omega_{\text{ном}}}{t_{\text{торм}}} + M_{\text{по}} = 0,163 \cdot \frac{-102,6}{1} + 61,4 = 44,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.23)$$

Пусковой момент необходимый для разгона привода при силовом спуске пустого крюка за заданное время

$$M_{\text{пуск.с0}} = J_o \frac{\omega_{\text{ном}} - 0}{t_{\text{пуск}}} + M_{\text{с0}} = 0,163 \cdot \frac{101,6}{1} + 1,2 = 17,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тормозной момент двигателя необходимый для остановки двигателя при силовом спуске пустого крюка за заданное время

$$M_{\text{т.с0}} = J_o \frac{0 - \omega_{\text{ном}}}{t_{\text{торм}}} + M_{\text{с0}} = 0,163 \cdot \frac{-101,6}{1} + 1,2 = -15,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Время работы привода подъема с установившейся скоростью

$$t_{\text{уст}} = t_{\text{рп}} - t_{\text{пуск}} - t_{\text{торм}} = 691,8 - 2 - 2 = 687,8 \text{ с}$$

Эквивалентный момент двигателя с учетом продолжительности включения

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i} \cdot \frac{ПВ}{ПВ_{\text{см}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{235,2^2 \cdot 1 + 214,2^2 \cdot 81,3 + 193,2^2 \cdot 1 + 98,9^2 \cdot 1 + 120^2 \cdot 81,3 + 141^2 \cdot 1 +}{4 \cdot 83,3} \cdot \frac{48,2}{100}} = 132,5 \text{ Нм} \quad (2.24)$$

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ					

Условия проверки двигателя на нагрев  $M_{НОМ} \geq M_{ЭКВ}$ .

$$148 \text{ Н}\cdot\text{м} \geq 132,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Т.к. условие выполняется, двигатель по нагреву проходит.

Предварительно выбранный двигатель прошел проверку по самым тяжелым условиям работы.

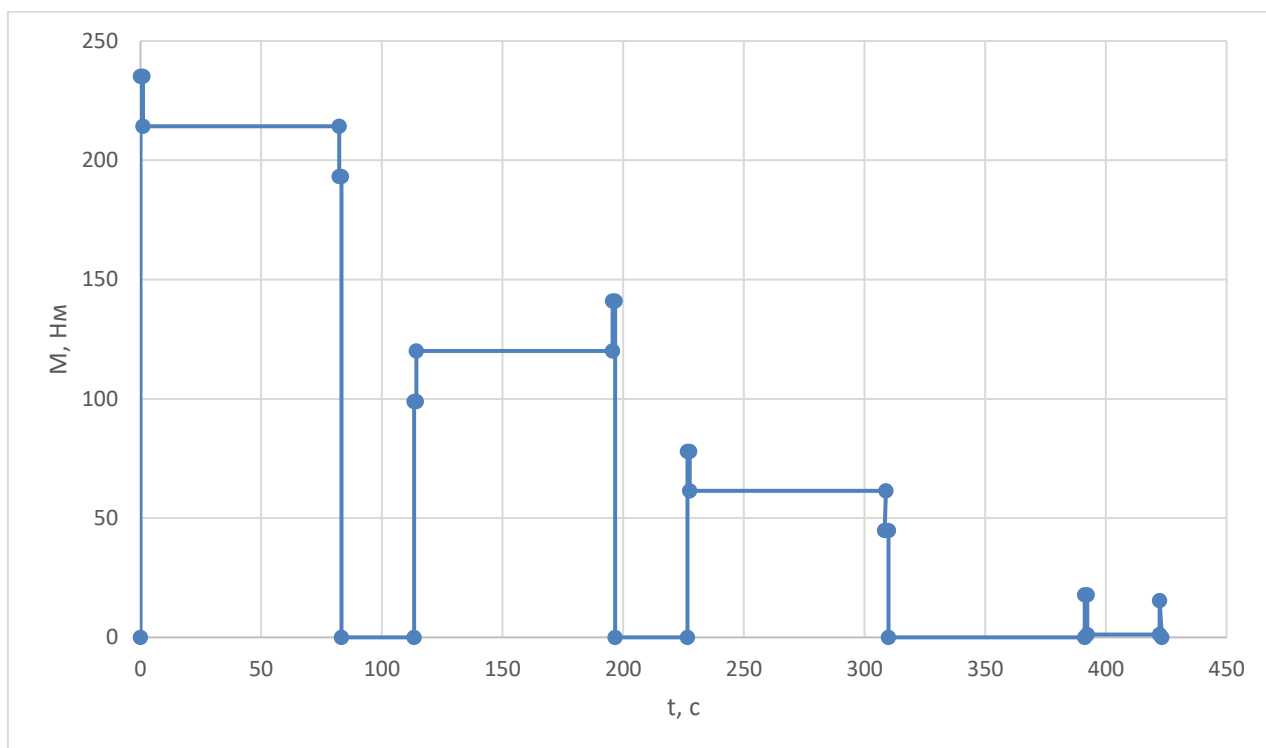


Рисунок 2.2 – Нагрузочная диаграмма привода подъема крана

Статическая нагрузка на двигатель перемещения создается силой трения. Статический момент сопротивления, действующий при этом на валу двигателя, носит реактивный характер т.е. всегда препятствует движению.

Статическая мощность двигателя при перемещении тележки с грузом

$$P_z = K_m \frac{(m + m_m) \cdot g \cdot (\mu \cdot r_{ц} + f)}{R_k \cdot \eta} \cdot V_T \quad (2.25)$$

где  $K_T$  – коэффициент трения катков 2 – 2,5  
 $m_m$  – масса тележки, т  
 $m$  – грузоподъемность, т  
 $\mu$  – коэффициент трения скольжения;  
 $r_{ц}$  – радиус цапфы катков тележки, м  
 $R_k$  – радиус катков тележки, м  
 $\eta_m$  – КПД механизма перемещения  
 $f$  – коэффициент трения качения.



$$P_2 = 2 \cdot \frac{(5+3) \cdot 9,8 \cdot (0,02 \cdot 0,035 + 0,007)}{0,125 \cdot 0,75} \cdot 0,5 = 6,6 \text{ кВт}$$

Статическая мощность привода тележки при перемещении без груза

$$P_0 = K_m \frac{m_m \cdot g \cdot (\mu \cdot r_u + f)}{R_K \cdot \eta_{TO}} \cdot V_T \quad (2.26)$$

где  $\eta_{TO}$  - КПД механизма тележки для перемещения без груза

$$\eta_{TO} = \frac{K_{загр} \cdot \eta}{0,6 \cdot (1 - \eta) + 0,6 \cdot K_{загр} \times \eta + 0,4 \cdot K_{загр}} \quad (2.27)$$

где  $K_{загр}$  - коэффициент загрузки

$$K_{загр} = \frac{m_m}{m + m_m} = \frac{3}{5 + 3} = 0,375 \quad (2.28)$$

$$\eta_0 = \frac{0,375 \cdot 0,75}{0,6 \cdot (1 - 0,75) + 0,6 \cdot 0,375 \cdot 0,75 + 0,4 \cdot 0,375} = 0,6$$

$$P_0 = 2 \cdot \frac{3 \cdot 9,8 \cdot (0,02 \cdot 0,035 + 0,007)}{0,125 \cdot 0,6} \cdot 0,5 = 3 \text{ кВт}$$

Рассчитываем эквивалентную мощность, приведенную к стандартной продолжительности отключения 100%.

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{P_2^2 \cdot t_{pm} + P_0^2 \cdot t_{pm}}{2 \times t_{pm}} \cdot \frac{ПВ}{ПВ_{СТ}}} \quad (2.29)$$

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum (6,6^2 + 3^2) \times 46}{2 \times 46}} \times \frac{13,3}{100} = 1,9 \text{ кВт}$$

Номинальную мощность двигателя тележки выбираем по условию

$$P_{\text{НОМ}} \geq K_{\text{зап}} \cdot P_{\text{Э}}$$

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ				

где  $K_{зап}$  – коэффициент запаса, принимаем  $K_{зап}=1,1$

$$P_{ном} \geq 1,1 \cdot 1,9 = 2,1 \text{ кВт}$$

Исходя из средневзвешенной мощности, выбираем асинхронный двигатель АМТК112МА6 со следующими техническими характеристиками:

Мощность номинальная	$P_H = 3 \text{ кВт}$
Номинальная скорость вращения:	$n_H = 955 \text{ об/мин}$
Номинальное напряжение:	$U_H = 380 \text{ В}$
Ток статора:	$I_{1ном} = 7,2 \text{ А},$
КПД	$\eta_H = 83 \%,$
Коэффициент мощности	$\cos\varphi = 0,76$
Номинальный момент	$M_H = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Максимальный вращающий момент	$M_{max} = 84 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Момент инерции ротора двигателя:	$J = 0,0076 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$
Продолжительность включения:	$ПВ = 100\%.$

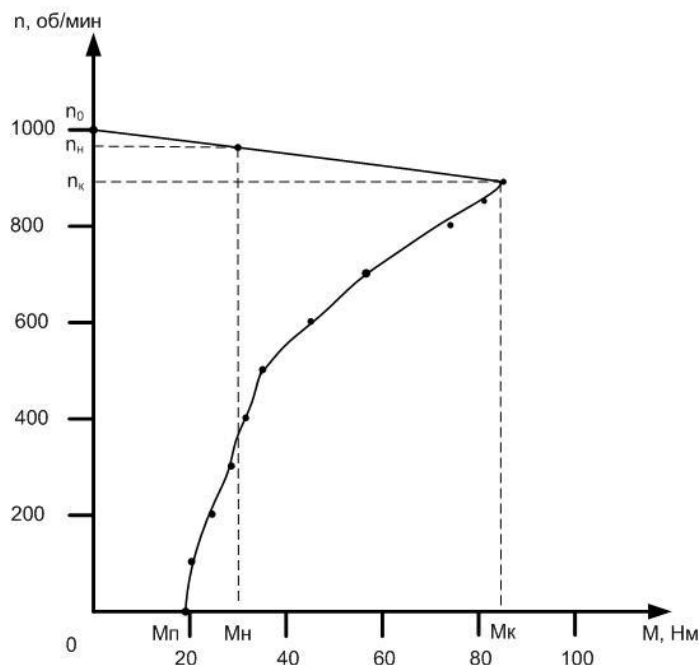


Рисунок 2.3 – Механическая характеристика асинхронного двигателя АМТК112МА6

Определяем передаточное число редуктора.

$$i_p = \frac{2 \cdot n_H \cdot \pi \cdot R_{кт}}{60 \cdot V_T} \quad (2.30)$$

где  $n_{ном}$  – число оборотов двигателя, об/мин

$$i_p = \frac{955 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,250}{2}}{30 \cdot 0,5} = 24,7$$

Исходя из условия выбираем, двухступенчатый редуктор, с передаточным числом 30.

Статический момент при перемещении тележки с грузом:

$$M_z = k_m \frac{(m + m_m) \cdot g \cdot (\mu \cdot r_u + f)}{i_p \cdot \eta} \cdot 10^3 =$$

$$= 2 \cdot \frac{(5 + 3) \cdot 9,8 \cdot (0,02 \cdot 0,035 + 0,007)}{30 \cdot 0,75} \cdot 10^3 = 53,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Проверку двигателя на перегрузочную и пусковую способность осуществляем исходя из максимальной перегрузочной способности двигателя с условием возможной потери напряжения на 15 % по условию

$$M_{\text{пуск}} = 0,85^2 \cdot M_{\text{макс}} \quad (2.31)$$

$$M_{\text{пуск}} > M_{\Gamma}$$

При выполнении условия двигатель проходит проверку на перегрузочную способность.

$$M_{\text{пуск}} = 60,7 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\Gamma} = 53,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статическая мощность двигателя при перемещении моста крана с грузом

$$P_{\Gamma} = \frac{(5 + 8) \cdot 9,8 \cdot (0,02 \cdot 0,035 + 0,007)}{0,28 \cdot 0,75} \cdot 0,6 = 5,6 \text{ кВт}$$

Статическая мощность привода моста при перемещении без груза

$$P_0 = k_T \cdot \frac{m_M \cdot g \cdot (\mu \cdot r_u + f)}{R_K \cdot \eta_{\text{ТО}}} \cdot V_M \quad (2.32)$$

где  $\eta_{\text{ТО}}$  - КПД механизма моста для перемещения без груза

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ					

$$\eta_{T0} = \frac{K_{загр} \cdot \eta}{0,6 \cdot (1 - \eta) + 0,6 \cdot K_{загр} \times \eta + 0,4 \cdot K_{загр}} \quad (2.33)$$

где  $K_{загр}$  - коэффициент загрузки

$$K_{загр} = \frac{m_M}{m + m_M} = \frac{8}{5 + 8} = 0,62 \quad (2.34)$$

$$\eta_0 = \frac{0,62 \cdot 0,75}{0,6 \cdot (1 - 0,75) + 0,6 \cdot 0,62 \cdot 0,75 + 0,4 \cdot 0,62} = 0,76$$

$$P_0 = 2 \cdot \frac{8 \cdot 9,8 \cdot (0,02 \cdot 0,035 + 0,007)}{0,28 \cdot 0,76} \cdot 0,6 = 3,4 \text{ кВт}$$

Рассчитываем эквивалентную мощность, приведенную к стандартной продолжительности отключения 100%.

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{P_z^2 \cdot t_{pm} + P_z^2 \cdot t_{pm}}{2 \cdot t_{pm}} \cdot \frac{ПВ}{ПВ_{СТ}}} \quad (2.35)$$

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum (5,6^2 + 3,4^2) \cdot 133,3}{2 \cdot 133,3} \cdot \frac{38,6}{100}} = 3,8 \text{ кВт}$$

Номинальную мощность двигателя моста крана выбираем по условию

$$P_{\text{НОМ}} \geq 0,5 K_{зап} \cdot P_{\text{ЭКВ}}$$

где  $K_{зап}$  - коэффициент запаса, принимаем  $K_{зап} = 1,1$

$$P_{\text{НОМ}} \geq 0,5 \cdot 1,1 \cdot 3,8 = 2,2 \text{ кВт}$$

Исходя из средневзвешенной мощности, выбираем асинхронный двигатель АМТК12МА6 со следующими техническими характеристиками:

Мощность номинальная	$P_H = 3 \text{ кВт}$
Номинальная скорость вращения:	$n_H = 955 \text{ об/мин}$
Номинальное напряжение:	$U_H = 380 \text{ В}$
Ток статора:	$I_{1\text{НОМ}} = 7,2 \text{ А},$
КПД	$\eta_H = 83,0 \%$ ,
Коэффициент мощности	$\cos \varphi = 0,76$
Номинальный момент	$M_H = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}$

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ					

Максимальный вращающий момент  
 Момент инерции ротора двигателя:  
 Продолжительность включения:

$M_{\max}=84 \text{ Н}\cdot\text{м}$   
 $J=0,0076 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  
 ПВ=100%.

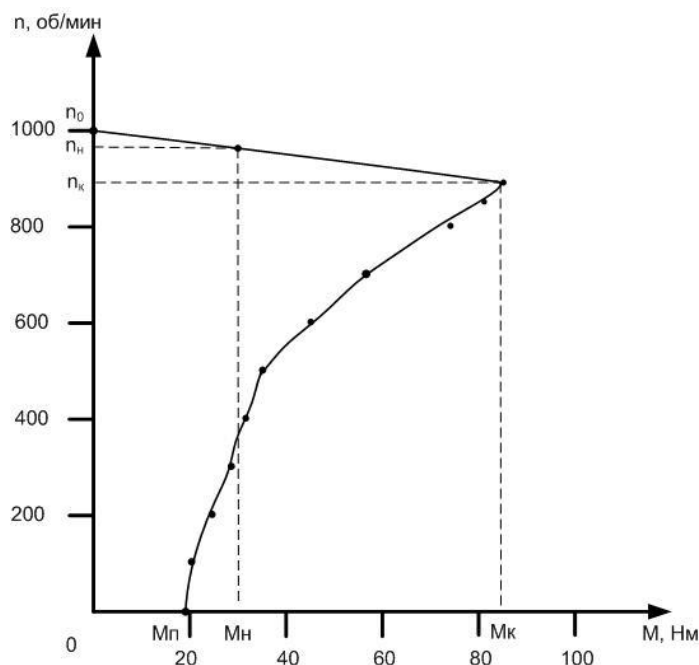


Рисунок 2.4 – Механическая характеристика асинхронного двигателя АМТК112МА6

Определяем передаточное число редуктора.

$$i_P = \frac{2 \cdot n_H \cdot \pi \cdot R_{\text{кт}}}{60 \cdot V_T} \quad (2.36)$$

где  $n_{\text{ном}}$  – число оборотов двигателя, об/мин

$$i_P = \frac{955 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,560}{2}}{30 \cdot 0,6} = 56$$

Исходя из условия выбираем, двухступенчатый редуктор с передаточным числом 80.

Статический момент при перемещении моста крана с грузом, Н·м

$$M_z = k_m \frac{(m + m_m) \cdot g \cdot (\mu \cdot r_u + f)}{i_P \cdot \eta} \cdot 10^3 =$$

$$= 2 \cdot \frac{(5 + 8) \cdot 9,8 \cdot (0,02 \cdot 0,035 + 0,007)}{80 \cdot 0,75} \cdot 10^3 = 32,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Проверку двигателя на перегрузочную и пусковую способность осуществляем исходя из максимальной перегрузочной способности двигателя с условием возможной потери напряжения на 15 % по условию

$$M_{\text{пуск}} = 0,85^2 \cdot M_{\text{макс}} \quad (2.37)$$

$$M_{\text{пуск}} > M_{\Gamma}$$

При выполнении условия двигатель проходит проверку на перегрузочную способность.

$$M_{\text{пуск}} = 92,5 > M_{\Gamma} = 32,7$$

## 2.2 Расчет и выбор преобразователя

По мощности и току двигателей подъема, тележки и моста выбираем преобразователь частоты фирмы Шнайдер Электрик серии Altivar71.

Серия преобразователей частоты Altivar 71 отвечает самым строгим требованиям применений благодаря использованию разнообразных законов управления двигателем и многочисленным функциональным возможностям.

- момент и повышенная точность при работе на очень низкой скорости и улучшенные динамические характеристики с алгоритмами векторного управления потоком в разомкнутой или замкнутой системе привода;

- расширенный диапазон выходной частоты для высокоскоростных двигателей;

- точность поддержания скорости и энергосбережение для разомкнутого привода с асинхронным двигателем;

- плавное, безударное управление несбалансированным и механизмами с помощью системы адаптаций и мощности.



Рисунок 2.5 – Внешний вид ПЧ Altivar 71

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Программирование и управление преобразователем осуществляется на графическом терминале. Внешний вид графического терминала представлен на рисунке 2.6

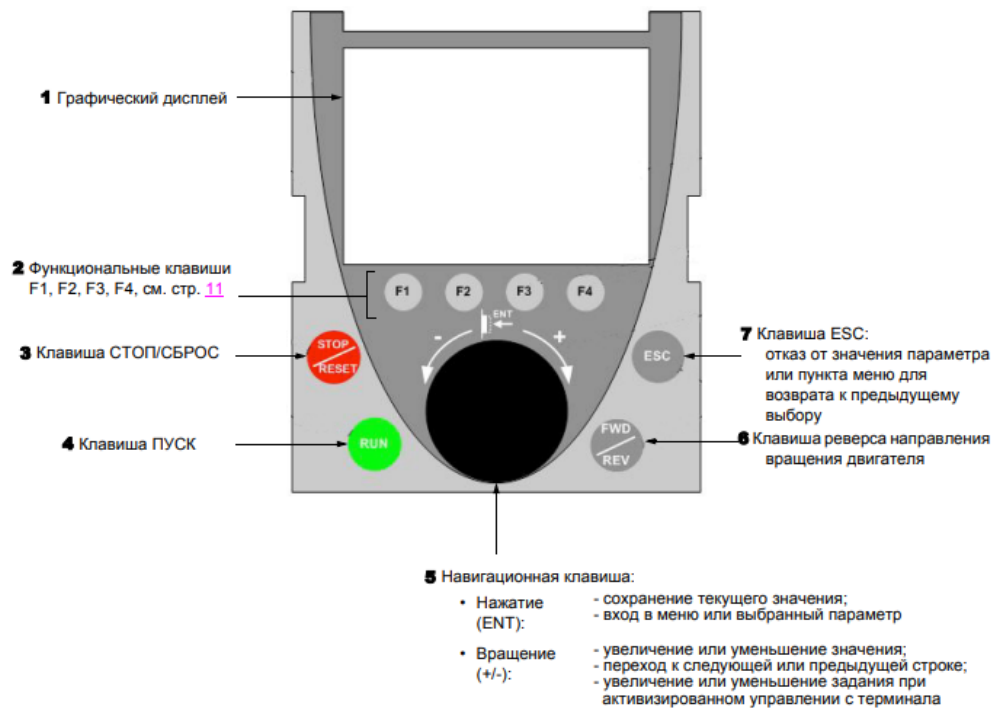


Рисунок 2.6 – Графический терминал преобразователя

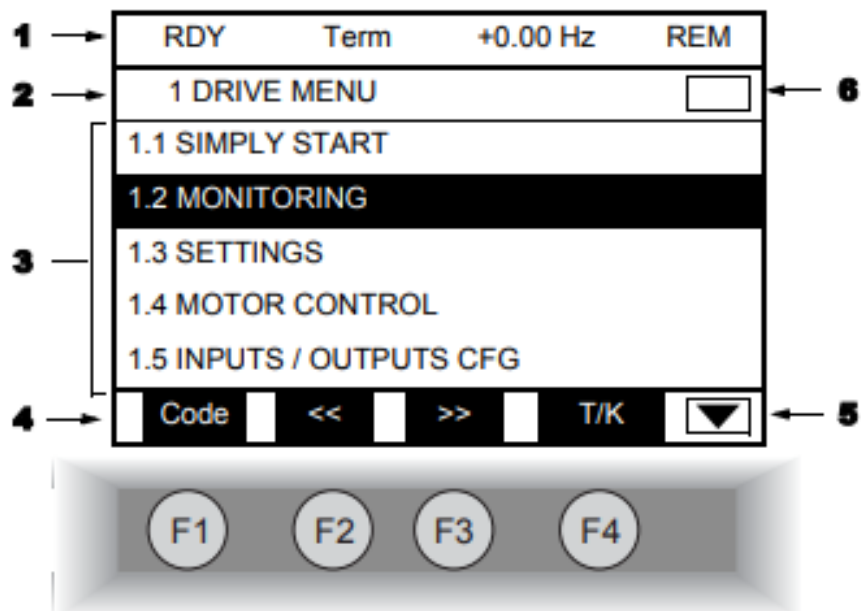


Рисунок 2.7 – Графический дисплей терминала преобразователя

Под номером 1 находится строка индикации, её содержание конфигурируется, при заводской настройке на ней будут отображаться: состояние преобразователя и активизированный канал управления.

Номер 2 – строка меню, на ней отображается индикация имени текущего меню или подменю.

В окне под номером 3 отображается меню, подменю, параметры, числовые значения и т.д.

В строке 4 отображаются функции клавиш под ними.

Экран основного меню представлен на рисунке 2.8.

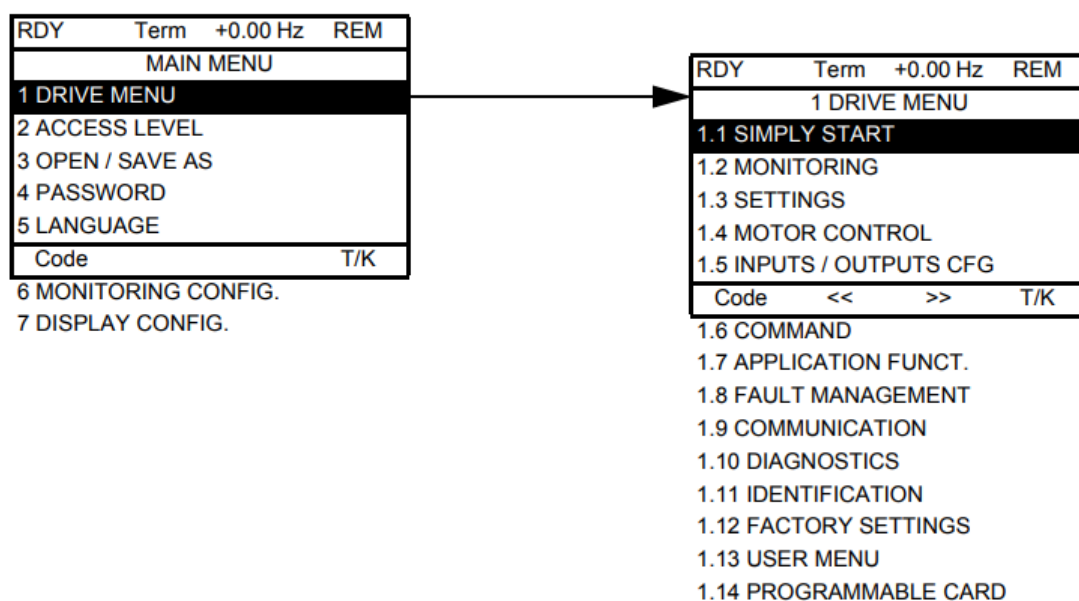


Рисунок 2.8 – Основное меню

Основное меню состоит из следующих элементов:

1. Меню ПЧ;
2. Уровень доступа. Определяет доступность меню.
3. Открыть/сохранить. Позволяет сохранять и открывать файлы конфигурации ПЧ;
4. Пароль. Защита конфигураций с помощью пароля.
5. Язык. Выбор языка.
6. Экран контроля. Индивидуализация информации, отображаемой на графическом терминале при работе;
7. Конфигурация отображения. Индивидуализация параметров, создания пользовательского меню, индивидуализация доступа и защиты меню и параметров.

Схема доступа к меню ПЧ представлено на рисунке 2.9



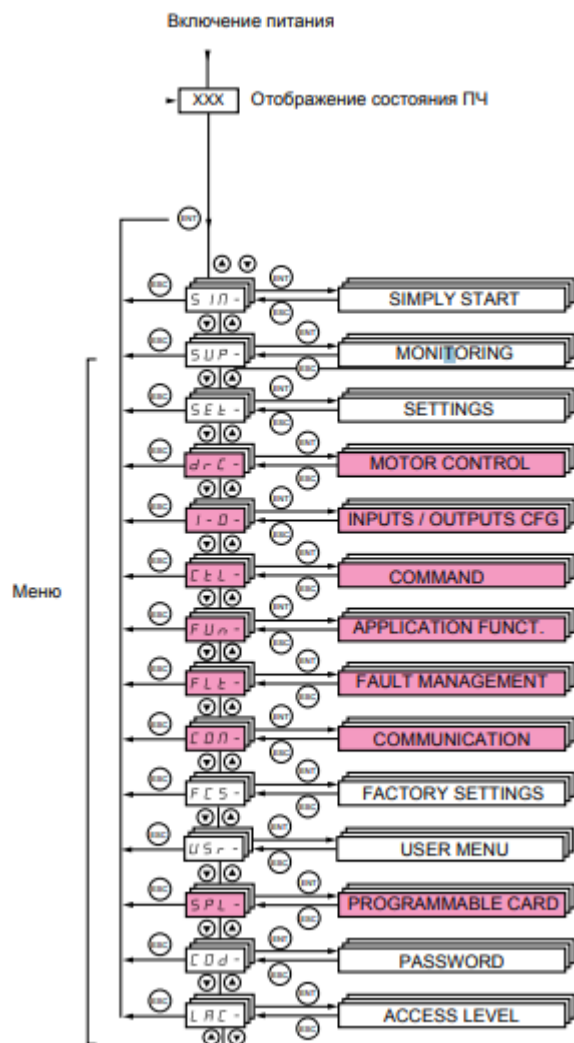


Рисунок 2.9 – Схема доступа к меню ПЧ

Так как преобразователь частоты будет работать с электроприводом, то первым делом для настройки, после первого включения для обеспечения корректной работы, нужно ввести номинальные параметры электродвигателя. Их можно ввести в меню «1.4 MOTORCONTROL».

Первый шаг: выбор стандартной частоты питания двигателя (bFr). Далее вводятся следующие параметры:

- nPr – номинальная мощность двигателя (кВт);
- UnS – номинальное напряжение двигателя (В);
- nCr – номинальный ток двигателя (А);
- FrS – номинальная частота вращения двигателя (об/мин);
- tFr – максимальная частота (Гц).

Далее нужно произвести автоподстройку для того, чтобы определить параметры схемы замещения двигателя, которые в дальнейшем будут использоваться для настройки регуляторов и законов управления.

Она производится, когда нет команд управления и не должна прерываться. Для начала автоподстройки параметру «Auto-tuning» (Автоподстройка) следует придать значение «Yes». Процесс автоподстройки длится 1 – 2 с, в это время двигатель неподвижен, а из ПЧ слышен шум. Если автоподстройка прошла успешно, то параметр «Auto-tuning» приобретает значение «Done», если автоподстройка прошла неудачно, то параметр «Auto-tuning» приобретает значение «No».

После автоподстройки можем работать с двигателем. В ПЧ предусмотрено ограничение 3-х видов нагрузок двигателя:

- токастатора (1.3 SETTINGS → Current Limitation → I Limit. 2 value)
- момента (1.7 APPLICATIONFUNCT. → Motoringtorquelim/Gen. torquelim (ограничивают момент соответственно в двигательном и генераторном режимах до 300% номинального момента двигателя))
- нагревадвигателя (1.3 SETTINGS→Mot. Therm. Current)

Также можно отслеживать разгон и торможения двигателя при помощи тахограмм. Параметры тахограмм расположены в меню SEt-, [1.3 SETTINGS].

Пределы изменения выходной частоты ПЧ ограничены величинами:

- LSP, [Low speed] – выходная частота ПЧ при нулевом задании, Гц;
- HSP, [High speed] – выходная частота ПЧ при максимальном задании, Гц

Ускорение при одноступенчатом пуске задается с помощью параметра ACC, [Acceleration], который определяет длительность разгона (в секундах) от нулевой до номинальной частоты FrS. Аналогично замедление в процессе торможения настраивается функцией dEC, [Deceleration].

Есть несколько способов остановки электропривода:

- снятие команды [Вперед] или [Назад] с соответствующего логического входа;
- подача команды [Стоп] на логический вход LI1 (при трехпроводном управлении);
- подача логической команды на вход, назначенный для команды остановки одним из способов.

Все необходимые параметры расположены в подменю Stt-, [STOP CONFIGURATION], меню FUn-, [1.7 APPLICATION FUNCT.]. Для первых двух вариантов перехода в режим остановки возможны 4 способа остановки, задаваемые параметром Stt, [Stop type]:

- nSt, [Freewheel stop], – выбег при заблокированном инверторе под действием нагрузки на валу;
- rMP, [Ramp stop], – обычная остановка с использованием рекуперативного торможения двигателя под управлением ПЧ. Может потребоваться тормозной резистор;

- dCI, [DC injection], – динамическое торможение двигателя путем подачи в обмотки статора постоянного тока через инвертор (тормозной резистор не требуется, но тормозной момент снижается по мере торможения);

- FSt, [Fast stop], – быстрая остановка с длительностью торможения dEC, dE2, деленной на коэффициент, заданный параметром dCF, [Ramp divider]. Обычно используется как аварийное торможение в подъемнотранспортных механизмах.

Параметры законов частотного управления расположены преимущественно в меню drC-, [1.4 MOTOR CONTROL].

Частота коммутации силовых ключей инвертора задается параметром SFr, [Switching freq.] в пределах 1...16 кГц.

Для снижения акустического шума, генерируемого ПЧ и двигателем, служит параметр nrd, [Noisereduction].

Закон частотного управления выбирается с помощью параметра Ctt, [Motor control type], предоставляющего следующие возможности:

- UUC, [SVC V] – векторное управление по напряжению без обратной связи по скорости и положению (обеспечивает работу нескольких двигателей, параллельно подключенных к выходу ПЧ);

- UF2, [V/F 2pts] – скалярное частотное управление с поддержанием постоянства соотношения U f (управление «по двум точкам»);

- UF5, [V/F 5pts] – скалярное частотное управление с вольт-частотной характеристикой (ВЧХ), задаваемой пользователем (управление «по пяти точкам»);

- SYn, [Sync. mot.], [Синхронный двигатель] – управление синхронными двигателями с постоянными магнитами и синусоидальной ЭДС в разомкнутой системе (при выборе данной опции открывается доступ к параметрам СД, а параметры АД становятся недоступными);

- UFq, [U/F Quad.], [U/F квадратичный] – управление двигателями с моментом, квадратично зависящим от частоты;

- nLd, [Energy Sav.], [Энергосбережение] – энергосберегающий закон управления.

Можно также настроить параметры регуляторов и обратных связей. Все параметры расположены в меню SEt-.

При использовании векторных законов управления доступны для изменения параметры пропорционально-интегрального регулятора скорости:

- SPG, [Speed prop. gain] – коэффициент передачи пропорциональной части;

- SIt, [Speed time integral] – постоянная времени интегральной части;

- SFC, [Kspeedloopfilter] - постоянная времени фильтра в канале задания скорости.

						13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			35

При наличии инкрементального датчика положения и соответствующей интерфейсной карты доступны параметры датчика положения:

- EnS, [Encodertype] – выбор типа датчика: nO (нет карты), Ab (датчик с двухканальным выходом), Aabb (датчик с четырехканальным выходом), A (датчик с одноканальным выходом).
- PGI, [Number of pulses] – количество импульсов датчика на один оборот вала;

Таблица 2.1– Технические характеристики преобразователя.

	ЭП подъема	тележки	ЭД моста
Тип ПЧ	ATV 71HD15N4	ATV 71HU30N4	ATV 71HU75N4
Мощность	15кВт	3 кВт	7,5 кВт
Напряжение	380 В ±10%		
Входная частота	47-63 Гц		
Максимальный ток в уст. режиме	33 А	9 А	22,2 А
Коэффициент мощности	$\cos\varphi \geq 0.98$		
Циклы включения / отключения	100 000 (гарантируемый максимум) с 5 сек. Интервалом		
КПД	96 -97%		
Монтаж вплотную	Без зазора		
Степень защиты	IP56		
Метод охлаждения	Охлаждение программно управляемым вентилятором		
Выходная частота	10-1000 Гц		
Перегрузочная способность	200% номинального момента в течении 60 сек 250% номинального момента в течении 2 сек		
Метод управления	Векторное управление потоком с обратной связью по скорости		
Торможение	Торможение постоянным током, комбинированное торможение		
Комбинированное торможение	Да		
Быстрое ограничение тока	Да		
Регулирование	ПИ регулятор с перестраиваемой структурой дл я получения характеристик по скорости, адаптированных к механизму (точность и быстродействие)		
Защита двигателя внешняя	Вход для терморезистора		
Внутренняя защите двигателя	$I^2t$ (испытанный UL)		
Защита преобразователя	Пониженному напряжению; Перенапряжению; Перегрузке; Короткому замыканию; Блокировке двигателя; Перегреву двигателя; Перегреву преобразователя; Защита от изменения параметров		

Продолжение таблицы 2.1 – Технические характеристики преобразователя.

Цифровые входы	5 программируемых, потенциально развязанные; переключаемые PNP/NPN		
Аналоговый вход	2 программируемых; 0 В – 10 В, 0 мА – 20 мА		
Цифровые выходы	2 программируемых		
Релейные выходы	1, НО-НЗ, аварийное состояние		
Аналоговый выход	1 аналоговый выход, конфигурируемый по напряжению или по току		
Последовательный интерфейс	RS-485 встроенный		
Допустимая длина кабеля до двигателя:	до 50 м без выходного дросселя до 300 м с выходным дросселем		
Масса	22 кг	4 кг	4 кг

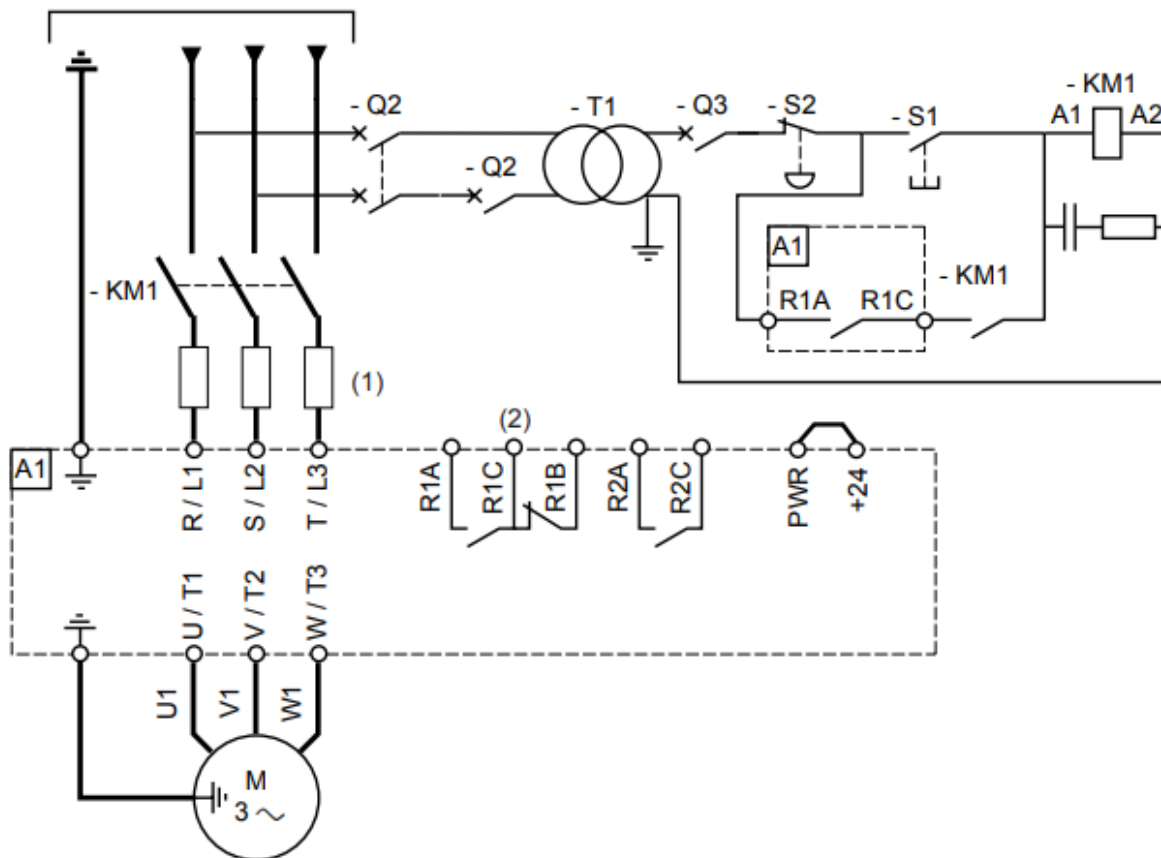


Рисунок 2.2 – Схема подключения ПЧ

Таблица 2.2– Выбор дросселей

Назначение привода	Типономинал ПЧ	Параметры сетевого дросселя
Подъем	ATV 71HD15N4	ED3N4P-0.16/160
Тележка	ATV 71HU30N4	ED3N4P-1.18/25
Мост	ATV 71HU75N4	ED3N4P-1.18/25

При торможении асинхронный двигатель отдает энергию назад в преобразователь частоты вследствие чего напряжение в звене постоянного тока повышается. Преобразователь пытается уменьшить напряжение, увеличивая выходную частоту, тем самым, уменьшая скольжение двигателя. Интенсивность замедления (торможения) в этом случае зависит от потерь мощности в преобразователе и двигателе.

Тормозной резистор или тормозной модуль (опция). Тормозной резистор и устройство торможения применяются при необходимости быстрой остановки двигателя или быстрого снижения его скорости (особенно, для нагрузок с большим моментом инерции).

Таблица 2.3 – Выбор тормозных резисторов

Назначение привода	Типономинал ПЧ	Модель и количество тормозных резисторов	
		Модель	Количество
Подъем	ATV 71HD15N4	BR1K5W004	3
Тележка	ATV 71HU30N4	BR1K0W075	2
Мост	ATV 71HU75N4	BR1K0W085	2

Для выполнения требований стандарта электромагнитной совместимости, описанных в европейских директивах EMC, для преобразователей частоты VFD разработаны специальные фильтры. Однако для полного удовлетворения требований EMC установка данных фильтров должна сопровождаться соответствующим правильным монтажом и подключением преобразователя частоты. При использовании внешнего РЧ фильтра класса В совместно с преобразователем VFD достигается снижение помеха до уровня, соответствующего категории непромышленных помещений.

Радиофильтр электромагнитных помех (опция) Электромагнитный фильтр необходим в случае достижения электромагнитной совместимости (ЭМС) с другим оборудованием, питающимся от той же сети, что и ПЧ. Электромагнитный фильтр подавляет радиочастотные гармоники помех, передающихся от ПЧ в сеть.

Таблица 2.4 – Выбор радиочастотного фильтра

Назначение привода	Типономинал ПЧ	Радиочастотный фильтр
Подъем	ATV 71HD15N4	RF650F43A
Тележка	ATV 71HU30N4	RF075F43A
Мост	ATV 71HU75N4	RF100F43A



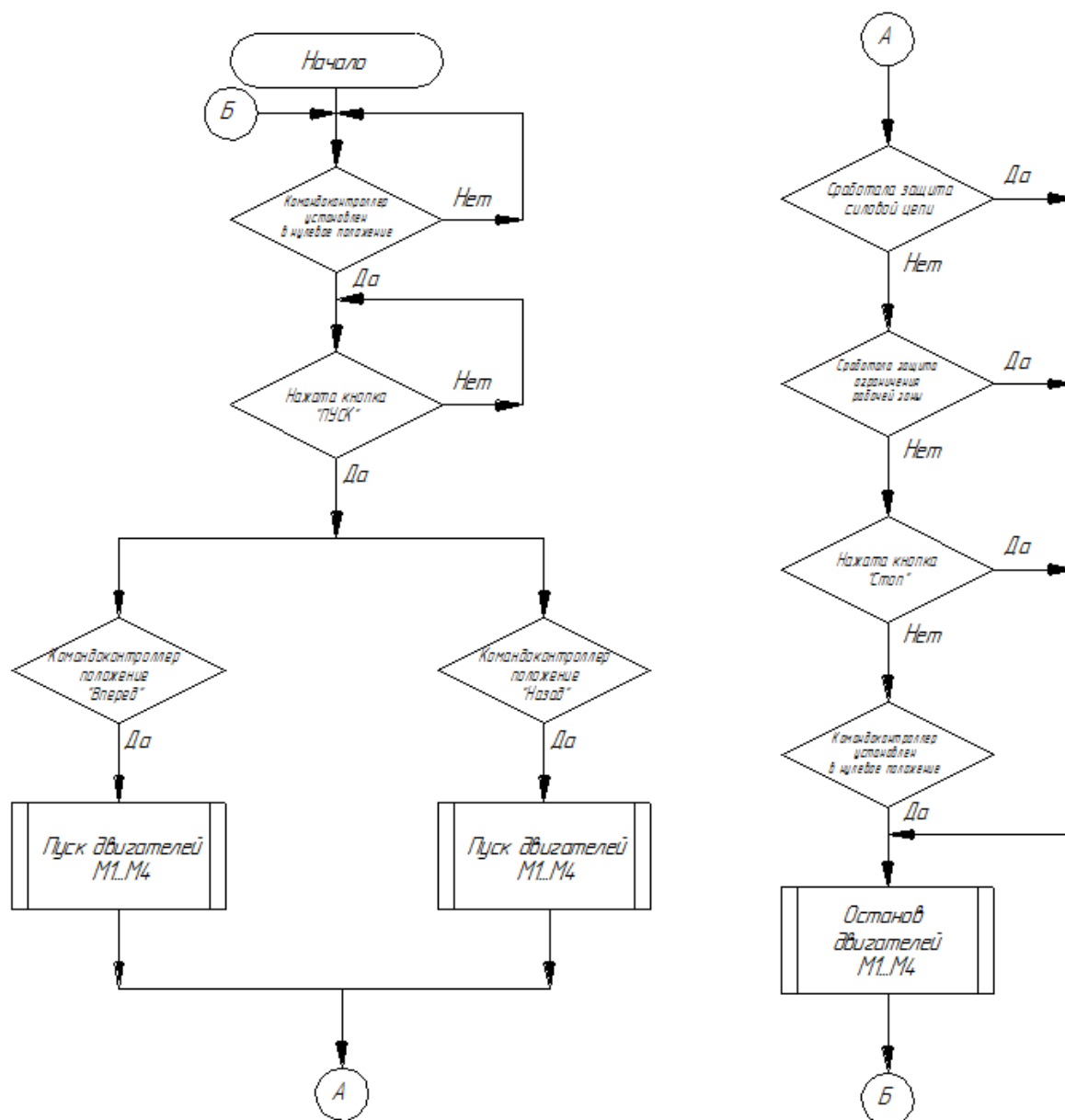


Рисунок 2.3 – Алгоритм работы системы управления

### 2.3.3 Описание работы схемы электрической принципиальной

Подключение всех цепей осуществляется вводным устройством, включающем в себя блок-рубильник QS1 с плавкими предохранителями FU1...FU3.

Защита цепи управления выполнена предохранителями FU4 и FU5. Блокировка от самозапуска электродвигателей осуществляется при помощи командоконтроллеров SA1-SA3, вырабатывающего сигнал задания скорости при помощи потенциометров RP1-RP6. При нулевом положении рукоятки командоконтроллера напряжение управления равно нулю. Регулирование скорости электродвигателей осуществляется с помощью частотного преобразователя в автоматическом режиме.



Реверсирование электропривода осуществляется переводом рукоятки командоконтроллера из одного ходового положения в другое. Подключение катушек соответствующих магнитных пускателей осуществляется через нормально разомкнутые контакты промежуточных реле, катушки которых подключены к дискретным выводам программируемого логического контроллера (ПЛК) DD1.

Защита от токов короткого замыкания осуществляется с помощью реле максимального тока КА1...КА3, нормально замкнутые контакты которых расположены в цепи магнитного пускателя. Блокировка от работы электродвигателя на двух фазах осуществляется с помощью реле контроля трехфазного напряжения.

Ограничение концов рабочего участка подкранового пути при передвижении крана осуществляется конечными выключателями SQ1...SQ4.

При срабатывании конечных выключателей SQ1 и SQ2 происходит отключение контактора КМ1 и обесточивается силовая цепь и цепь управления. При отключении цепи питания электромагнитов колодочных тормозов происходит механическое торможение электродвигателей.

При срабатывании конечных выключателей SQ3 и SQ4, подключенных на дискретные входы ПЛК DD1, происходит автоматическое включение режима динамического торможения электродвигателей. Динамическое торможение осуществляется замыканием контактов промежуточных реле на входах блоков динамического торможения А2 и А3 соответственно. Катушки промежуточных реле подключены к дискретным выходам ПЛК DD1.

Возврат контактора во включенное положение осуществляется кнопкой SB1 после установки командоконтроллер SA1 в нулевое положение.

#### 2.3.4 Расчет и выбор электроаппаратуры

Для расчета и выбора электрических аппаратов силовой цепи и цепей управления электроприводов мостового крана запишем номинальные токи электродвигателей:

- электродвигатель механизма подъема  $I_H=32$  А;
- электродвигатель механизма передвижения тележки  $I_H=7,2$  А;
- электродвигатель механизма передвижения крана  $I_H=7,2$  А.

#### 2.3.5 Расчет и выбор электроаппаратуры силовой части

Выбираем блок-рубильник ЯБ2-160-ПН2-У3 ТУ36-20-84. Технические характеристики блок-рубильника ЯБ2-160-ПН2-У3 приведены в таблице 2.6 [16].

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Таблица 2.6 – Технические характеристики блок-рубильника ЯБ2-160-ПН2-У3.

Параметр	Номинальное значение
Номинальное напряжение отключаемой сети, В	380
Номинальный ток, А	160
Номинальный ток предохранителя, А	160
Номинальный ток плавкой вставки, А	160
Номинальный режим работы	Продолжительный
Климатическое исполнение	У3
Степень защиты	IP 54

Пускатель магнитный выбирают по следующим условиям [17]:

- $U_{НОМ.КАТ} \geq U_{СЕТИ.Ф}$ ;
- $U_{НОМ.КОНТ} \geq U_{СЕТИ.Л}$ ;
- $I_{НОМ} \geq I_{\Sigma НАГР.}$ ;
- по режиму работы.

В данном случае режим работы пускателя АС2, так как производится пуск асинхронного электродвигателя.

Произведем выбор пускателя по следующим условиям:

- $U_{НОМ.КАТ} \geq 220 В$ ;
- $U_{НОМ.КОНТ} \geq 380 В$ ;
- $I_{НОМ} \geq 32 А$ ,  $I_{НОМ} \geq 7,2 А$ ;
- режим работы – АС2.

Выбираем пускатель электромагнитный ПМЛ-4100О2А ТУ16-644.001-83 с приставкой контактной ПКЛ-20-04-А ТУ16-89 ИГФР.644236.033. Технические характеристики пускателя ПМЛ-4100О2А приведены в таблице 2.7 [18].

Таблица 2.7 – Технические характеристики пускателя ПМЛ-4100О2А.

Параметр	Номинальное значение
Номинальное рабочее напряжение, В	380 (50 Гц)
Номинальный ток, А	63
Количество полюсов, шт	3
Дополнительные контакты	1з+1р+2з (приставки)
Напряжение катушки, В	220
Ток срабатывания, А	4
Ток удержания, А	0,7
Климатическое исполнение	У3
Степень защиты	IP 00

Выбираем пускатель электромагнитный ПМЛ-1220О2А ТУ16-644.001-83 с приставкой контактной ПКЛ-20-04-А ТУ16-89 ИГФР.644236.033. Технические характеристики пускателя ПМЛ-1220О2А приведены в таблице 2.8 [18].

Таблица 2.8 – Технические характеристики пускателя ПМЛ-1220О2А.

Параметр	Номинальное значение
Номинальное рабочее напряжение, В	380 (50 Гц)
Номинальный ток, А	16
Количество полюсов, шт	3
Дополнительные контакты	1з+1р+2з (приставки)
Напряжение катушки, В	220
Ток срабатывания, А	2
Ток удержания, А	0,5
Климатическое исполнение	У3
Степень защиты	IP 00

Реле максимального тока выбирают по следующим условиям [17]:

$$- U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ.Л};$$

$$- I_{НОМ} \geq I_{НАГР.}$$

где  $I_{НАГР.}$  - ток нагрузки.

Произведем выбор реле максимального тока по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq 380 В;$$

$$- I_{НОМ} \geq 32 А, I_{НОМ} \geq 7,2 А.$$

Выбираем реле максимального тока РЭО-401 2ТД У3 ТУ 16-97 ИРАК.647 111.001 ТУ. Технические характеристики реле максимального тока РЭО-401 2ТД У3 приведены в таблице 2.9 [19].

Таблица 2.9 - Технические характеристики реле максимального тока РЭО-401 2ТД У3.

Параметр	Номинальное значение
Номинальное рабочее напряжение, В	380 (50 Гц)
Номинальный ток втягивающей катушки, А	16, 63
Ток уставки, А	135
Дополнительные контакты	1р
Климатическое исполнение	У3

Механические тормоза выбирают по следующим условиям [14]:

$$- U_{НОМ.КАТ} \geq U_{СЕТИ.Л};$$

$$- M_{ТОРМ.} \geq M_{С.}$$

где  $M_C$  - нагрузка на валу двигателя, Н·м.

Произведем выбор механические тормоза по следующим условиям:

- $U_{НОМ.КАТ} \geq 380 В$ ;
- $M_{ТОРМ} \geq 148 Н \cdot м$ .

Выбираем колодочный тормоз ТКТ-100 ТУ 3178-003-11523712-94 с электромагнитом МО-100Б У2 ТУ 16-529.146-93. Технические характеристики колодочного тормоза ТКТ-100 и ТКТ-200 с электромагнитом МО-100Б У2 приведены в таблице 2.10 [8].

Таблица 2.10 - Технические характеристики колодочного тормоза ТКТ-100 с электромагнитом МО-100Б У2.

Параметр	Номинальное значение
Диаметр шкива, мм	100
Тип электромагнита	МО-100Б
Род тока	Переменный
Рабочее напряжение, В	380
Максимальный тормозной момент ПВ40%, Н·м	39
Максимальный тормозной момент ПВ100%, Н·м	22
Климатическое исполнение	У2

Таблица 2.11 – Технические характеристики колодочного тормоза ТКТ-200 с электромагнитом МО-100Б У2.

Параметр	Номинальное значение
Диаметр шкива, мм	200
Тип электромагнита	МО-100Б
Род тока	Переменный
Рабочее напряжение, В	380
Максимальный тормозной момент ПВ40%, Н·м	220
Максимальный тормозной момент ПВ100%, Н·м	180
Климатическое исполнение	У2

Выбираем блок динамического торможения БДТ-040/380-Т0-ТР-220У3. Технические характеристики блока динамического торможения БДТ-040/380 приведены в таблице 2.12 [23].

Таблица 2.12 – Технические характеристики блока динамического торможения БДТ-040/380.

Параметр	Номинальное значение
Номинальное напряжение, В	380
Номинальный ток, А	40
Тип выпрямителя	тиристорный
Степень защиты	IP20

Реле контроля трехфазного напряжения выбирают по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ.Л} \cdot$$

Произведем выбор реле контроля трехфазного напряжения по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq 380 В.$$

Выбираем реле контроля трехфазного напряжения ЕЛ-13Е ТУ 3425-007-49874443-07. Технические характеристики реле контроля трехфазного напряжения ЕЛ-13Е приведены в таблице 2.13 [18].

Таблица 2.13 – Технические характеристики реле контроля трехфазного напряжения ЕЛ-13Е.

Параметр	Номинальное значение
Напряжение питания, В	380
Питание реле	От контролируемой 3-фазной сети
Срабатывание реле	
При однофазном снижении напряжения	$(0.75 \pm 0.05)U_{ФН}$
При симметричном снижении фазных напряжений	не менее $0.5 U_{ФН}$
Число и род контактов	1з+1р
Номинальный ток, А	5

### 2.3.6 Расчет и выбор электроаппаратуры системы управления

Для выбора элементов защиты необходимо подсчитать токи в цепи управления.

Максимальный ток включения (максимально возможный ток в схеме) будет протекать тогда, когда будет находиться в работе контактор КМ1. Максимальный рабочий ток будет тогда, когда работают пускатели КМ1 и КМ2 (КМ3).

$$I_{УПР} = 2 \cdot (I_{УД.КМ} + 0.1I_{СР.КМ}) = 0,7 + 0,1 \cdot 4 = 2,2 А \quad (2.38)$$

Командоконтроллер выбирают по следующим условиям [17]:

$$- U_{НОМ} \geq U_{ЦЕПИ\_УПР.};$$

$$- I_{НОМ} \geq I_{ЦЕПИ\_УПР.} \cdot$$

Произведем выбор командоконтроллера по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq 24 В;$$

$$- I_{НОМ} \geq 2,2 А.$$

Выбираем командоконтроллер Schneider Electric XKD12122000. Технические характеристики командоконтроллера Schneider Electric XKD12122000 приведены в таблице 2.14 [20].

Таблица 2.14 – Технические характеристики командоконтроллера SchneiderElectricXKD12122000.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение, В	120
Номинальный ток, А	10
Количество направлений	вперед/назад
Число положений вперед/назад	6/6
Степень защиты	IP40

Выбор предохранителей в цепи управления осуществляется по следующим соотношениям [17]:

- $U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ.Л}$  ;
- $I_{НОМ} \geq I_{УПР}$  .

Произведем выбор предохранителей по следующим условиям:

- $U_{НОМ} \geq 380 В$  ;
- $I_{НОМ} \geq 2,2 А$  .

Для цепи управления переменного тока выбираем предохранитель ПРС-10-П с плавкой вставкой ПВД I – 6,3 ТУ 16-522.112-74. Технические характеристики предохранителя ПРС-10-П с плавкой вставкой ПВД I – 6,3 приведены в таблице 2.17 [21].

Выбор кнопочных выключателей SB1 и SB2 производится исходя из следующих условий [14]:

- $U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ.Л}$  ;
- $I_{НОМ} \geq I_{УПР}$  .

Произведем выбор кнопочного выключателя SB1 по следующим условиям:

- $U_{НОМ} \geq 380 В$  ;
- $I_{НОМ} \geq 2,2 А$  .

Выбираем для SB1 выключатель кнопочный KE 011 УЗ ТУ 16-642.015-84. Технические характеристики выключателя кнопочного KE 011 приведены в таблице 2.15 [22].

Таблица 2.15 – Технические характеристики предохранителя ПРС-10-П с плавкой вставкой ПВД I – 6,3.

Параметр	Номинальное значение
Рабочее напряжение, В	380
Номинальный ток предохранителя, А	10
Номинальный ток плавкой вставки, А	6,3

Таблица 2.16 - Технические характеристики выключателя кнопочного КЕ 011.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение, В	660 (50 Гц)
Номинальный ток, А	10
Количество контактов	1з
Вид толкателя	Цилиндрический
Цвет толкателя	Черный
Механическая износостойкость, млн.циклов	10

Произведем выбор кнопочного выключателя SB2 по следующим условиям:

- $U_{НОМ} \geq 380 В$ ;
- $I_{НОМ} \geq 2,2 А$ .

Выбираем для SB2 выключатель кнопочный КЕ 021 УЗ ТУ 16-642.015-84. Технические характеристики выключателя кнопочного КЕ 021 приведены в таблице 2.17 [22].

Таблица 2.17 – Основные технические характеристики выключателя кнопочного КЕ 021 УЗ.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение, В	660 (50 Гц)
Номинальный ток, А	10
Количество контактов	1р
Вид толкателя	Грибовидный
Цвет толкателя	Красный
Механическая износостойкость, млн.циклов	10

Концевые выключатели выбирают по следующим условиям:

- $U_{НОМ.КОНТ} \geq U_{СЕТИ..Л}$  ;
- $I_{НОМ.КОНТ} \geq I_{УПР}$  .

Выбираем выключатель концевой КУ-701А У2 ТУ У 31.2-22820979-001:2005. Технические характеристики выключателя концевого КУ-701А У2 приведены в таблице 2.18 [18].

Таблица 2.18 – Технические характеристики выключателя концевого КУ-701А У2.

Параметр	Номинальное значение
Номинальное напряжение, В	380 (40/60 Гц)
Номинальный ток, А	10
Число рабочих положений	3
Максимальная скорость привода, м/мин	150
Характеристика привода и фиксация	Рычаг с роликом
Усилие прямого срабатывания выключателя, Н	100

## 2.4 Разработка монтажа электрооборудования

Токопровод к электродвигателям мостового крана осуществляется через главный цеховой троллей, который представляет собой открытую металлоконструкцию под напряжением в виде уголка, швеллера или рельса. От троллеев токосъемниками запитывается вспомогательный троллей моста или гибкий шланговый кабель, который подает напряжение на вводный рубильник защитной панели. От защитной панели напряжение индивидуальными кабелями питание подается на двигатели подъема и тележки, которая движется вдоль пролета моста, при этом кабель складывается петлями. На двух или однодвигательный привод моста кабель прокладывается стационарно по мосту.

### 2.4.1 Монтаж основного электрооборудования

Монтаж электрооборудования должен производиться в соответствии со схемой электрических соединений, сборочным чертежом и схемой электрической принципиальной.

Электродвигатели, аппараты и электропроводку кранов монтируют в исполнении, соответствующем условиям окружающей среды. Аппараты управления краном размещают в кабине управления так, чтобы крановщик мог работать сидя.

Все металлические нетоковедущие части электрооборудования крана (корпуса электродвигателей, конечных выключателей и др. электроаппаратуры), могущие оказаться под напряжением при повреждении изоляции токоведущих частей подлежат обязательному заземлению в соответствии с требованиями ПУЭ.

Тормозные электромагниты устанавливают непосредственно у шкива электродвигателя (на место, предусмотренное для этой цели при изготовлении агрегата на заводе) и закрепляют болтами. При установке обеспечивают строго вертикальное положение электромагнита и одинаковый зазор между тормозными колодками и барабаном по всей длине колодок; при этом перекося недопустим. Не допускаются также заедания и перекося якоря

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



электромагнита, так как они вызывают перегрев и даже сгорание его обмотки. Сопряжение якоря с тормозом осуществляют таким образом, чтобы обеспечить плавный спуск и подъем тормозных колодок.

#### 2.4.2 Монтаж электрооборудования шкафа управления

Монтаж электрооборудования шкафа управления производится по сборочному чертежу и по схеме электрической соединений шкафа.

Монтаж электрооборудования производится на панели монтажной. Монтаж электропроводки производится кабелями и гибкими проводами.

Маркировку проводов выполняют с помощью поливинилхлоридных трубок белого цвета с указанием потенциальных точек в соответствии со схемой электрической принципиальной. Во время монтажа следует нанести позиционные обозначения элементов в соответствии со схемой электрической принципиальной эмалью МС-17 ТУ6-10.1579-76.

Монтаж реле контроля трехфазного напряжения К1, промежуточных реле, программируемого логического контроллера DD1 и зажимов клеммных наборных выполняется на DIN-рейке, которая крепится к плите при помощи винтов. Монтаж остальных элементов производится посредством винтов с пружинными шайбами. Реле максимальной токовой защиты оснащены собственными элементами крепежа.

#### 2.4.3 Выбор элементов монтажа

Произведем выбор клеммных зажимов в силовой цепи и цепи управления. Клеммные зажимы выбирают по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ.Л};$$

$$- I_{НОМ} \geq I_{НАГР}.$$

Произведем выбор клеммных зажимов по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq 380 В;$$

$$- I_{НОМ} \geq 32 А.$$

Выбираем зажим клеммный наборный ЗН24-16П63-К/К У3 ТУ 16-91 ИГФР.687222.035ТУ. Технические характеристики зажима клеммного ЗН24-16П63-К/К У3 приведены в таблице 2.26 [28].

Произведем выбор клеммного зажима по следующим условиям:

$$- U_{НОМ} \geq 380 В;$$

$$- I_{НОМ} \geq 7,2 А.$$

Выбираем зажим клеммный наборный ЗН24-4П25-К/К У3 ТУ 16-91 ИГФР.687222.035ТУ. Технические характеристики зажима клеммного ЗН24-4П25-К/К У3 приведены в таблице 2.27 [28].

										Лист
										49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ					

Произведем выбор клеммного зажима по следующим условиям:

-  $U_{НОМ} \geq 380 В$ ;

-  $I_{НОМ} \geq 2,2 А$ .

Выбираем клеммный зажим ТВ-15/12. Технические характеристики зажима клеммного ТВ-15/12 приведены в таблице 2.19 [27].

Таблица 2.19 – Технические характеристики зажима клеммного ЗН24-16П63-К/К УЗ.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение переменного тока, В	660
Номинальный ток, А	63
Число клеммных пар, шт	16

Таблица 2.20 – Технические характеристики зажима клеммного ЗН24-4П25-К/К УЗ.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение переменного тока, В	660
Номинальный ток, А	25
Число клеммных пар, шт	28

Таблица 2.21 – Технические характеристики зажима клеммного ТВ-15/12.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение переменного тока, В	600
Номинальный ток, А	15
Число клеммных пар, шт	12

Произведем выбор клеммных зажимов по следующим условиям:

-  $U_{НОМ} \geq 380 В$ ;

-  $I_{НОМ} \geq 2,2 А$ .

Выбираем клеммный зажим ТВ-15/06. Технические характеристики зажима клеммного ТВ-15/06 приведены в таблице 2.22 [27].

Таблица 2.22 – Технические характеристики зажима клеммного ТВ-15/06.

Параметр	Номинальное значение
Максимальное напряжение переменного тока, В	600
Номинальный ток, А	15
Число клеммных пар, шт	06

#### 2.4.4 Расчет и выбор проводов

Выбор питающих кабелей по нагреву осуществляется по условию:

$$I_{\text{дл.доп}} \geq I_{\text{ном}} \quad (2.39)$$

$$I_{\text{дл.доп.}} \geq I_{\text{max}} \quad (2.40)$$

где  $I_{\text{дл.доп}}$  – длительно-допустимый ток кабеля, А

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток статорных обмоток двигателя, А

$I_{\text{max}}$  – суммарный ток всех двигателей крана с учетом периодичности их включения

Выбранный кабель проверяется на потерю напряжения:

$$\Delta U = \frac{100 \cdot P_{\text{ном}} \cdot 10^3 \cdot l}{\gamma \cdot U_{\text{ном}}^2 \cdot s \cdot \eta} \% \quad (2.41)$$

$\gamma$  – удельная проводимость для медного кабеля,  $\gamma=50\text{м/Ом}\cdot\text{мм}^2$

$l$  – длина кабеля, м

$s$ -сечение кабеля,  $\text{мм}^2$

Результаты расчета сводим в таблицу.

Таблица 2.23 – Выбор индивидуального кабеля для двигателей крана.

Наименование двигателя	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$I_{\text{ном}}$ , А	$s$ , $\text{мм}^2$	$I_{\text{дл. доп}}$ , А	$l$ , м	$\Delta U$ , %
Подъем	15	32	10	60	26	1,3
Тележка	3	9,7	1,5	17	26	1,2
Мост 1, 2	6	19,4	2,5	25	13	1,1



$$\cos\varphi_{\Pi} = \cos\varphi_{\text{H}} \left[ \frac{\mu_{\text{H}}\eta_{\text{H}}}{i \cdot (1 - s_{\text{H}})} + \gamma(1 - \eta_{\text{H}}) \right] = 0.322$$

$$R_1 = Z_{\text{K}} \cdot \cos\varphi_{\Pi} - R_2 = 0.011 \text{ Ом}$$

Индуктивное полное сопротивление короткого замыкания:

$$\sin\varphi_{\Pi} = \sqrt{1 - \cos\varphi_{\Pi}^2} = 0.947$$

$$X_{\text{K}} = Z_{\text{K}} \cdot \sin\varphi_{\Pi} = 0.402 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статора и ротора:

$$x_1 = 0.4X_{\text{K}} = 0.161 \text{ Ом}$$

$$x_2 = 0.6X_{\text{K}} = 0.241 \text{ Ом}$$

Ток холостого хода:

$$\sin\varphi_{\text{H}} = \sqrt{1 - \cos\varphi_{\text{H}}^2} = 0.6$$

$$s_{\text{K}} = \frac{s_{\text{H}} + \sqrt{s_{\text{H}} \cdot \frac{\mu_{\text{K}} - 1}{\mu_{\text{H}}}}}{1 + \sqrt{s_{\text{H}} \cdot \frac{\mu_{\text{K}} - 1}{\mu_{\text{H}}}}} = 0.378$$

Коэффициент мощности при холостом ходе:

$$\cos\varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{\sqrt{3}U_{\text{л}}I_0} = 0.145$$

Индуктивное сопротивление намагничивающего контура:

$$\sin\varphi_0 = \sqrt{1 - \cos\varphi_0^2} = 0.989$$

$$X_{\mu} = \frac{U_{\phi} \cdot \sin\varphi_0}{I_0} - X_1 = 4.65 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление намагничивающего контура:

$$R_{\mu} = \frac{U_{\phi}}{I_0} \cdot \cos\varphi_0 - R_1 = 0.696 \text{ Ом}$$

Согласно выполненному расчету параметров схемы замещения:

$$R_1 = 0,011 \text{ Ом} \quad (3.1)$$

$$X_1 = 0,161 \text{ Ом} \quad (3.2)$$

$$R_2' = 0,126 \text{ Ом} \quad (3.3)$$

$$X_2' = 0,241 \text{ Ом} \quad (3.4)$$

$$X_{\mu} = 4.65 \text{ Ом} \quad (3.5)$$

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53



$$I_{1X} = 18,1A \quad (3.13)$$

$$I_{1Y} = 24,1A \quad (3.14)$$

Коэффициенты усиления преобразователя:

$$K_{\Pi X} = \frac{R_{\Sigma} \cdot I_{1X}}{U_3} = \frac{0,131 \cdot 18,1}{10} = 0,237 \quad (3.15)$$

$$K_{\Pi Y} = \frac{R_1 \cdot I_{1Y}}{U_3} = \frac{0,011 \cdot 24,1}{10} = 0,027 \quad (3.16)$$

где  $U_3 = 10B$  - напряжение задания.

Постоянная времени преобразователя:

$$T_{\Pi} = \frac{1}{f_{\text{НЕС}}} = \frac{1}{2500} = 0,0004c \quad (3.17)$$

где  $f_{\text{НЕС}}$  - несущая частота преобразователя.

Коэффициент передачи датчика тока  $I_{1X}$ :

$$K_{\text{ДТ.11X}} = \frac{U_3}{I_{1X}} = \frac{10}{18,1} = 0,552B / A \quad (3.18)$$

Коэффициент передачи датчика тока  $I_{1Y}$ :

$$K_{\text{ДТ.11Y}} = \frac{U_3}{I_{1Y}} = \frac{10}{24,1} = 0,415B / A \quad (3.19)$$

Рассчитаем потокосцепление ротора:

$$\psi_{2X} = L_{12} \cdot I_{1X} = 14,8 \cdot 10^{-3} \cdot 18,1 = 0,662B\bar{b} \quad (3.20)$$

Коэффициент передачи датчика потокосцепления ротора:

$$K_{\text{ДП.}\psi_{2X}} = \frac{U_3}{\psi_{2X}} = \frac{10}{0,662} = 15,106B / B\bar{b} \quad (3.21)$$

Коэффициент передачи датчика скорости:

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$K_{дс.под} = \frac{U_3}{\omega_{под}} = \frac{10}{100,6} = 0,099 В \cdot с / рад \quad (3.22)$$

$$K_{дс.сп} = \frac{U_3}{\omega_{сп}} = \frac{10}{100,6} = 0,099 В \cdot с / рад \quad (3.23)$$

### 3.2 Выбор структуры и расчет параметров корректирующих устройств

Произведем настройку контуров регулирования системы.

#### 3.2.1 Настройка контура регулирования тока намагничивания $i_{1X}$

Настройка контура регулирования тока намагничивания  $i_{1X}$  будем производить на модульный оптимум. Структурная схема контура регулирования тока  $i_{1X}$  представлена на рисунке 3.2.

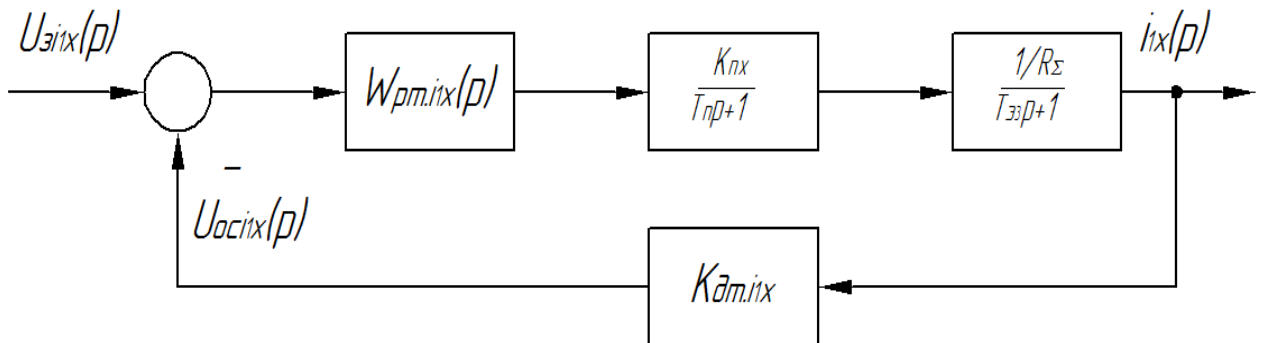


Рисунок 3.2 – Структурная схема контура регулирования тока  $i_{1X}$

Желаемая передаточная функция контура регулирования тока, настроенного на модульный оптимум имеет вид:

$$W_{ж.мо}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)} \quad (3.24)$$

Принимаем постоянную времени  $T_{\mu} = T_{п} = 0,0004 с$ .

Запишем передаточную функцию разомкнутого контура регулирования.

$$W_{ор.п1x}(p) = \frac{K_{пх} \cdot K_{дт.п1x} / R_{\Sigma}}{(T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Sigma} \cdot p + 1)} \quad (3.25)$$

Найдем передаточную функцию регулятора тока  $i_{1X}$ :



$$W_{PT.11X}(p) = \frac{W_{Ж.МО}(p)}{W_{OP.11X}(p)} = \frac{R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma 3} \cdot p + 1)}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot K_{ПХ} \cdot K_{ДТ.11X}} = K_{PT.11X} + \frac{1}{T_{PT.11X} \cdot p} \quad (3.26)$$

где

$$K_{PT.11X} = \frac{R_{\Sigma} \cdot T_{\Sigma 3}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{ПХ} \cdot K_{ДТ.11X}} \quad (3.27)$$

$$T_{PT.11X} = \frac{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{ПХ} \cdot K_{ДТ.11X}}{R_{\Sigma}} \quad (3.28)$$

При настройке контура регулирования тока намагничивания  $i_{1X}$  на модульный оптимум получили ПИ-регулятор, параметры которого определяются согласно выражениям (3.26) и (3.27).

Запишем передаточную функцию замкнутого контура регулирования тока  $i_{1X}$ :

$$\Phi_{PT.11X}(p) = \frac{W_{OP.11X}(p) \cdot W_{PT.11X}(p) / K_{ДТ.11X}}{1 + W_{OP.11X}(p) \cdot W_{PT.11X}(p)} = \frac{1 / K_{ДТ.11X}}{2 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1} \quad (3.29)$$

Пренебрежем слагаемым в числителе  $2 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2$  ввиду малого значения квадрата постоянной времени  $T_{\mu}$ .

$$\Phi_{PT.11X}(p) = \frac{1 / K_{ДТ.11X}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1} \quad (3.30)$$

### 3.2.2 Настройка контура регулирования потокосцепления ротора $\psi_{2X}$

Настройка контура регулирования потокосцепления ротора  $\psi_{2X}$  осуществляется на модульный оптимум, с учетом передаточной функции замкнутого контура регулирования тока  $i_{1X}$ . Структурная схема контура регулирования потокосцепления ротора  $\psi_{2X}$  представлена на рисунке 3.3.

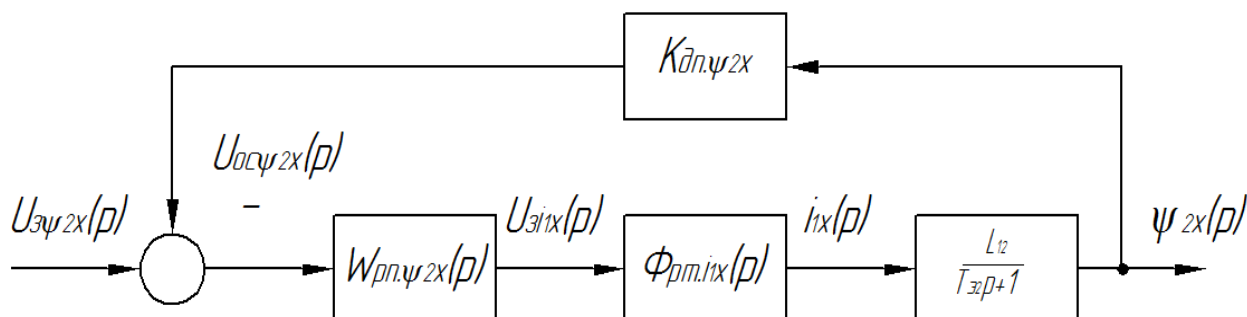


Рисунок 3.3 – Структурная схема контура регулирования потокосцепления ротора  $\psi_{2X}$

Желаемая передаточная функция контура, регулирования контура, регулирования потокосцепления ротора представлена выражением.

$$W_{ж.мо}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1)} \quad (3.31)$$

Передаточная функция разомкнутого контура, объекта регулирования, контура потокосцепления ротора имеет вид:

$$W_{ор.\psi_{2X}}(p) = \frac{L_{12} \cdot K_{дп.\psi_{2X}} / K_{дт.11X}}{(2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_{\varepsilon 2} \cdot p + 1)} \quad (3.32)$$

Найдем передаточную функцию регулятора потокосцепления ротора  $\psi_{2X}$ :

$$W_{рп.\psi_{2X}}(p) = \frac{W_{ж.мо}(p)}{W_{ор.\psi_{2X}}(p)} = \frac{(T_{\varepsilon 2} \cdot p + 1) \cdot K_{дт.11X}}{4 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot L_{12} \cdot K_{дп.\psi_{2X}}} = K_{рп.\psi_{2X}} + \frac{1}{T_{рп.\psi_{2X}} \cdot p} \quad (3.33)$$

где

$$K_{рп.\psi_{2X}} = \frac{T_{\varepsilon 2} \cdot K_{дт.11X}}{4 \cdot T_{\mu} \cdot L_{12} \cdot K_{дп.\psi_{2X}}} \quad (3.34)$$

$$T_{рп.\psi_{2X}} = \frac{4 \cdot T_{\mu} \cdot L_{12} \cdot K_{дп.\psi_{2X}}}{K_{дт.11X}} \quad (3.35)$$

При настройке контура регулирования потокосцепления ротора  $\psi_{2X}$  на модульный оптимум получили ПИ-регулятор, параметры которого определяются согласно выражениям (3.34) и (3.35).

### 3.2.3 Настройка контура регулирования тока намагничивания $i_{1Y}$

Настройка контура регулирования тока намагничивания  $i_{1Y}$  будем производить на модульный оптимум. Структурная схема контура регулирования тока  $i_{1Y}$  представлена на рисунке 3.4.

Желаемая передаточная функция контура регулирования тока, настроенного на модульный оптимум имеет вид:

$$W_{ж.мо}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)} \quad (3.36)$$

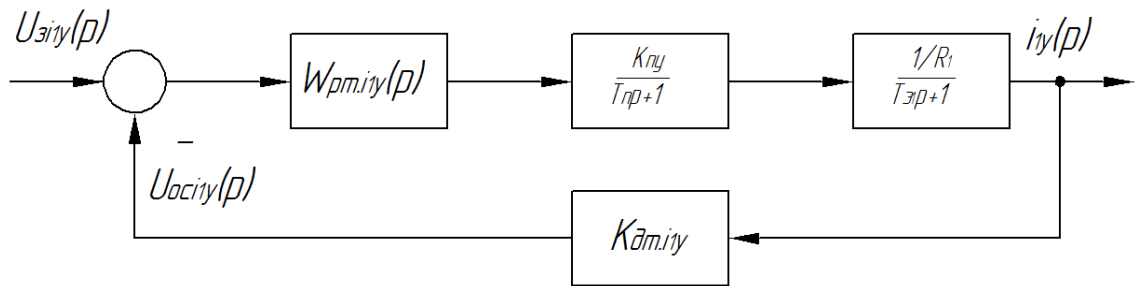


Рисунок 3.4 – Структурная схема контура регулирования тока  $i_{1Y}$

Принимаем постоянную времени  $T_{\mu} = T_{\Pi} = 0,0004c$ .

Запишем передаточную функцию разомкнутого контура регулирования.

$$W_{OP.1Y}(p) = \frac{K_{ПY} \cdot K_{ДТ.1Y} / R_1}{(T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot (T_{Э1} \cdot p + 1)} \quad (3.37)$$

Найдем передаточную функцию регулятора тока  $i_{1Y}$ :

$$W_{PT.1Y}(p) = \frac{W_{Ж.МО}(p)}{W_{OP.1Y}(p)} = \frac{R_1 \cdot (T_{Э1} \cdot p + 1)}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot K_{ПY} \cdot K_{ДТ.1Y}} = K_{PT.1Y} + \frac{1}{T_{PT.1Y} \cdot p} \quad (3.38)$$

где

$$K_{PT.1Y} = \frac{R_1 \cdot T_{Э1}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{ПY} \cdot K_{ДТ.1Y}} \quad (3.39)$$

$$T_{PT.1Y} = \frac{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{ПY} \cdot K_{ДТ.1Y}}{R_1} \quad (3.40)$$

При настройке контура регулирования тока намагничивания  $i_{1X}$  на модульный оптимум получили ПИ-регулятор, параметры которого определяются согласно выражениям (3.39) и (3.40).

Запишем передаточную функцию замкнутого контура регулирования тока  $i_{1Y}$ :

$$\Phi_{PT.1Y}(p) = \frac{W_{OP.1Y}(p) \cdot W_{PT.1Y}(p) / K_{ДТ.1Y}}{1 + W_{OP.1Y}(p) \cdot W_{PT.1Y}(p)} = \frac{1 / K_{ДТ.1Y}}{2 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1} \quad (3.41)$$

Пренебрежем слагаемым в числителе  $2 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2$  ввиду малого значения квадрата постоянной времени  $T_{\mu}$ .

$$\Phi_{KT.11Y}(p) = \frac{1/K_{DT.11Y}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1} \quad (3.42)$$

### 3.2.4 Настройка контура регулирования скорости

Настройку контура регулирования скорости будем производить на симметричный оптимум, с учетом передаточной функции замкнутого контура регулирования тока  $i_{1Y}$ . Считаем что каналы управления токами  $i_{1X}$  и  $i_{1Y}$  разделены и  $\psi_{2X} = \psi_{2max} = const$ . С учетом этого структурная схема контура регулирования скорости представлена на рисунке 3.5.

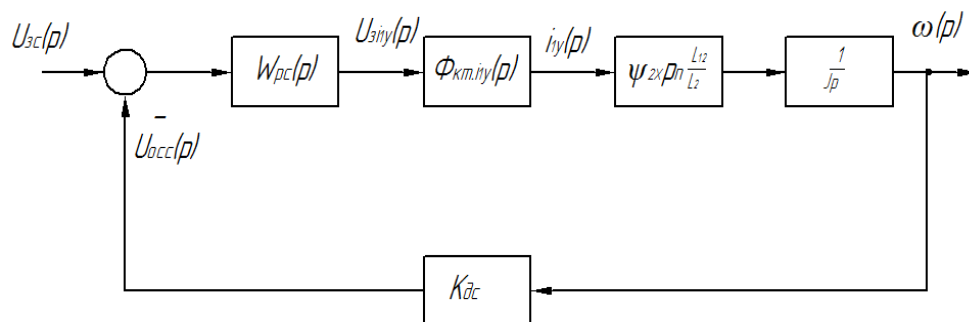


Рисунок 3.5 – Структурная схема контура регулирования скорости

Желаемая передаточная функция контура скорости, настроенного асимметричный оптимум, имеет вид:

$$W_{ж.со}(p) = \frac{8 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 \cdot (2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1)} \quad (3.43)$$

Передаточная функция разомкнутого контура регулирования скорости имеет вид:

$$W_{opc}(p) = \frac{\psi_{2X} \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} K_{дс}}{(2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot L_2 \cdot K_{дт.11Y} \cdot J \cdot p} \quad (3.44)$$

Найдем передаточную функцию регулятора скорости:

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{ж.со}(p)}{W_{opc}(p)} = \frac{(8 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1) \cdot L_2 \cdot K_{дт.11Y} \cdot J}{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot \psi_{2X} \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} K_{дс} \cdot p} = K_{pc} + \frac{1}{T_{pc} \cdot p} \quad (3.45)$$

где

$$K_{pc} = \frac{L_2 \cdot K_{дт.11Y} \cdot J}{4 \cdot T_{\mu} \cdot \psi_{2X} \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} K_{дс}} \quad (3.46)$$

$$T_{PC} = \frac{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot \psi_{2X} \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} K_{ДС}}{L_2 \cdot K_{ДТ.11У} \cdot J} \quad (3.47)$$

При настройке контура регулирования скорости на симметричный оптимум получили ПИ-регулятор, параметры которого определяются согласно выражениям (3.46) и (3.47).

С учетом условий работы электропривода имеем две заданные скорости (спуска и подъема), а также изменяемый момент инерции. Будем применять настройку регулятора скорости с параметрами, определяемыми при подъеме груза.

$$K_{PC2} = \frac{L_2 \cdot K_{ДТ.11У} \cdot (J_{2ЭКВ} + J_4)}{4 \cdot T_{\mu} \cdot \psi_{2X} \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} K_{ДС.ПОД}} \quad (3.48)$$

$$T_{PC2} = \frac{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot \psi_{2X} \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} K_{ДС.ПОД}}{L_2 \cdot K_{ДТ.11У} \cdot (J_{2ЭКВ} + J_4)} \quad (3.49)$$

Анализ переходных процессов в электроприводе выполняем с помощью математического пакета Matlab.

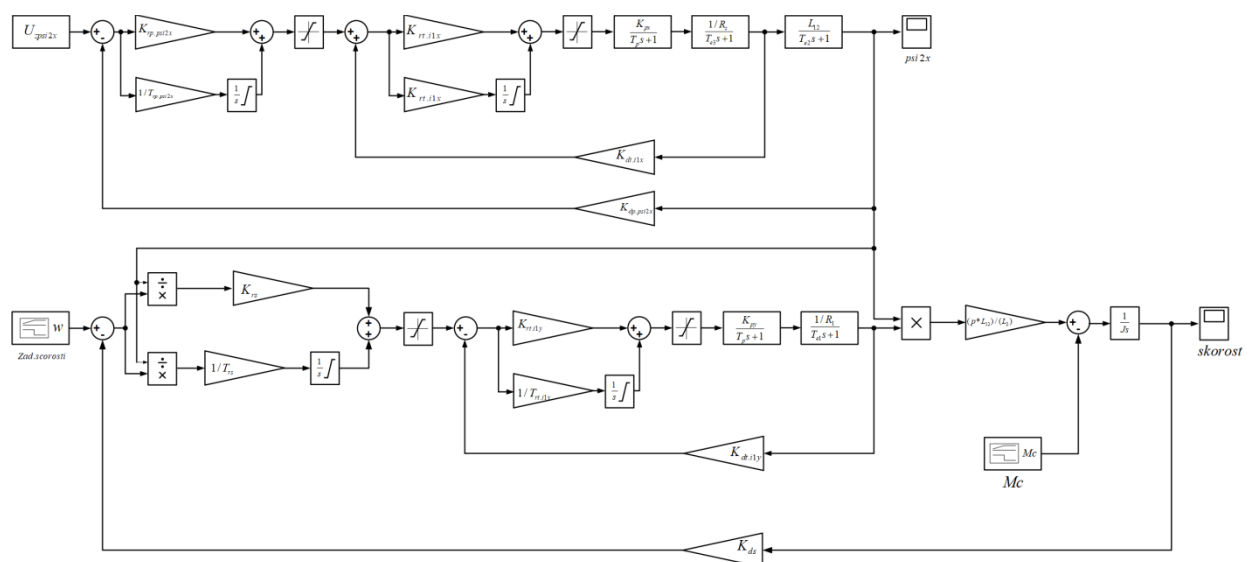


Рисунок 3.6 – Модель электропривода в среде визуального моделирования Simulink пакета Matlab

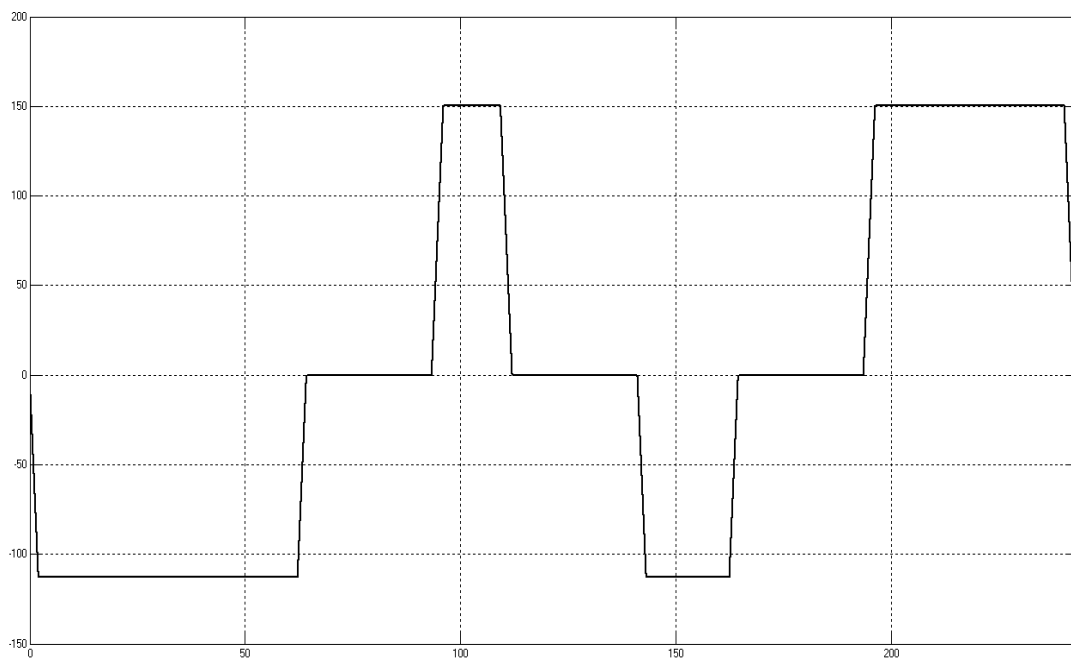


Рисунок 3.7 – Сигнал задания скорости

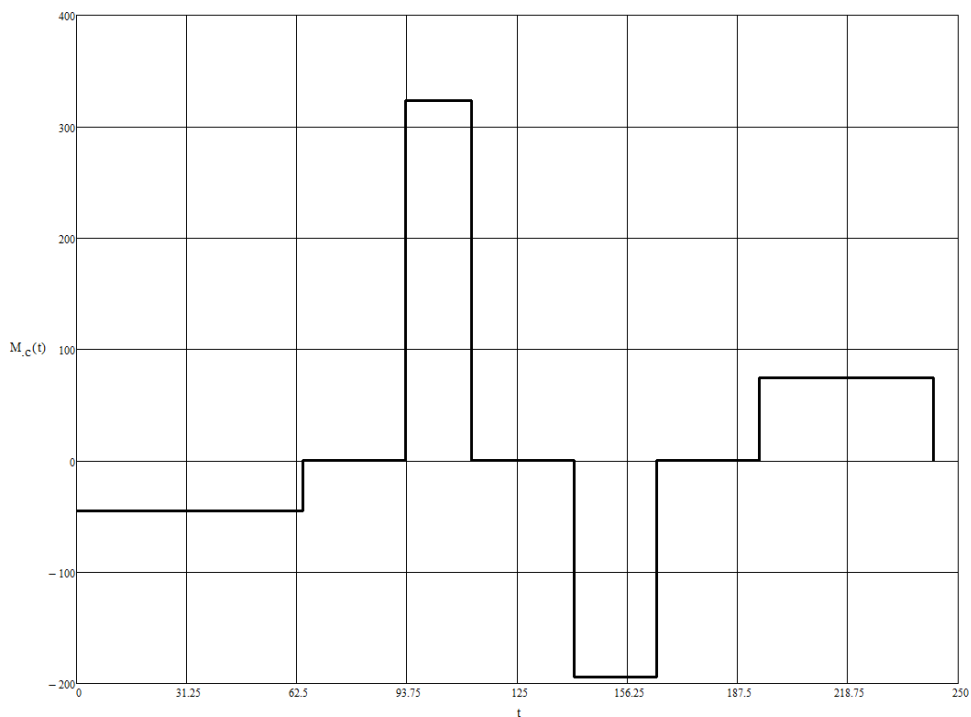


Рисунок 3.7 – Сигнал изменения момента статического на валу электродвигателя

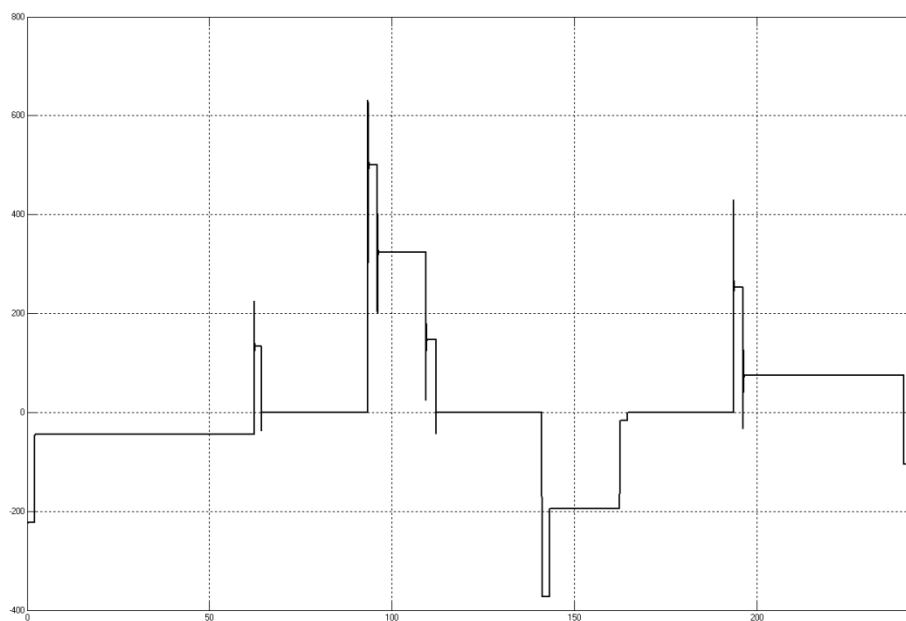


Рисунок 3.8 – График переходного процесса момента электромагнитного

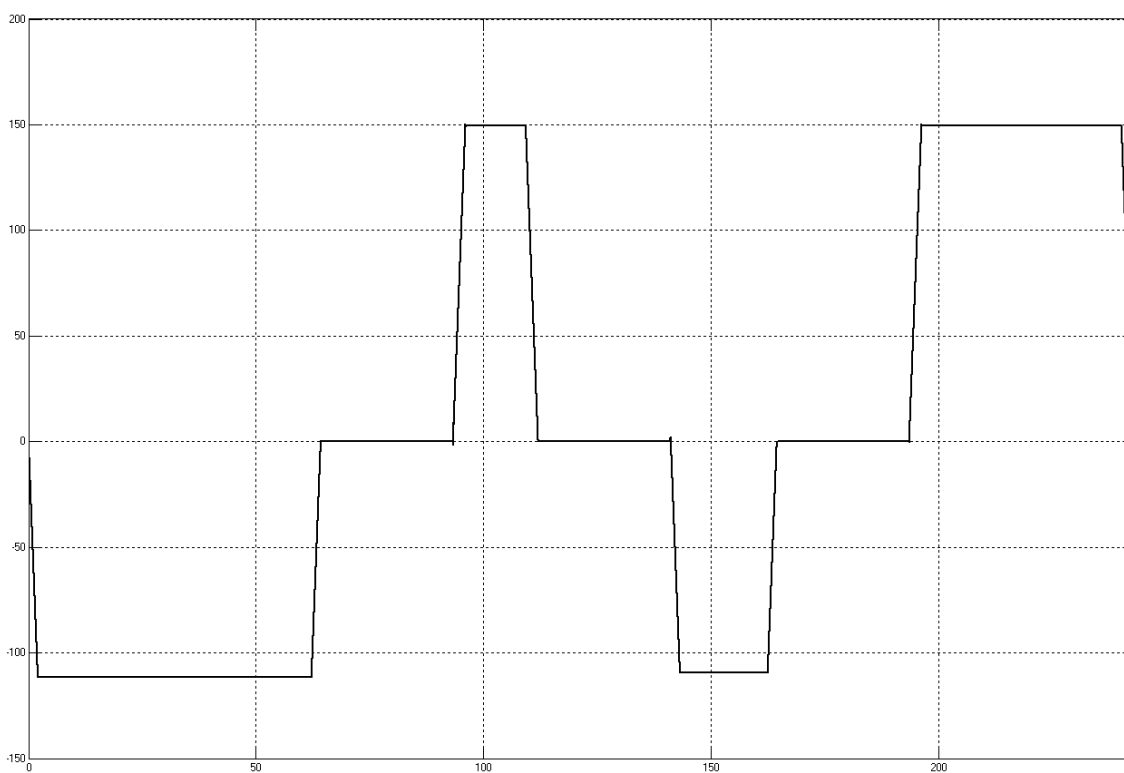


Рисунок 3.9 – График переходного процесса скорости электродвигателя

## 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

### 4.1 Общая постановка задачи

Темой дипломного проекта является модернизация электропривода крана. Цель данного дипломного проекта заключается в улучшении эксплуатационных характеристик механизмов, а также замена реостатного регулирования в цепи ротора асинхронного электродвигателя с фазным ротором, повышающее энергоэффективность крана.

Последовательность экономического обоснования технических решений:

- 1) расчет единовременных затрат (инвестиций);
- 2) расчет показателей экономической эффективности.

### 4.2 Расчет единовременных затрат (инвестиций)

Единовременные затраты (инвестиции) являются капитальными вложениями, необходимыми для реализации принятых технических решений.

Стоимость электрооборудования механизма подъема крана составляет 420580 руб. Стоимость электрооборудования механизма передвижения тележки крана составляет 221960 руб. Стоимость электрооборудования механизма передвижения моста крана составляет 361420 руб.

### 4.3 Расчет годовых текущих издержек

Расход электроэнергии:

$$W = W_{п.} + \Delta W, \quad (4.1)$$

где  $W_{п.}$  – полезное потребление электрической энергии, кВт·ч;  
 $\Delta W$  – потери электрической энергии, кВт·ч.

Полезное потребление электрической энергии:

$$W_{п.} = \frac{\sum P_{уст.} \cdot F_{д} \cdot K_{п.}}{\eta_{ср}}, \quad (4.2)$$

где  $P_{уст.}$  – установленная (номинальная) электрическая мощность токоприемников, Вт;

$F_{д}$  – годовой действительный фонд времени работ электропривода,  $F_{д}=2032$  ч;

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64



$K_{II}$  – коэффициент использования мощности электрооборудования,  
 $K_{II}=0,20$ ;

$\eta_{cp}$  – средневзвешенный КПД электропривода.

Средневзвешенный КПД электропривода:

$$\eta_{cp} = \frac{\sum P_{уст.} \cdot F_d \cdot K_{II}}{\sum P_{уст.}} \quad (4.3)$$

$$\eta_{cp.пр} = \frac{(15000 + 3000 \cdot 3) \cdot 0,755}{(15000 + 3000 \cdot 3)} = 0,755.$$

Полезное потребление электрической энергии по проектируемому варианту:

$$W_{п.пр} = \frac{(15000 + 3000 \cdot 3) \cdot 2032 \cdot 0,20}{0,755} = 12918 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Потери активной энергии:

$$\Delta W = P_n \cdot \frac{1 - \eta_{пр}}{2 \cdot \eta_{пр}} \cdot F_d \cdot K_{II}, \quad (4.4)$$

где  $\eta_{пр}$  - КПД привода.

КПД привода [33]:

$$\eta_{пр} = \eta_{эд} \cdot \eta_{преобр.}, \quad (4.5)$$

где  $\eta_{эд}, \eta_{преобр.}$  - КПД электродвигателя и преобразователя соответственно.

Потери активной энергии:

$$\Delta W_{пр} = (15000 + 3000 \cdot 3) \cdot \frac{1 - 0,755 \cdot 0,97}{2 \cdot 0,755 \cdot 0,97} \cdot 2032 \cdot 0,20 = 1782 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость израсходованной электроэнергии определяется как:

$$I_{эл} = 1,05 \cdot (W_{п.} + \Delta W) \cdot C_{эл}, \quad (4.6)$$

где  $C_{эл}$  – стоимость 1 кВт·ч,  $C_{эл} = 4,40 \text{ р.}$

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

Затраты на электроэнергию составляют:

$$I_{\text{эл.лп}} = 1,05 \cdot (12918 + 1782) \cdot 4,4 = 67914 \text{ тыс. р.}$$

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Идентификация и анализ вредных и опасных факторов в проектируемом объекте

В данном дипломном проекте осуществляется модернизация электропривода крана мостового типа. Идентификация опасных и вредных производственных факторов производится в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74.

Для крановых механизмов характерны следующие физические опасные и вредные производственные факторы:

- недостаточная освещенность рабочей зоны (подкрановых путей);
- опрокидывание крана при порывах ветра;
- движущиеся механизмы;
- расположение кабины оператора крана на значительной высоте относительно поверхности земли;
- поражение электрическим током.

Все вышеперечисленные физические опасные и вредные производственные факторы, а также нештатные ситуации, возникающие в процессе работы крановых механизмов и электрооборудования, потенциально могут послужить причиной возникновения опасностей.

### 5.2 Технические и технологические решения по снижению вредных факторов

Для устранения или снижения воздействия выявленных вредных и опасных факторов необходимо предусмотреть ряд технических и технологических решений:

1) работы на кране нельзя проводить при плохой видимости в пределах рабочей площадки; при неисправности рельсового пути крана; при сильном ветре, превышающем допустимое значение. Оповещение при превышении допустимого значения силы ветра осуществляется звуковой сигнализацией. При недостаточном освещении рабочей зоны необходимо включить внешние осветительные установки.

2) во время работы механизмов крана запрещается их чистка, регулировка и смазка. Нельзя снимать с работающих механизмов ограждение, кожухи и крышки.

3) с целью предотвращения возможности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусам электродвигателей и другим нетоковедущим металлическим частям электрооборудования, шкафов управления или конструкциям крана, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам, в цепях при номинальном напряжении 380 В применяется защитное заземление. Для исключения аварийных режимов, возникающих при возможных перегрузках

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

и коротких замыканиях, применяются тепловые реле и плавкие предохранители в силовой цепи и цепи управления. Для исключения самопроизвольного включения электрооборудования после пропадания напряжения цепи питания электродвигателей подключаются через магнитный пускатель. Снижение опасности поражения электрическим током достигается размещением силового контактного электрооборудования в закрытом силовом шкафу, а также размещение внешней силовой проводки в металлорукавах.

Электрооборудование в кабине крана соответствует степени защиты IP31; электрооборудование внутри шкафов – IP00; электрооборудование на открытых частях крана – IP44 [7].

Тормоза механизмов передвижения нормально закрытого типа, автоматически размыкающиеся при включении привода. Тормоза механизмов передвижения кранов, работающих на открытом воздухе, обеспечивают удержание крана при действии максимально допустимой скорости ветра [7].

Подача напряжения на электрооборудование крана от внешней сети осуществляется через вводное устройство (рубильник, автоматический выключатель) с ручным или дистанционным приводом. Кабина управления крана, работающего на открытом воздухе, оборудуется отопительным прибором [7].

Кран оборудован ограничителями рабочих движений для автоматической остановки. Ограничители механизмов передвижения обеспечивают отключение двигателей на расстоянии до упора не менее полного пути торможения [7].

Дверь для входа в кабину управления, передвигающуюся вместе с краном, со стороны посадочной площадки снабжена электрической блокировкой, запрещающей движение крана при открытой двери [7].

### 5.3 Рекомендации по эксплуатации электрооборудования

Требования к электрооборудованию, приборам и устройствам безопасности. К крановому электрооборудованию предъявляются следующие требования:

- температура окружающей среды от -40 до +40 °С;
- относительная влажность воздуха 95% при температуре окружающей среды +25 °С с выпадением росы.

Общие требования охраны труда. К выполнению работ электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, обученные по соответствующей программе и аттестованные квалификационной комиссией, а также получившие инструктаж по безопасным методам работы непосредственно на рабочем месте с оформлением в Журнале регистрации инструктажа.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Электромонтер, допущенный к ремонту и обслуживанию грузоподъемных машин, должен иметь группу по электробезопасности не ниже III.

Электромонтер, допущенный к самостоятельной работе по ремонту и обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин должен знать:

- инструкцию по охране труда для электромонтеров при обслуживании общепроизводственного электрооборудования напряжением до 1000 В;
- основные положения общей электротехники;
- назначение, устройство и принцип действия узлов, механизмов и электрооборудования грузоподъемных машин;
- электрические схемы, закрепленные для обслуживания грузоподъемных машин;
- соответствующие разделы "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов";
- основные причины повреждений и аварий на электрооборудовании грузоподъемных машин, уметь находить и устранять их.

Электромонтер, допущенный к самостоятельной работе по ремонту и обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин, должен:

- производить осмотр и ремонт электрооборудования грузоподъемных машин;
- производить подготовку электрооборудования грузоподъемных машин к техническому освидетельствованию.

Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин должен уметь оказать пострадавшему первую (доврачебную) помощь при несчастном случае.

В случае возникновения в процессе работы каких-либо вопросов, связанных с ее безопасным выполнением, необходимо обратиться к лицу, ответственному за безопасное производство работ [34].

Требования по охране труда перед началом работы Перед началом работы электромонтер должен:

- надеть полагающуюся спецодежду, подготовить исправные и испытанные индивидуальные средства защиты (диэлектрические перчатки, галоши);
- прежде чем приступить к работе, электромонтер должен ознакомиться с записями в оперативном журнале. Принять от электромонтера, сдавшего смену, утвержденную энергетиком техническую документацию, защитные средства по технике безопасности, сделать запись о принятии смены в оперативном журнале и расписаться;
- убедиться в достаточном освещении рабочего места;
- привести в порядок рабочее место, убрать все предметы, которые могут помешать безопасной работе.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Обо всех замеченных недостатках на рабочем месте поставить в известность мастера или руководителя работ и до их указаний к работе не приступать [34].

Требования безопасности во время работы при техническом обслуживании между ремонтами.

Работы, проводимые по устранению неисправностей

электрооборудования грузоподъемных машин по заявкам машинистов и неэлектротехнического персонала, и осмотра в отношении безопасности их выполнения подразделяются на:

- работы, выполняемые в порядке текущей эксплуатации, с записью в оперативном журнале;

- работы, выполняемые по распоряжению лиц административно-технического персонала, имеющих группу по электробезопасности не ниже IV, с записью в оперативном журнале.

В порядке текущей эксплуатации - дежурному электромонтеру по обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин разрешается в присутствии машиниста (крановщика), имеющего группу по электробезопасности II, произвести следующие работы:

- осмотр электрооборудования;
- замену перегоревших ламп и плавких вставок;
- ремонт и замену электроаппаратов, расположенных в кабине машиниста (крановщика);

- проверку исправности работы приборов и устройств безопасности, освещения, сигнализации и блокировки, за исключением приборов сигнализации о наличии напряжения на главных троллеях.

Электромонтер, получив заявку от машиниста (крановщика), должен сделать запись в оперативном журнале, указав дату и время поступления заявки, фамилию и должность давшего заявку, содержание заявки и время начала работы.

После устранения обнаруженных неисправностей в том же журнале необходимо сделать запись о содержании выполненных работ и времени их окончания.

Одновременно делается запись об устранении неисправностей в вахтенном журнале машиниста (крановщика).

При обнаружении неисправностей, не относящихся к перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации, дежурный электромонтер должен доложить старшему по смене об обнаруженных недостатках.

Работы, выполняемые по распоряжению, с записью в оперативном журнале:

- замена сгоревших электродвигателей;
- замена электромагнитных катушек и тормозов;
- регулировка концевых выключателей;
- проведение периодических осмотров.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Выполнение работ по распоряжению должно производиться двумя лицами, имеющими группу по электробезопасности не ниже III, с полным снятием напряжения, с выполнением необходимых организационных и технических мероприятий согласно требованиям "Правил техники безопасности" при эксплуатации электроустановок потребителей, с записью в оперативном журнале.

Лицо, отдающее распоряжение, должно определить состав бригады, производителя работ и организовать допуск бригады к работе.

При всех видах ремонта и осмотрах электрооборудования крана, находящегося между двумя работающими кранами, должен оформляться наряд-допуск с оформлением записей в вахтенных журналах всех кранов данного пролета.

Периодический осмотр электрооборудования грузоподъемных машин имеет цель выявить и устранить возможные неисправности в электрооборудовании, приборах и устройствах безопасности, в силовых цепях, цепях управления, сигнализации, проверить исправность защитных средств по технике безопасности и средств пожаротушения и подтвердить в журнале периодических осмотров, что электрооборудование грузоподъемных машин находится в исправном состоянии.

При проведении осмотра электрооборудования кранов регулировка и включение механизмов должны производиться по сигналу лица, осуществляющего осмотр.

При проведении осмотра и устранении неисправностей электрооборудования крана необходимо соблюдать меры предосторожности, применять необходимые исправные и испытанные защитные средства.

По окончании ремонта и осмотра все снятые ограждения на электрооборудовании и на электроаппаратах должны быть поставлены на место и укреплены.

Результаты осмотра по каждому крану в отдельности должны быть записаны в журнал периодических осмотров с указанием даты, времени осмотра, краткого содержания выявленных и устраненных недостатков и должна быть подпись лица, производившего ремонт.

При устранении неисправностей, регулировке и осмотрах электрооборудования крана запрещается:

- входить на кран и сходить с него во время его движения;
- выходить на крановые пути, ходить по крановым путям, перелезть с одного крана на другой;
- производить регулировку тормоза механизма при поднятом грузе, а также устанавливать приспособления для растормаживания тормоза вручную;
- оставлять на настиле галереи или на тележке инструмент, а также незакрепленное оборудование и детали;
- сбрасывать инструмент, материалы и запасные части с крана.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

Для переносного электроинструмента и переносных ламп применять безопасное напряжение не выше 36 В.

При выполнении всех работ по ремонту и обслуживанию крана электромонтер должен изъять у крановщика ключ-марку в порядке, установленном на предприятии по применению ключ-марочной системы [34].

Требования безопасности во время работы при плановом ремонте. Вывод крана в ремонт должен производиться лицом, ответственным за содержание грузоподъемных машин в исправном состоянии, в соответствии с графиком планового ремонта с оформлением наряда для работы в электроустановках.

Наряд выдается лицами электротехнического персонала участка, уполномоченными распоряжением главного энергетика предприятия.

В строках наряда "Отдельные указания" фиксируются дополнительные меры безопасности, связанные с работой на высоте, по предупреждению наезда работающих кранов на ремонтируемый, выхода ремонтного персонала на крановые пути действующих кранов и т.п. Оформленный наряд за день до начала ремонта передается лицу, ответственному за содержание грузоподъемных машин в исправном состоянии, который подписью разрешает работу в строках "Отдельные указания" наряда и возвращает его лицу, выдавшему наряд.

В наряде для работы в электроустройствах должны быть указаны состав бригады, производитель работ, допускающий к работе, лицо выдающее наряд; необходимые технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ при ремонте электрооборудования крана; дата и время начала работ, допуск бригады и окончание работ.

Допуск бригады к ремонту электрооборудования крана производится лицом оперативного персонала на основании наряда для работы в электроустановках и разрешения лица, ответственного за содержание грузоподъемных машин в исправном состоянии. Допускающий делает запись в оперативном журнале службы энергетика с оформлением соответствующих граф в наряде и осуществляет допуск бригады на кран.

Для обеспечения безопасности при проведении ремонта электрооборудования крана необходимо поставить его на ремонтную площадку, произвести необходимые отключения, привод рубильника закрыть

на замок, вывесить предупредительные плакаты по технике безопасности, установить переносное заземление и сделать ограждение под ремонтной площадкой.

Ремонт электрооборудования крана может производиться электромонтерами, имеющими удостоверение на право ремонта и обслуживания грузоподъемных машин, не менее двух человек с группой по электробезопасности не ниже III.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72



Не допускать на кран посторонних лиц. Запрещается выход на крановые пути без оформления специального разрешения.

По окончании ремонта и закрытия наряда лицо, ответственное за содержание грузоподъемных машин в исправном состоянии, производит проверку готовности крана к работе, делает запись в вахтенном журнале крана:

"Разрешаю работу крана с \_\_\_\_\_ ч. \_\_\_\_\_ мин \_\_\_\_\_ числа \_\_\_\_\_ месяца \_\_\_\_\_ года" за своей подписью.

Требования безопасности в аварийных ситуациях. При несчастном случае, пострадавший или очевидец, бывший при этом, обязан немедленно известить мастера или начальника участка, которые должны организовать оказание первой (доврачебной) помощи пострадавшему и направить его в лечебное учреждение. При тяжелом несчастном случае немедленно вызвать скорую помощь и известить администрацию.

Устранение неисправностей электрооборудования грузоподъемных машин должно производиться только при отключении крана от питающей сети [34].

Требования безопасности по окончании работы. По окончании смены или работы электромонтер должен:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать детали, материалы, электроаппаратуру и инструмент;
- привести в порядок электросхемы и другую техническую документацию;
- сделать запись в оперативном журнале о техническом состоянии электрооборудования грузоподъемных машин на закрепленном участке;
- сдать электромонтеру, принимающему смену, утвержденную энергетиком цеха (участка) техническую документацию, защитные средства по технике безопасности, сделать запись о сдаче смены

											Лист
											73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был рассмотрен вопрос модернизации электропривода мостового крана. В результате анализа вариантов реализации системы электропривода механизмов крана, был выбран тип электропривода с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с частотным управлением. Произведены расчеты и выбор двигателя. По мощности и току двигателей механизмов был выбран преобразователь частоты фирмы Schneider electric серии Altivar 71.

Выполнено моделирование электропривода.

В разделе безопасность жизнедеятельности проведен анализ опасных и вредных факторов. Предусмотрены меры по охране труда. Рассмотрены технические и технологические решения по снижению вредных факторов

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 «КИП-Энерго» [www.kipenergy.ru](http://www.kipenergy.ru)
- 2 «Мион» [tdmelectric.ru](http://tdmelectric.ru)
- 3 «Московский завод электромонтажных изделий» [mzemi.ru](http://mzemi.ru)
- 4 «Платан» [platan.ru](http://platan.ru).
- 5 «ПневмоЭлектроСервис» [pes-rus.ru](http://pes-rus.ru)
- 6 «Промэнерго» [promenergo.ru](http://promenergo.ru).
- 7 «Радиодип» [radiodip.ru](http://radiodip.ru)
- 8 «Чип и Дип» [www.chipdip.ru](http://www.chipdip.ru)
- 9 «Электроимпульсные системы» [elims-cheb.ru](http://elims-cheb.ru)
- 10 Б. Ю. Семенов Силовая электроника: от простого к сложному. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 416 с.: ил.
- 11 Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов/М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.-576 с.
- 12 Большаков Я.М., Крупович В.И., Самовер М.Л. (ред.). Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных установок Издание второе, переработанное и дополненное. — М.: Энергия, 1975. – 728 с.
- 13 Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков; Под ред. И. Я. Браславского. - М.: Издательский центр "Академия", 2004. - 256 с.
- 14 ГОСТ 1451-77 Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и методы определения.
- 15 Двигатели асинхронные крановые серий МТ, 4МТ. Руководство по эксплуатации БИДМ.520205.013.
- 16 Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: Метод. пособие. - 6-е изд., перераб. и доп.-М.: Высш. шк., 1985.-143 с., ил.
- 17 Инструкция по охране труда для электромонтеров по ремонту и обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин.
- 18 Ключев, В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
- 19 Крановое электрооборудование: Справочник/Алексеев Ю.В., Богословский А.П., Певзнер Е.М. и др.; Под ред. А.А. Рабиновича. - М.: Энергия, 1979.-240 с., ил.
- 20 Справочник по электрическим конденсаторам / М.Н. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Присняков и др.; Под общ. ред. И.И. Черветкова и В.Ф. Смирнова. - М.: Радио и связь, 1983. - 576 с.: ил.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист 75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 21 Чунихин, А. А. Электрические аппараты (общий курс). Учебник для энергетических и электротехнических институтов и факультетов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975. 648 с. с ил.
- 22 Эргономика и безопасность труда/ Л. П. Голикова, О. М. Мальцева, Н. А. Коханова, А. Н. Строкина. – М.: Машиностроение, 1985. – 112с., ил.

					13.03.02.2020.979.000.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

