

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Усть-Катаве

Кафедра Электромеханика

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, ФГЧН ПСЗ
Назначение УЧ-105 ЧАС
УСХ 45 Артемьев П.Ф.
18.06.2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,
к.ф.м.н., доцент
Сафонов В.И. Сафонов
28 июня 2016 г.

Модернизация электроприводов мостового крана

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-140400.2016.136.000 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н., доцент
16.5 В.Г. Некрутов
17.06 2016 г.

Руководитель работы,
к.т.н., доцент

17.06 К.М. Виноградов
2016 г.

Автор работы

студент группы У-К-523
17.06 А.Е. Лукьянов
2016 г.

Нормоконтролер, доцент

16.06.16 В.Д. Константинов
2016 г.

Усть-Катав 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Усть-Катаве

Кафедра Электромеханика
Направление 140400 Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Сидоров В.И. Сафонов
17 февраля, 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента
Лукьянова Алексея Евгеньевича

Группа У-К-523

1 Тема работы

Модернизация электроприводов мостового крана

утверждена приказом по филиалу от 15.04.2016 № 661

2 Срок сдачи студентом законченной работы 16 июня 2016 г.

3 Исходные данные к работе

3.1 Материалы производственной практики

3.2 Справочно-техническая литература

3.3 Инструкции к оборудованию

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

Аннотация

Оглавление

Введение

1 Описание технологического процесса.

2 Выбор типа электропривода, двигателя и силового преобразователя.

3 Общий раздел. Техническое описание мостового крана и его работы. Основные режимы работы. Проверка двигателя привода главного движения по мощности. Назначение, технические данные и устройство выбранного электропривода. Выводы.

4 Специальный раздел. Динамический анализ электропривода. Расчет статических и динамических параметров и характеристик электропривода. Разработка системы автоматического управления. Разработка системы технологической автоматизации. Выводы.

5 Организационно-экономический раздел. Организация производства. Экономика производства. Выводы.

6 Безопасность жизнедеятельности. Организация рабочего места. Требования электробезопасности. Расчет естественной вентиляции. Расчет заземления. Обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях на пожаровзрывоопасных объектах. Выводы.

Заключение



Библиографический список

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


<u>5.1 Нагрузочная диаграмма.</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.2 Кинематическая схема.</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.3 Силовые цепи электродвигателя. Схема электрическая принципиальная.</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.4 Привод электродвигателя. Схема электрическая структурная</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.5 Схема технологической автоматики.</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.6 Электропривод. Схема электрическая функциональная</u>	<u>1,0 л</u>


Всего 6 листов

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





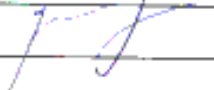

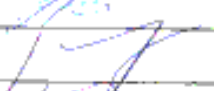


Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Безопасность жизнедеятельности	В.Г. Некрутов		

7 Дата выдачи задания 17.02 2016 г.

Руководитель, к.т.н., доцент _____ К.М. Виноградов
(подпись) 

Задание принял к исполнению _____ А.Е. Лукьянов
(подпись студента) 

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Обзор литературы и постановка задачи	17.02 - 4.03.2016	
Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений	5.03 - 14.03.2016	
Общий раздел	15.03 - 24.03.2016	
Специальный раздел	25.03 - 07.04.2016	
Организационно-экономический раздел	08 - 20.04.2016	
Безопасность жизнедеятельности	21.04 - 10.05.2016	
Выполнение графической части	11 - 28.05.2016	
Направление на рецензию	07 - 23.04.2016	
	16.06.2016	

Заведующий кафедрой _____ /В.И. Сафонов/
 Руководитель работы _____ /К.М. Виноградов/
 Студент _____ /А.Е. Лукьянов/

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	10
1.1 Основные режимы работы крановых механизмов.....	10
1.2 Механическая часть.....	10
1.3 Устройство и работа крана.....	13
2 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	17
2.1 Общие сведения о применениях различных электроприводов.....	17
2.2 Требования предъявляемые к электроприводу главного подъема.....	18
2.3 Основные исходные данные для проектирования.....	21
2.4 Предварительный выбор мощности и электродвигателя.....	22
2.5 Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы.....	24
2.6 Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузке.....	27
2.7 Выбор преобразователя частоты.....	29
2.7.1 Краткое описание современных преобразователей частоты.....	31
2.7.2 Характеристики преобразователей частоты.....	33
3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	35
3.1 Построение системы автоматического управления с ориентацией поля ротора в системе координат с управляемым скольжением.....	35
3.2 Синтез регуляторов.....	47
3.2.1 Синтез регуляторов преобразованных токов статора.....	40
3.2.2 Синтез регулятора потокосцепления ротора.....	43
3.2.3 Синтез регулятора электромагнитного момента.....	45
3.2.4 Синтез регулятора угловой скорости.....	46
3.3 Моделирование процессов в частотно-регулируемом электроприводе	49
3.3.1 Постановка задачи.....	49
3.3.2 Краткое описание приложения Simulink пакета MATLAB.....	49
3.4 Моделирование частотно-регулируемого электропривода.....	52
3.4.1 Математическая модель объекта управления.....	52
3.4.2 Расчет параметров объекта управления.....	59
3.4.3 Математическая модель системы управления электроприводом	60
4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ.....	65
4.1 Описание контроллера Овен ПЛК 110-30.....	65
4.2 Программа для контроллера.....	71
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	80
5.1 Введение.....	80
5.2 Исходные данные для расчета и капитальные затраты по вариантам	83
5.3 Определение годового экономического эффекта.....	84
5.3.1 Затраты на энергетические ресурсы.....	85

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

5.3.2 Амортизационные отчисления.....	86
5.3.3 Стоимость ремонта.....	87
5.3.4 Снижение заработной платы основных рабочих.....	87
5.3.5 Определение срока окупаемости.....	88
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	91
6.1 Введение.....	91
6.1.2 Краткая характеристика модернизируемого объекта.....	94
6.2 Безопасность труда	94
6.2.1 Определение опасных и вредных факторов производства.....	95
6.2.1 Шум.....	95
6.2.2 Освещенность.....	96
6.2.3 Вибрация.....	97
6.2.4 Микроклимат.....	97
6.3 Электробезопасность.....	98
6.3.1 Расчёт заземления.....	99
6.3.2 Обеспечение безопасности труда.....	99
6.3.3 Риск.....	101
6.3.4 Интенсивность труда.....	102
6.4 Чрезвычайные ситуации.....	103
6.4.1 Чрезвычайная ситуация.....	104
6.4.2 Пожаробезопасность.....	105
6.5 Эргономика.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	114

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время актуальна устойчивая тенденция к использованию частотно-регулируемых электроприводов в кранах на металлургических предприятиях и за их пределами, как за рубежом, так и в России. Это обстоятельство определяется следующими факторами. Использование регулируемых приводов позволяет значительно повысить комфортные показатели работы крана в части ускорения в крановом хозяйстве. В свою очередь, плавные переходные процессы, обеспечиваемые частотно - регулируемым приводом приводят к заметному снижению динамических нагрузок в элементах кинематической цепи привода, что позволяет увеличить надежность и повысить срок работы механической части крана, пропадает необходимость замены редуктора, канатоведущего барабана, тормозных колодок, электродвигателя и других элементов конструкции при модернизации кранов.

Основной причиной широкого применения регулируемого привода в крановом хозяйстве является снижение энергопотребления при работе крана на 40-60%, которое достигается за счет значительного снижения вращающихся маховых масс лебедки главного подъема .

Применение частотных преобразователей позволяет использовать асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общего применения, а не специализированные устройства с фазным ротором. Маховый момент ротора таких двигателей в разы меньше аналогичных двигателей с фазным ротором, а стоимость их в несколько раз меньше по сравнению со специализированными крановыми двигателями.

Вследствие этого, эффект в экономическом аспекте от внедрения частотно-регулируемого электропривода является суммой из экономии электроэнергии и снижения эксплуатационных затрат.

Срок окупаемости такого крана, в зависимости от грузоподъемности и интенсивности работы составляет от 4 до 8 лет (в зависимости от грузоподъемности и интенсивности использования).

Для более точной оценки экономической и технологической эффективности внедрения частотно-регулируемого электропривода предлагается оснастить таким электроприводом один из кранов и экспериментально замерить расход электроэнергии до и после внедрения, а также оценить динамические нагрузки, удобство в управлении и другие технические параметры крана. Наиболее важное значение для успешного проведения этой работы имеет правильный выбор преобразователя частоты, как по его техническим параметрам, так и по маркетинговым соображениям, с учетом опыта использования преобразователей другими предприятиями.

Стоимость предлагаемого проекта состоит из стоимости нового электрооборудования (преобразователя частоты с тормозным резистором), стоимости работ по проектированию, монтажу, настройке и наладке электропривода крана, проведения исследовательских работ по оценке его технико-экономических показателей и экономической эффективности. На металлургических предприятиях работают мостовые краны общего назначения (крюковые, грейферные, магнитные, магнито-грейферные) и металлургические

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

(литейные, для раздевания слитков, колодцевые, посадочные и др.).

Конструкция кранов в основном определяется их назначением и спецификой технологического процесса. Но ряд узлов, например механизмы подъема и передвижения, выполняются однотипными для кранов различных видов. Поэтому имеется много общего в вопросах выбора и эксплуатации электрооборудования кранов.

Электрооборудование кранов металлургических цехов работает, как правило, в тяжелых условиях: высокая запыленность и загазованность, увеличенная температура среды или ее резкие колебания (от минусовой до +55-75 °С), повышенная влажность (до 85-90%), влияние химических реагентов. В связи с этим оно должно выбираться в соответствующем конструктивном исполнении.

Оборудование кранов стандартизировано, поэтому краны различные по назначению и конструкции комплектуются серийно выпускаемым электрооборудованием. Схемы управления отдельными кранами отличаются, что связано со спецификой соответствующих цехов металлургических предприятий и назначением кранов. К электрооборудованию кранов предъявляют следующие требования: обеспечение высокой производительности, надежность работы, безопасность обслуживания, простота эксплуатации и ремонта и др.

На металлургических предприятиях широко применяются крюковые мостовые краны общего назначения при технологических, погрузочно-разгрузочных, монтажных, ремонтных, складских и других видах работ. У этих кранов большая номенклатура типоразмеров и исполнений, их грузоподъемность достигает 800 т, однако наиболее широко используются краны грузоподъемностью от 5 до 320 т трех-, четырех- и пятидвигательные. Для привода механизмов этих кранов наиболее широко применяются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным ротором (реже - с короткозамкнутым)

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Основные режимы работы крановых механизмов

Режим работы крановых механизмов - важный фактор при выборе мощности приводных электродвигателей, аппаратуры и системы управления. От него зависит и конструктивное исполнение механизмов.

В ряде случаев даже однотипные краны работают в разных режимах. Неверный выбор режима при проектировании электропривода кранов ухудшает технико-экономические показатели всей установки. Выбор же более легкого режима обуславливает повышенный износ электрооборудования, частые поломки и простои. Поэтому важно выбрать оптимальный режим работы кранового механизма.

По правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных механизмов установлено четыре номинальных режима работы: легкий (Л), средний (С), тяжелый (Т), весьма тяжелый (ВТ).

Для каждого механизма крана режим работы определяется отдельно, режим работы крана в целом устанавливается по механизму главного подъема.

В соответствии со стандартом СЭВ 2077-80 все краны по условиям использования и нагружения подразделяются на 7 классов (А0-А6).

						140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			10

1.2 Механическая часть

Конструкция крана (см. рис. 1.1.2.1) состоит из моста по рельсам которого перемещается грузовая тележка 2. Управление краном производится из кабины крановщика 3, расположенной под рабочей площадкой моста. Для обслуживания питающих крановых троллей и токоприемников предусмотрена кабина для обслуживания троллей 4. Электрооборудование 5, расположенное на мосту, тележки и в кабине крановщика, предназначено для управления механизмами крана. Токоподвод к грузовой тележке осуществляется гибким кабелем 6, подвешенным к кареткам, перемещающимся по монорельсу.

Мост крана состоит из двух полумостов, вес каждого из которых равномерно, передается на четыре ходовых колеса. Полумосты шарнирно соединены между собой переходными балками. Привод передвижения моста - раздельный. Мост оборудован переходными площадками, лестницами, буферами.

1.3 Устройство и работа крана

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно - кратковременном режимом работы при большой частоте включения, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоконтроллеров, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы.

Мост крана состоит из двух пролетных балок коробчатого сечения, каждая из которых опирается на две концевые балки коробчатого сечения, шарнирно соединённых между собой соединительной балкой, образующих жесткую раму.

На концевых балках моста крана закреплены восемь двухребордных ходовых колес, из которых четыре - приводные.

Для выхода на площадку моста из кабины предусмотрен люк.

На пролетных балках при помощи прижимных планок закрепляются подтележечные рельсы.

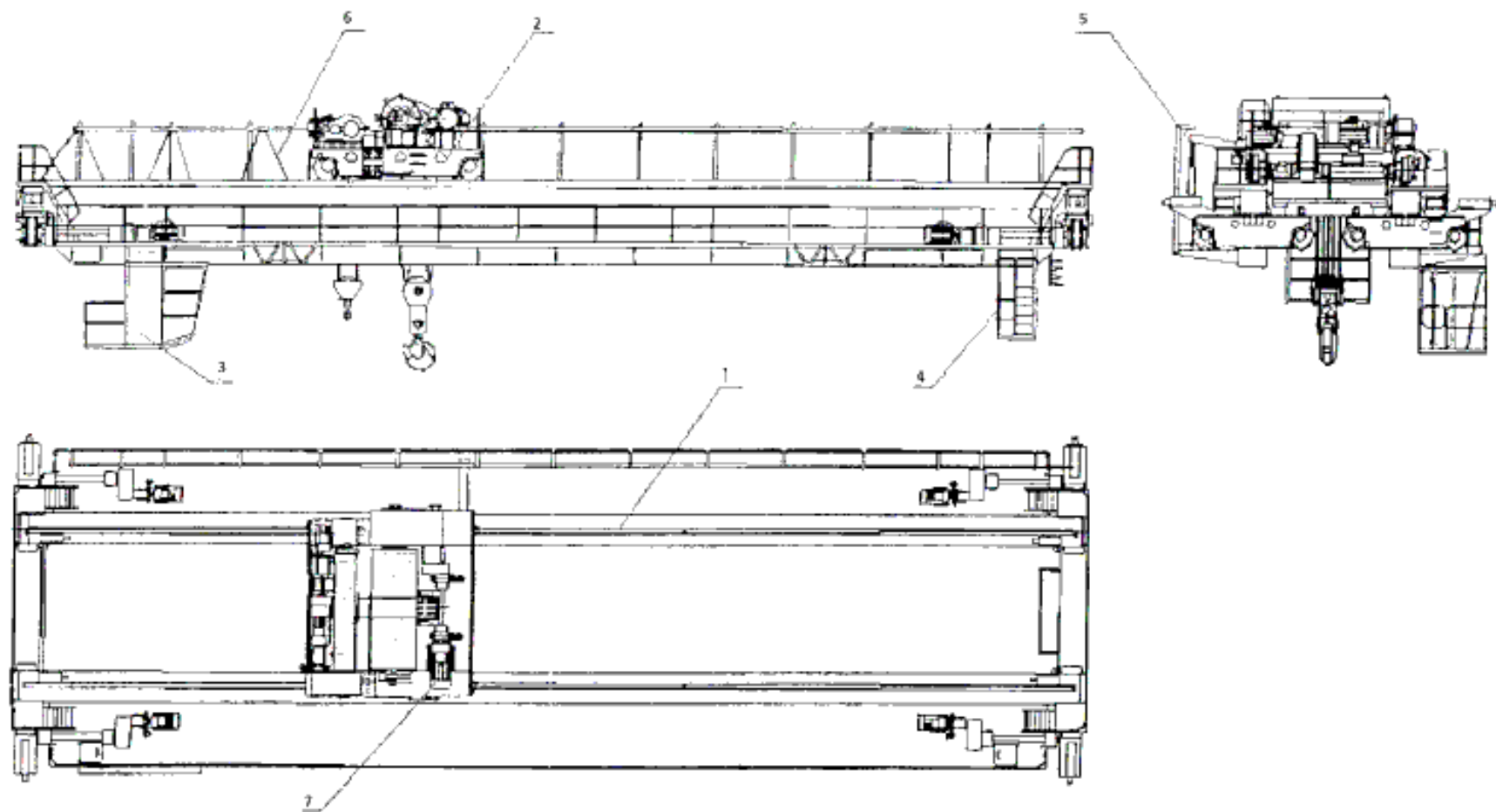
Площадки пролетных балок оборудованы перилами и предназначены для безопасного и удобного обслуживания кабельного токоподвода грузовой тележки, а также электрооборудования и механизмов, расположенных вне кабины и тележки.

Для обслуживания главных троллей у торца моста подвешена кабина.

Концевые балки моста при монтаже крана оборудуются перилами, а площадки перилами и ограждениями. Переход между площадками пролетных балок, осуществляется по концевым балкам с использованием лестниц.

Ограничение перемещения тележки крана осуществляется буферными устройствами, расположенными на пролетных балках моста, а крана - буферами, закрепленными на концевых балках.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11



1 - мост, 2 - грузовая тележка, 3 - кабина крановщика, 4 - кабина для обслуживания троллей, 5 - токоподвод к грузовой тележке; 6 - электрооборудование крана, 7- Электродвигатель, К21F315S6, $P_N=75\text{кВт}$, $n_N=983\text{об/мин}$

Рис. 1.1 - Общий вид крана

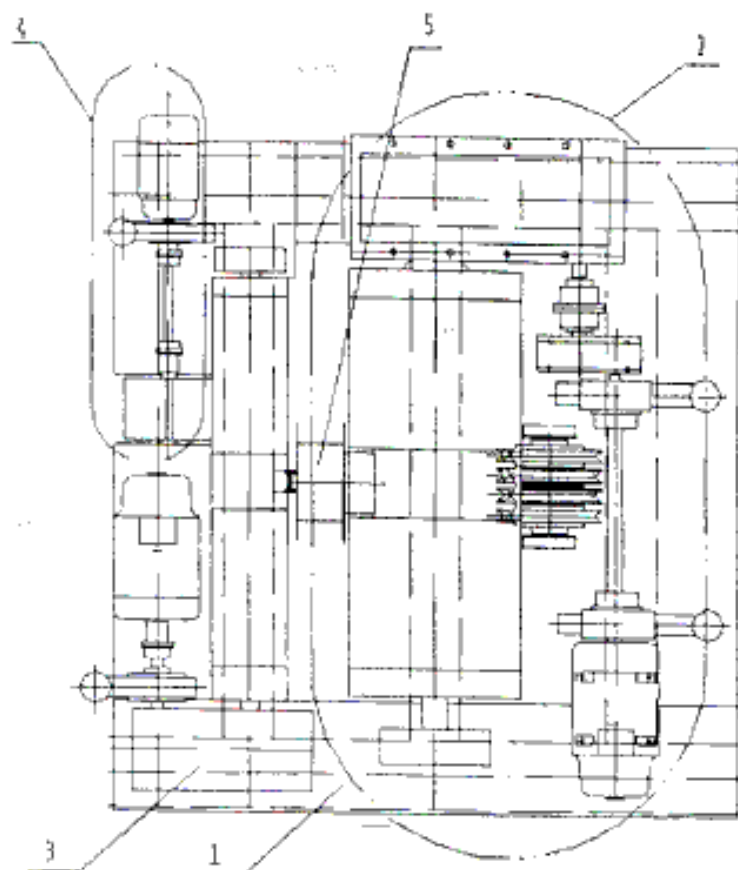
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Скрепки, установленные перед колесами моста предотвращают возможность попадания под колеса посторонних предметов.

Механизм передвижения крана с приводными колесами выполнен с четырьмя отдельными приводами, состоящими из электродвигателя, тормоза, быстроходного вала с шарнирами муфт, редуктора, тихоходного вала с шарнирами муфт, соединённого с валом приводного колеса. Общий вид крана показан на рис. 1.1

Грузовая тележка состоит (рис. 1.2) из: рамы, двух механизмов подъёма с грузовыми подвесками, механизма передвижения тележки. На одном кране грузовая тележка с электромагнитом на вспомогательном подъеме, оборудуется и кабельным барабаном.



1-рама; 2- механизм главного подъема; 3- механизм вспомогательного подъема, 4-механизм передвижения тележки; 5-кабельный барабан.

Рис. 1.2 - Грузовая тележка

Рама тележки сварная, балочной конструкции, разъёмная для обеспечения возможности её транспортировки железнодорожным транспортом. Соединение частей рамы выполнено с помощью накладок и чистых болтов без применения сварки. Рама установлена на четыре ходовых колеса, два из которых приводные. Ходовые колеса крепятся к раме посредством угловых букс.

Грузовая тележка передвигается по рельсам вдоль пролётных балок моста.

Механизм главного подъёма состоит из электродвигателя, двух шарниров муфт с промежуточным валом, двух редукторов с зубчатой муфтой между ними, двух колодочных тормозов, барабана, полиспада, подвески грузоподъемностью

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

90т.

Полиспаст механизма главного подъема — пятикратный сдвоенный.

Барабаны механизма подъемов получают вращение через зубчатую ступицу с редуктора. Опорами барабанов с одной стороны являются подшипники в выходном зубчатом вале редуктора, а с другой стороны подшипники в опоре барабана.

Барабан механизма главного подъема состоит из сварной обечайки, на поверхности которой нарезаны винтовые канавки, обеспечивающие направление и однослойность навивки грузового каната. С помощью шпилек с пружинными шайбами и гайками, на поверхности барабана накладками, закрепляются концы каната. Задняя опора барабана состоит из корпуса, который может поворачиваться относительно шарнира и вторым концом опирается на несоизмерительную ячейку SIWAREX R серии RN, которая является одним из элементов ограничителя грузоподъемности. Вращение на вилку концевого выключателя передается с вала ступицы через стакан, закрепленного к валу болтами и сухарь.

Механизм вспомогательного подъема состоит из электродвигателя, вала с зубчатыми муфтами, редуктора, колодочного тормоза, барабана, сдвоенного полиспаста, подвески грузоподъемностью 20 т.

Полиспаст механизма вспомогательного подъема - двукратный сдвоенный.

Барабан вспомогательного механизма подъема состоит из обечайки, на поверхности которого нарезаны винтовые канавки, обеспечивающие направление и однослойность навивки грузового каната. На поверхности барабана накладками закрепляются концы каната. Задняя опора барабана состоит из корпуса, который может поворачиваться относительно шарнира и вторым концом опирается на несоизмерительную ячейку SIWAREX R серии RN, которая является одним из элементов ограничителя грузоподъемности. Вращение на вилку концевого выключателя передается с вала ступицы через стакан, закрепленного к валу болтами и сухарь.

Тележка опирается на четыре двухребордных колеса, два из которых приводные.

Механизм передвижения тележки состоит из электродвигателя, колодочного тормоза, быстроходного вала с зубчатыми муфтами, вертикального редуктора, двух промежуточных валов с зубчатыми муфтами (шарнирами муфт) и двух приводных колёс. Приводные колеса тележки состоят из колеса, насаженного на вал с применением шпонок. Вал колеса вращается на подшипниках качения, установленных в угловых буксах.

Кабина управления закрытого типа остеклена, имеет тепло и шумоизоляцию, оснащена кондиционером, электрообогревателем и пультом управления.

Пульт управления предназначен для управления всеми механизмами крана. Пульт управления поворотный оборудован креслом крановщика имеющего регулировку положения по высоте и вдоль продольной оси кабины.

В конструкции крана предусмотрены:

свободный доступ для обслуживания механизмов и электрооборудования;

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

безопасность обслуживания, ремонта, монтажа механизмов и их сборочных единиц;

места для строповки сборочных единиц крана при монтаже и ремонте;

система лестниц и площадок, необходимых для технического обслуживания и ремонта механизмов и электрооборудования.

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

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

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

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

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОМУ РАЗДЕЛУ

В первом разделе были рассмотрены устройство, механическая часть и работа крана. Так же были разобраны основные режимы работы крановых механизмов.

2 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

2.1 Общие сведения о применениях различных электроприводов

В цехах металлургических предприятий находят применения крановые электродвигатели постоянного тока (последовательного или параллельного возбуждения) и трехфазного переменного тока (асинхронные). Работают они, как правило, в повторно-кратковременном режиме при широком регулировании диапазона частоты вращения, и следует отметить, что их рабочий процесс сопровождается изрядными перегрузками, частыми процессами пуска, реверса, торможениями. Кроме того, электродвигатели крановых механизмов функционируют в условиях повышенных вибраций и тряски. В ряде металлургических производств они, помимо выше сказанного, подвержены воздействию высоких температур (до 55-75 °С), газов и царов.

В следствие этого по своим технико-экономическим показателям и характеристикам крановые электродвигатели отличаются от подобных общепромышленного исполнения.

Основные особенности крановых двигателей:

- момент инерции ротора минимальный (по возможности), а номинальная частота вращения, для уменьшения потерь энергии в переходных процессах, относительно небольшая -;
- магнитный поток относительно велик - для обеспечения высокой перегрузочной способности по моменту;
- закрытое исполнение (обычно);
- материалы изоляции имеют класс нагревостойкости F и H ;
- по моменту, в часовом режиме, для двигателей переменного тока, значение кратковременных перегрузок составляет - 2,3 - 3,5, а для крановых электродвигателей постоянного тока - 2,15 - 5,0;
- отношение максимально допустимой частоты вращения к номинальной, рабочем режиме, составляет электродвигателей переменного тока 2,5, для постоянного тока 3,5 - 5;
- для крановых электродвигателей переменного тока за номинальный принят режим с ПВ = 40%, а для электродвигателей постоянного тока, совместно с этим режимом - режим 60 минут (часовой). Наиболее широко для привода крановых механизмов применяются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным ротором, обеспечивающие, при относительно большом значении нагрузки на валу, регулирование скорости и плавный пуск. Такие электродвигатели устанавливаются на кранах при работе на среднем, тяжелом и значительно тяжелом режимах. Они допускают регулирование момента пуска в заданных границах и регулирование скорости от (1:3) до (1:4).
- Асинхронные электродвигатели с ротором короткозамкнутым применяются реже из-за несколько увеличенного пускового момента и изрядных пусковых токов (для привода механизмов передвижения тихоходных малоответственных кранов), хотя их масса примерно на 9 % меньше, чем у асинхронных двигателей с фазным ротором, а стоимость при этом в 1,4 раза

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

меньше, чем при одинаковой мощности. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяют иногда (для механизмов подъёма) при режимах *L* и *C*. Их применение на механизмах, работающих в тяжелых режимах, ограничивается сложностью схем регулирования скорости и небольшой допустимой частотой включения.

- Основные преимущества асинхронных электродвигателей в сравнении с двигателями постоянного тока - это простота ремонта, обслуживания и меньшая стоимость. Масса кранового электродвигателя постоянного тока с наружной самовентиляцией в 2 - 3 раза больше массы кранового асинхронного электродвигателя при одинаковых номинальных моментах, и масса меди соответственно примерно в 5 раз больше. Если затраты на эксплуатацию принять за единицу для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, то для электродвигателей с фазным ротором эти затраты составят в 5 раз больше, а для электродвигателей постоянного тока в 10 раз. Поэтому в электроприводах кранов широкое применение получили именно асинхронные электродвигатели (около 80 % от общего числа).

Электродвигатели постоянного тока более целесообразно применять для работы в системе *Г* -, когда для приводов с большим числом включений в час требуется плавное и широкое скоростное регулирование, при необходимости регулирования скорости от номинальной вверх.

В последнее время достижения в создании относительно малогабаритных и экономичных силовых полупроводниковых преобразователей еще более расширили область применения электродвигателей переменного тока. Полупроводниковые преобразователи на полностью управляемых силовых ключах, а именно: *IGCT*- тиристорах и силовых *IGBT*-транзисторах дают возможность применять асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в крановом хозяйстве повсеместно.

2.2 Требования, предъявляемые к электроприводу главного подъёма

- Двигатель должен быть защищен от перегрузки и коротких замыканий в силовой цепи и цепи управления. При прекращении питания приводного двигателя должна автоматически отключиться цепь управления, а после восстановления должен быть исключен самозапуск;

- Привод главного подъёма должен быть обеспечен нормально - замкнутым контактом, а при включении двигателя тормоз должен автоматически открываться. Замыкание токоведущих частей электрического устройства привода тормоза на корпус не должно вызвать самопроизвольное включение этого привода. У электродвигателя переменного тока при питании от управляемого преобразователя, снятие механического тормоза должно происходить при величине тока двигателя, который обеспечивает необходимый момент для удержания кабины;

- Привод должен быть реверсивным;
- Класс нагревостойкости изоляционных материалов выбранного типа привода должен быть F или H;
- Работа привода в повторно- кратковременном режиме с ПВ = 40 %;

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

- Ускорение подъема крюка с грузом не должно превышать $a_{\max} = 0,3 \text{ м/с}^2$;
- Скорость подъема не должна превышать $V_{\max} = 1,4 \text{ м/с}$;
- Диапазон регулирования привода подъема $D (4 : 1)$;

2.3 Основные исходные данные для проектирования
Технические требования крану предоставлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные

Наименование	Обозначение	Величина	
Масса груза, т	G_H	90	
Масса крюка, т	G_N	3,03	
Суммарный момент инерции механизма, кг м ²	J_m	2,3	
Передаточное отношение редуктора	i	125,00	
Суммарный КПД механизма	η	0,90	
Скорость подъема заданная, м/с	V	0,1	
Ускорение м/с ²	a	0,04	
Диаметр барабана, м	D_b	1,228	
Полиспастьность	Кратность	m	5,000
	Количество веток		2
Номинальная скорость двигателя заданная, об/мин	n_z	1000	
Количество двигателей	y	1	
Высота подъема, м	h	28,00	
Диапазон регулирования скорости		1:4	
Время технологической паузы, сек	t_H	423	
Ускорение свободного падения, м/с ²	g	9,81	

2.4 Предварительный выбор мощности электродвигателя

Приведенный к валу двигателя статический момент при подъеме груза, $M_{ст}$

$$M_{ст} = \frac{(G_H + G_N) \cdot D_e \cdot g}{i \cdot 2 \cdot u \cdot m \cdot \eta} = \frac{(90000 + 3030) \cdot 9,81 \cdot 1,228}{125 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 0,9} = 996 \text{ Нм}$$

Момент статический подъема с учетом запаса 15%

$$M_{ст.р} = M_{ст} \cdot 1,15 = 1,15 \cdot 996 = 1146 \text{ Нм}$$

Расчетная мощность электродвигателя

$$P_{рас} = \frac{M_{ст.р} \cdot n_z}{9550} = \frac{1146 \cdot 1000}{9550} = 119,9 \text{ кВт}$$

По предварительным расчетам время цикла T_q превышает 10 минут, следовательно необходимо выбрать электродвигатель предназначенный для работы в режиме S1

Выбираем асинхронный электродвигатель с кз ротором K21F315S6

Таблица 2.2

Параметры электродвигателя K21F315S6

Наименование	Обозначение	Величина
Мощность номинальная, кВт	P_H	75,000
Скорость вращ. номин., об/мин	n	983,000
Момент инерции ротора, кг*м ²	J_0	2,630
Ток номинальный А	I_H	133,000
КПД, %	η	0,925
Cos φ	$\cos \varphi$	0,860
Момент номинальный, Н*м	M_H	731,000
Момент максимальный, Н*м	$M_{макс}$	1340,000
Момент критический, Н*м	M_k	1754,000
Параметры схемы замещения:		
Индуктивное сопр. гл. магн. цепи, о.е.	x_m	3,500
Активное сопр. статорной цепи, о.е.	r_1'	0,030
Индук. сопр. расс, статорной цепи, о.е.	x_1'	0,110
Активное сопр. роторной цепи, о.е.	r_2'	0,019
Индук. сопр. расс, роторной цепи, о.е.	x_2'	0,120
Режим работы	S1	
Охлаждение	Принудительная вентиляция	

На механизмах крана предусматривается применение асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором фирмы VEM motors (Германия), допускающих работу в системах регулируемого электропривода переменного тока в широком диапазоне изменения скорости вращения. Характерными особенностями двигателей этого типа являются:

- жесткие механические характеристики двигателей;
- обмотки статора двигателя выполняются из провода с изоляцией класса нагревостойкости «F» (рабочая температура до 155 °С);
- климатическое исполнение всех электродвигателей У1 по ГОСТ 15150-69, степень защиты IP54 по ГОСТ 17494-87, группа условий эксплуатации по стойкости к механическим внешним воздействующим факторам МЗ (на грузоподъемных кранах) по ГОСТ 17516.1-90; ротора электродвигателей подвергаются статической и динамической балансировке; электродвигатели выполняются с независимой вентиляцией; двигатели изготавливаются со встроенными датчиками температуры и термовыключателями, обеспечивающими включение вентилятора независимого обдува при температуре обмотки 70 °С; на двигатели могут быть установлены цифровые датчики скорости (энкодеры) и реле максимальной скорости; двигатели механизмов перемещения снабжены встроенными дисковыми электромагнитными тормозами.

где $G_{гр}$ – вес грузоподъемного устройства

G – вес груза

$m_{пг}$ – кратность полиспаста

g – ускорение свободного падения

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

$$G_{гр} = g \times m_{пг} = 9,81 \times 90000 = 882900 \text{ Н}$$

$$G = g \times m = 9,81 \times 3030 = 29724,3 \text{ Н}$$

Угловая скорость барабана

$$\omega_b = \frac{V}{R_b} = \frac{0,1}{0,614} = 0,162 \text{ рад/с}$$

Принимаем частоту вращения двигателя 983 об/мин

Номинальная угловая скорость вращения вала двигателя

$$\omega_{н} = \frac{\pi \cdot n_{н}}{30} = \frac{3,14 \cdot 983}{30} = 104,6 \text{ рад/с}$$

Статический момент при подъеме груза, приведенный к валу двигателя

$$M_{ст.пг} = M_{ст} = 996 \text{ Нм}$$

Статический момент при спуске груза, приведенный к валу двигателя

$$M_{ст.спг} = M_{ст} \cdot \eta_{мех} = 996 \times 0,9 = 896,4 \text{ Нм}$$

Расчётная статическая мощность на валу электродвигателя

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$P_{ст} = \frac{(G_H + G_N) \cdot g \cdot V}{\eta_{мех}} = \frac{(90000 + 3030) \cdot 9,81 \cdot 0,1}{0,9 \times 1000} = 101,4 \text{ кВт}$$

Номинальная скорость вращения барабана

$$\omega_n = \frac{2V}{D_b} = \frac{2 \cdot 0,1}{1,228} = 0,16 \text{ рад/с}$$

2.5 Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы электродвигателя

Рассмотрим участок нашей тахограммы, на котором происходит спуск крюка - без груза.

Статический момент ЭД при опускании крюка без груза:

$$M_{ст} = \frac{G_N \cdot D_0 \cdot g \cdot \eta}{i \cdot 2 \cdot y \cdot m} = \frac{3030 \cdot 9,81 \cdot 1,228 \cdot 0,9}{125 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 5} = 26,27 \text{ Нм}$$

Время разгона двигателя до номинальной скорости:

$$t_p = t_1 = \frac{V_k - V_n}{a} = \frac{0,1}{0,04} = 2,5 \text{ с}$$

Путь проходимый при разгоне:

$$S_p = S_1 = \frac{V_k - V_n}{2} \cdot t_1 = \frac{0,1}{2} \cdot 2,5 = 0,125 \text{ м}$$

Суммарный момент инерции механизма

$$J_{\Sigma} = 1,2 J_{дв} + J_{мех} = 1,2 \cdot (3,33 + 2,3) = 6,3 \text{ кг*м}^2$$

Угловое ускорение двигателя

$$\varepsilon_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n \cdot a}{V \cdot 60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 983 \cdot 0,04}{0,1 \cdot 60} = 41,15 \text{ рад/с}^2$$

Динамический момент

$$M_{дин} = J_{\Sigma} \cdot \varepsilon_1 = 6,296 \cdot 41,15 = 259,08 \text{ Нм}$$

Суммарный момент, на участке разгона

$$M_1 = -M_{дин} - M_{ст} = -259,08 - 26,27 = -285,35 \text{ Нм}$$

Путь проходимый при работе с установившейся скоростью

$$S_{уст} = S_2 = S - S_1 - S_3 = 28 - 0,125 - 0,125 = 27,75 \text{ м}$$

Время работы на участке с установившейся скоростью

$$t_{уст} = t_2 = \frac{S_{уст}}{V} = \frac{27,75}{0,1} = 277,5 \text{ с}$$

						140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			21

На участке с постоянной скоростью, момент равен моменту статическому

$$M_2 = M_{ICT} = 26 \text{ Н*м.}$$

Время остановки:

$$t_f = t_3 = \frac{V}{a} = \frac{0,1}{0,04} = 2,5 \text{ с}$$

Путь проходимый до полной остановки

$$S_f = S_3 = \frac{V_k - V_H}{2} \cdot t_3 = \frac{0,1}{2} \times 2,5 = 0,125 \text{ м}$$

Момент на участке торможения, M_3 :

$$M_3 = M_{дин} - M_{ICT} = 259,08 - 26,27 = 232,81 \text{ Нм,}$$

Рассмотрим участок нашей тахограммы, на котором происходит подъем крюка с грузом.

Время разгона двигателя до номинальной скорости

$$t_4 = t_p = 3 \text{ с}$$

Путь при разгоне

$$S_4 = S_p = 0,130 \text{ м}$$

Момент на участке разгона, (движение вверх) M_4 :

$$M_4 = M_{ст.пр} + M_{дин} = 986 + 269,1 = 1255,1 \text{ Нм}$$

Путь проходимый при работе с постоянной скоростью

$$S_5 = S_{ICT} = 28 \text{ м}$$

Время работы на участке с постоянной скоростью

$$t_5 = t_{ICT} = 279 \text{ с}$$

Момент на участке с постоянной скоростью

$$M_5 = M_{ст.пр} = 996 \text{ Нм}$$

Время до полной остановки:

$$t_6 = t_f = 2,7 \text{ с}$$

Путь при торможении

$$S_6 = S_f = 0,13 \text{ м}$$

Момент на участке торможения M_6 :

$$M_6 = M_{ст.пр} - M_{дин} = 986 - 269,1 = 716,9 \text{ Нм}$$

Рассмотрим участок, на котором происходит опускание крюка с грузом.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Время разгона двигателя до номинальной скорости

$$t_7 = t_p = 2,8 \text{ с}$$

Путь при разгоне

$$S_7 = S_p = 0,13 \text{ м}$$

Момент на участке разгона M_7 (движение вниз):

$$M_7 = M_{\text{с.п.р.}} - M_{\text{дин}} = 886,4 - 269,1 = 638 \text{ Нм}$$

Путь при работе с установившейся скоростью

$$S_8 = S_{\text{уст}} = 28 \text{ м}$$

Время работы на участке с постоянной скоростью

$$t_8 = t_{\text{уст}} = 279 \text{ с}$$

Момент на участке с постоянной скоростью

$$M_8 = M_{\text{с.п.р.}} = 897 \text{ Нм}$$

Время до полной остановки:

$$t_9 - t_7 = 3 \text{ с}$$

Путь при торможении

$$S_9 - S_7 = 0,13 \text{ м}$$

Момент на участке торможения M_9 :

$$M_9 = M_{\text{с.п.р.}} + M_{\text{дин}} = 896,4 + 259,08 = 1155,48 \text{ Нм}$$

Рассмотрим участок тахограммы при подъеме крюка без груза.

Статический момент электродвигателя при подъеме крюка без груза:

$$M_{\text{ст}} = \frac{G_N \cdot D_6 \cdot g}{i \cdot 2 \cdot y \cdot m \cdot \eta} = \frac{3030 \cdot 9,81 \cdot 1,228}{125 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,9} = 32,44 \text{ Нм}$$

Время разгона до номинальной скорости

$$t_{10} = t_p = 2,7 \text{ с}$$

Путь при разгоне

$$S_{10} = S_p = 0,13 \text{ м}$$

Момент на участке разгона M_{10} (движение вверх):

$$M_{10} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}} = 32,44 + 269,1 = 292 \text{ Нм}$$

Путь при работе с установившейся скоростью

$$S_{11} = S_{\text{уст}} = 27,9 \text{ м}$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Время работы на участке с постоянной скоростью

$$t_{11}=t_{УСТ}=279\text{с}$$

Момент на участке с постоянной скоростью

$$M_{11}=M_{2СТ}=34\text{Нм}$$

Время до полной остановки:

$$t_{12}=t_T=2,8\text{с}$$

Путь при торможении

$$S_{12}=S_T=0,13\text{м}$$

Момент на участке торможения M_{12} :

$$M_{12}=M_{2СТ}-M_{ДИН}=32,44-269,08=-235\text{ Нм}$$

Полное время спуска/подъема

$$t_{РАБ}=t_P+t_{УСТ}+t_T=2,5+277,5+2,5=282,5\text{с}$$

Время паузы между подъёмом и спуском

$$t_{П}=423\text{с}$$

$$T_q=(t_{ПАУЗЫ}+t_{РАБ})\cdot 4=(423+282,5)\cdot 4=2822\text{с}$$

2.6 Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузке

Эквивалентный момент при естественном воздушном охлаждении двигателя

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \times t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \times t_i}} \text{ Нм}$$

Где β_i - коэффициент ухудшения теплоотдачи

Двигатель имеет принудительную вентиляцию, поэтому $\beta_i = 1$.

Тогда:

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_P + M_2^2 t_{УСТ} + M_3^2 t_T + M_4^2 t_P + M_5^2 t_{УСТ} + M_6^2 t_T + M_7^2 t_P + M_8^2 t_{УСТ} + M_9^2 t_T + M_{10}^2 t_P + M_{11}^2 t_{УСТ} + M_{12}^2 t_T}{4 \cdot (t_P + t_T + t_{ПАУЗЫ} + t_{УСТ})}} \text{ Нм}$$

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{((-285,35)^2 \cdot 2,5 + 26,27^2 \cdot 277,5 + 226,64^2 \cdot 2,5 + 1255,08^2 \cdot 2,5 + 996^2 \cdot 277,5 + 736,29^2 \cdot 2,5 + 637,32^2 \cdot 2,5 + 896,4^2 \cdot 277,5 + 1155,48^2 \cdot 2,5 + 291,52^2 \cdot 2,5 + 32,44^2 \cdot 277,5 + 226,64^2 \cdot 2,5)}{4 \cdot (2,5 + 2,5 + 423 + 277,5)}} = 424,72\text{Нм}$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

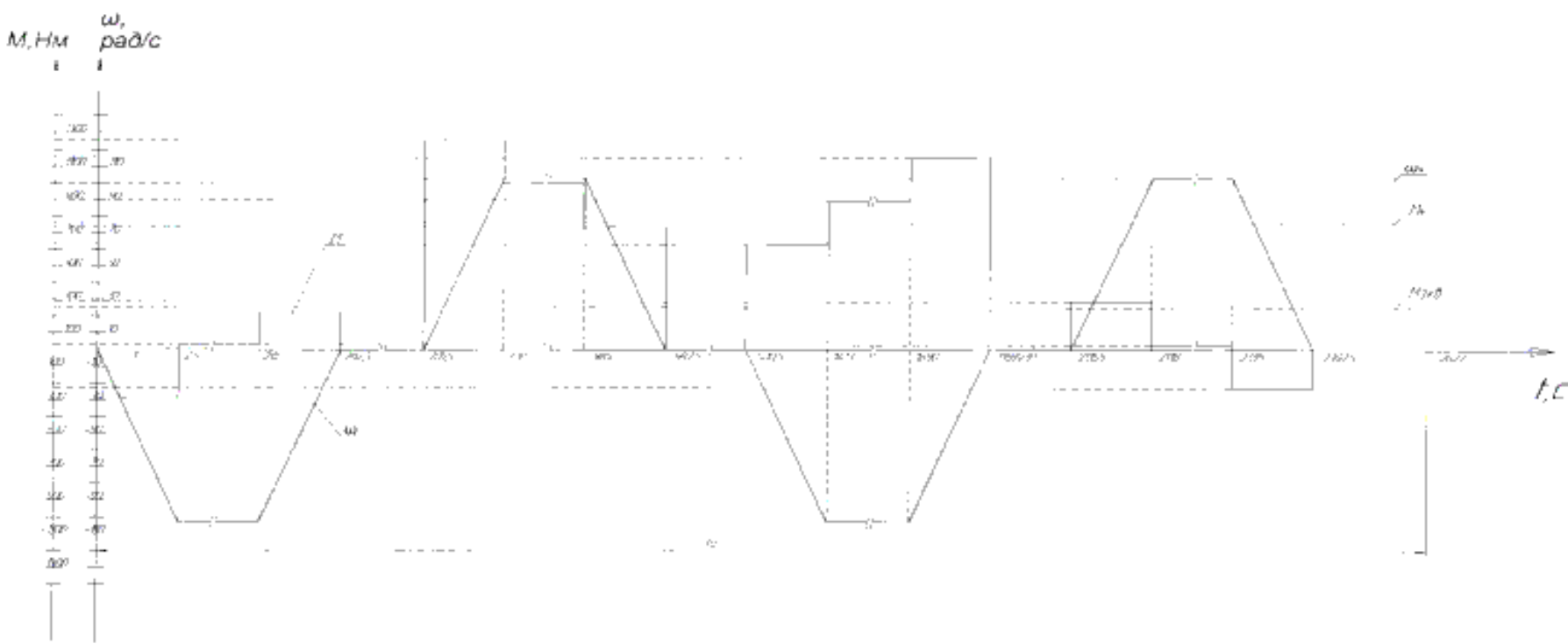


Рис. 2.1 - Тахограмма и нагрузочная диаграмма двигателя

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Так как двигатель предназначен для работы в режиме S1, а фактическая продолжительность включения равна:

$$PB_{\phi} = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100\% = \frac{1130}{2822} \cdot 100\% = 41\%$$

То произведем соответствующий пересчет эквивалентного момента, определив для данного двигателя:

$$M_{\text{экв}} = M_{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{PB_{\phi}}{PB_d}} = 424,72 \cdot \sqrt{\frac{41}{100}} = 272 \text{ Нм}$$

Условие проверки двигателя по нагреву:

$$M_{\text{экв}} < M_N$$

$$M_N = 731 \text{ Нм}$$

Следовательно

$$272 < 731$$

Двигатель удовлетворяет условиям проверки по нагреву

Условие проверки по перегрузке:

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{макс(по НД)}} < M_{\text{макс, доп}}$$

$$M_{\text{макс, доп}} = 1340 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{макс(по НД)}} = 1255,08 \text{ Нм}$$

Следовательно

$$1255,08 < 1340$$

Условие выполняется, двигатель K21F315S6 проверку по перегрузке проходит.

2.7 Выбор преобразователя частоты

2.7.1 Краткое описание современных преобразователей частоты

В наше время частотные преобразователи являются стандартным промышленным оборудованием. Они используются везде, где в электроприводах должны быть определенные характеристики:

- регулирование скоростного режима под темп производства,
- дистанционное управление направлением вращения и скоростью,
- высокая точность позиционирования, чем это выполнимо для двигателей с переключением числа пар полюсов,

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

- г) повышенная частота пусков, чем при работе от сети,
- д) ограничение, с помощью электропривода, нагрузки.

Следующее относится к преобразователю частоты с промежуточным звеном постоянного напряжения (импульсные инверторы или инверторы напряжения). Данная группа преобразователей представляется наиболее значительной и преобладает в диапазоне мощности от полу до нескольких сотен киловатт. Инверторы постоянного тока с промежуточным звеном являются экономичными только при мощностях выше 20 кВт и они предназначены как правило для автономных электроприводов. В следствие этого инверторы напряжения с ШИМ являются основными в нижнем диапазоне мощностей.

Главным преимуществом двухзвенных преобразователей частот с промежуточным звеном постоянного тока являются:

возможность, на выходе преобразователя, получения широкого диапазона частот, вне зависимости от частоты запитывающей сети, и полного покрытия потребности приводов различного назначения: высокоскоростных, среднескоростных и малоскоростных, прецизионных электроприводов с широким и сверхшироким диапазоном изменения скорости и др.;

возможность использования простых силовых схем и систем в управлении ПЧ для электроприводов с низкими требованиями в диапазоне быстродействия, регулирования и других показателей;

возможность увеличения сложности силовой части и системы управления преобразователя соответственно уровня требований к электроприводу, не допуская излишней избыточности системы;

возможность исполнения в относительно малоэлементной структуре преобразователя различных алгоритмов управления, соответствующих требованиям к электроприводам разного назначения;

легкость присоединения преобразователя как для работы с питанием электрооборудования от автономных источников, так и для локальной сети постоянного тока.

Одним из основных параметров ПЧ это частота модуляции выходного напряжения - АИН. Оптимальность данного параметра по сути вариационная задача, внутреннее содержание которой определяется следующими противоречивыми факторами:

Увеличение частоты ШИМ дает ряд положительных эффектов:

- Повышение динамической точности воспроизведения широтно-импульсными модуляторами входными задающими воздействиями;
- Расширение рабочего диапазона частот структуры преобразователь - двигатель;
- Уменьшение амплитуды модуляционных пульсаций токов, потокоцеплений и электромагнитного момента двигателя, а также составляющие модуляционных потерь в цепи питания и двигателе;
- Уменьшение дополнительного шума двигателя, что иногда позволяет отказаться от установки выходных фильтров;
- Создание условий для улучшения быстродействия и повышения других показателей качества замкнутых систем автоматического

				140400.2016.136.00.00.ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					27	

регулирования.

Вместе с тем увеличение частоты ШИМ создает и ряд негативных эффектов:

- Из-за увеличения частоты коммутации, прямо пропорционально повышаются коммутационные потери в инверторе, и снижается его полезная мощность;
- Увеличиваются, в кабелях питания и элементах конструкции двигателя, действующие значения емкостных токов;
- Ухудшается использование активных элементов преобразователя по напряжению и усложняется проблема ограничения перенапряжений от блуждающих электромагнитных волн в цепи нагрузки.

По параметрам выбранного двигателя выбираем преобразователь

Частотный преобразователь модели EI-9011 предназначен для регулирования скорости вращения стандартных асинхронных электродвигателей с управлением вектором потока как с обратной связью от датчика вращения, так и без нее. Позволяет также осуществлять управление скалярным способом U/f (напряжение/частота).

Векторный частотный преобразователь максимально реализует возможности электродвигателя, обеспечивая мягкое вращение с повышенной гибкостью управления. Данная серия EI-9011 рекомендуются для управления приводами, где требуется высокая точность регулирования скорости до 0,02% и широкий диапазон управления до 1:1000. EI-9011 обеспечивает достижение максимального момента на валу двигателя и возможность прямого управления этим моментом, учитывают дополнительно, кроме амплитудно-частотных характеристик, фазовые соотношения полей статора и ротора.

Частотный преобразователь EI-9011 - полномасштабный векторный преобразователь. Напрямую управляет моментом электродвигателя. Мягкий старт любых машин и высокая точность, начиная с малой частоты в диапазоне 1:100.

Основная область применения EI-9011 - системы с динамичным и контролируемым изменением скорости перемещения, сервоприводы, лифтовое и другое подъемно-транспортное оборудование с большими перегрузками при пуске и остановке.

Преобразователь EI-9011 - это оптимальный привод для всех применений. Технические характеристики EI-9011-150H:

- Максимальная выходная мощность (мощность применяемого электродвигателя), кВт: 110
- Полная мощность преобразователя, кВА: 150
- Номинальный выходной ток, А: 224
- Максимальное выходное напряжение: трехфазное 380/400/415/440/460 В (пропорционально входному напряжению)
- Номинальная выходная частота: вплоть до 400 Гц (достигается посредством программирования)
- Номинальное входное напряжение и частота: трехфазное 380/400/440/460 В 50/60 Гц
- Допустимые отклонения напряжения: + 10 %, - 15 %

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

- Допустимые отклонения частоты: $\pm 5\%$
- Метод управления: синусоидальная широтно-импульсная модуляция
- Стартовый крутящий момент: 150 % при 1Гц (150 % при 0 об/мин с импульсным датчиком вращения)
- Диапазон управления скоростью: 1:100 (1:1000 с использованием импульсного датчика вращения)
- Точность управления скоростью: $\pm 0,2\%$ ($\pm 0,02\%$ с использованием импульсного датчика вращения)
- Полоса пропускания ПИД-регулятора по скорости: 5 Гц (30 Гц с использованием импульсного датчика вращения)
- Ограничение крутящего момента: определяется уставками (по одному параметру для каждого из четырех квадрантов)
- Точность по моменту: $\pm 5\%$
- Полоса пропускания ПИД-регулятора по моменту: 20 Гц (40 Гц с использованием импульсного датчика вращения)
- Диапазон управления частотой: от 0,1 до 400 Гц
- Точность частотных режимов: цифровая команда: $\pm 0,01\%$ (от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$); аналоговая команда: $\pm 0,1\%$ ($25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)
- Разрешение по частоте: опорный цифровой сигнал: $\pm 0,01$ Гц; опорный аналоговый сигнал: $\pm 0,03$ Гц / 60 Гц (11 бит + код)
- Запас по перегрузке: 150 % от номинального выходного тока 1 минуту
- Сигнал задания частоты: от -10 до 10 В, от 0 до 10 В, от 4 до 20 мА
- Время разгона/торможения: от 0,01 до 6000 с (времена разгона/торможения имеют независимые уставки, возможны 4 ступени)
- Тормозящий крутящий момент: порядка 20 % (с внешним тормозным резистором - 100 %); внешний тормозной прерыватель (18,5...500 кВт)
- Защита электродвигателя от перегрузки: защищен с помощью электронного термического реле перегрузки
- Мгновенная перегрузка по току: силовое выходное переменное напряжение мгновенно отключается примерно при 200% от номинального тока преобразователя
- Защита плавким предохранителем: при перегорании предохранителя силовое выходное переменное напряжение отключается
- Перегрузка: силовое выходное переменное напряжение отключается через минуту работы при 150% от номинального тока преобразователя
- Перенапряжение: силовое выходное переменное напряжение отключается, если напряжение на шине постоянного тока превышает 820 В
- Недостаточное напряжение: силовое выходное переменное напряжение отключается, если напряжение на шине постоянного тока менее 380 В
- Кратковременное отключение напряжения питания: немедленное отключение выходного силового напряжения при кратковременном прекращении подачи питания более 15 мс; немедленное отключение выходного силового напряжения при пропадании напряжения питания (от 93 до 500 кВт)
- Перегрев радиатора-теплоотвода: защищен термистором

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		29

- Предотвращение срыва: предотвращение срыва во время разгона/торможения и вращения с постоянной скоростью
- Защита от токов утечек: защищен электронной цепью (нарушение баланса выходных токов)
- Световой индикатор «Заряд»: световой индикатор «Заряд» горит, пока напряжение шины не упадет ниже 50 В
- Температура окружающей среды: - 10°... + 40°С (в пластмассовом корпусе) и - 10°...+ 45°С (в металлическом корпусе)
- Влажность: относительная влажность не более 90%
- Температура хранения: от - 20°С до + 60°С
- Размещение: внутри помещения, защищенного от коррозионных газов и пыли
- Высотность: не более 1000 м
- Вибрация: от 9,81 м/с² (1g) при менее, чем 20 Гц ; до 1,96 м/с² (0,2g) от 20 до 50 Гц
- Размеры: 586 x 810 x 332мм; вес: 76 кг

Проверим преобразователь по перегрузочной способности.

По нагрузочной диаграмме максимальный момент:

$$M_{\max}=1254\text{нМ}$$

При этом моменте ток двигателя будет составлять:

$$I_{\text{max.об.}} = \frac{M_{\max}}{M_N} = \frac{1255}{731} \cdot 133 = 228\text{А}$$

$$I_{\text{доп. max}} = \lambda \cdot I_{\text{преобр}} = 1,6 \cdot 224 = 358\text{А},$$

где $\lambda = 1,6$ - Перегрузочная способность преобразователя в течение 3с.

Условие проверки преобразователя по току:

$$I_{\text{доп. max}} > I_{\text{max об.}}$$

Следовательно

$$358 > 228$$

Условия удовлетворяют выбранному преобразователю.

2.7.2 Характеристики преобразователей частоты

Силовой блок ПЧ разделен на три части:

а) выпрямитель (неуправляемый), дополненный цепью защиты от перенапряжения и, цепью, ограничивающей резкие броски напряжения,

б) цепь со звеном постоянного тока (содержащая конденсатор как правило с очень большой емкостью, поэтому может быть заменена батареей электролитических конденсаторов).

в) транзисторный трехфазный инвертор.

						140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			30

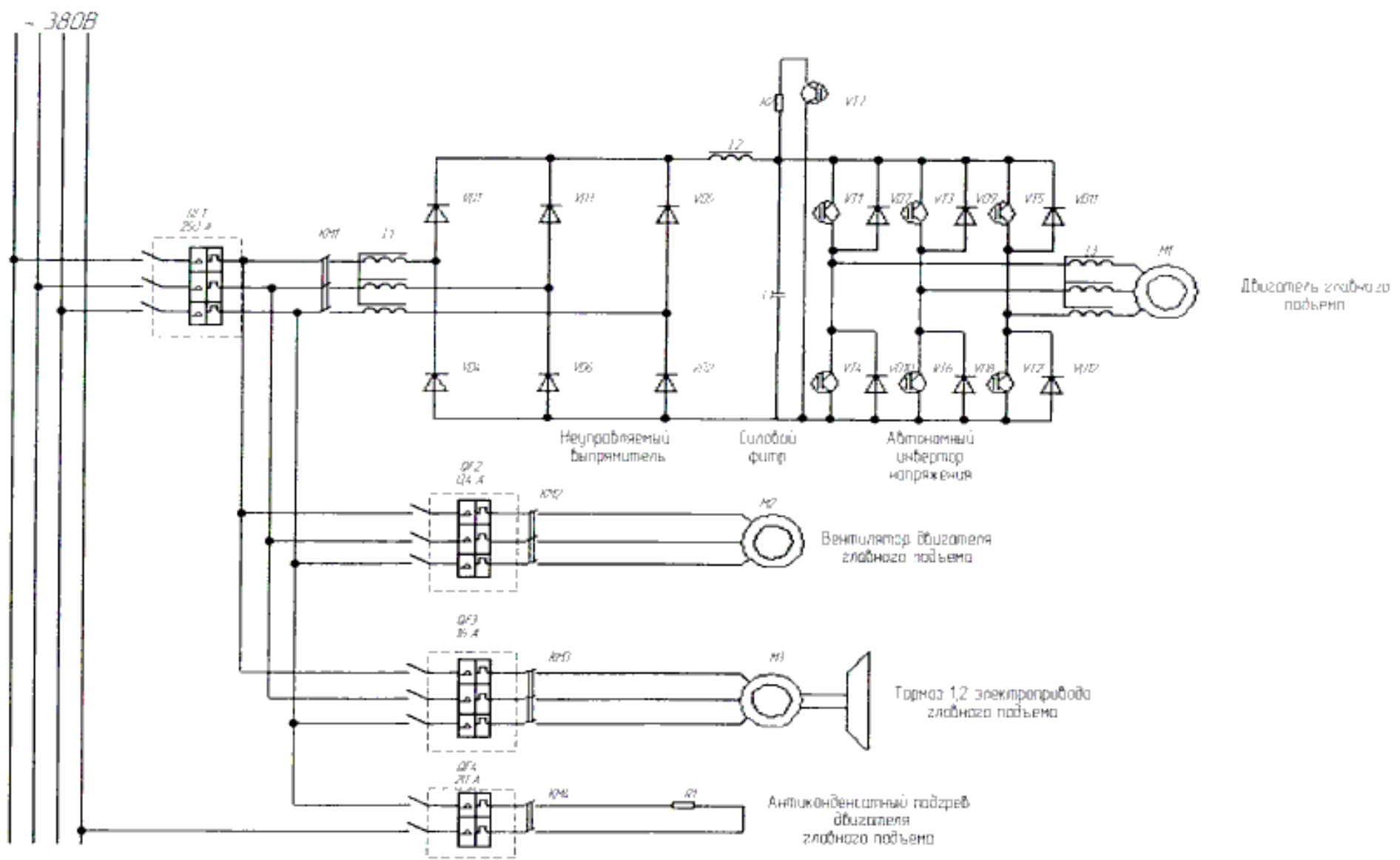


Рис. 2.2 – Силовые цепи электродвигателя

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОМУ РАЗДЕЛУ

Во втором разделе были представлены общие сведения о применении различных электроприводов, требования предъявляемые к ним и исходные данные для проектирования. Также был произведен выбор электродвигателя, проведена проверка по нагреву и перегрузке. Произведен выбор преобразователя частоты, и представлены его основные характеристики.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

3.1 Построение системы автоматического управления с ориентацией поля ротора в системе координат с управляемым скольжением

Существует два принципа построения системы автоматического регулирования АД с векторным управлением:

- Принцип ориентации поля в системе координат с управляемой скоростью вращения. Здесь ориентирующим элементом является регулятор момента, тогда вращающееся магнитное поле образуется путем фиксации вектора потокосцепления ротора в системе координат и приданием этой системе необходимой скорости вращения. Регулятор момента строится в виде обращенной модели звена электромагнитного момента.

- Принцип ориентации системы координат по полю. В этом варианте ориентирующим является сам объект регулирования, и при этом из асинхронного двигателя получают информацию о состоянии вектора потокосцепления взаимоиндукции и затем получают вектор потокосцепления ротора. Необходимость в датчиках потокосцепления в пазу асинхронного двигателя является существенным недостатком данного варианта.

Функциональная схема системы управления реализующая принцип управления приведена на рис.3.1.

Описание схемы (рис. 3.1):

Силовая часть:

ПЧ - преобразователь частоты;

АД - асинхронный двигатель;

Информационная часть:

ДТ - датчик фазных токов;

ДС - датчик скорости (реально не существует);

БК - блок компенсации внутренних перекрестных связей объекта;

ПКН - преобразователь координат напряжения (осуществляет прямое преобразование с помощью матрицы A_s ; при моделировании преобразование координат не используется);

ПКТ - преобразователь координат тока (осуществляет обратное преобразование с помощью матрицы A_s^{-1} ; при моделировании преобразование координат не используется);

БУКП - блок управления координатными преобразователями;

Регулирующая часть:

РС - регулятор скорости;

ЗО-звено ограничения;

РМ - регулятор момента;

РТС - регулятор токов статора;

РП - регулятор потокосцепления;

ЗИ - задатчик интенсивности;

									Лист
									33
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

Изм.				
Лист				
№ докум.				
Подпись				
Дата				

140400.2016.136.00.00.ПЗ

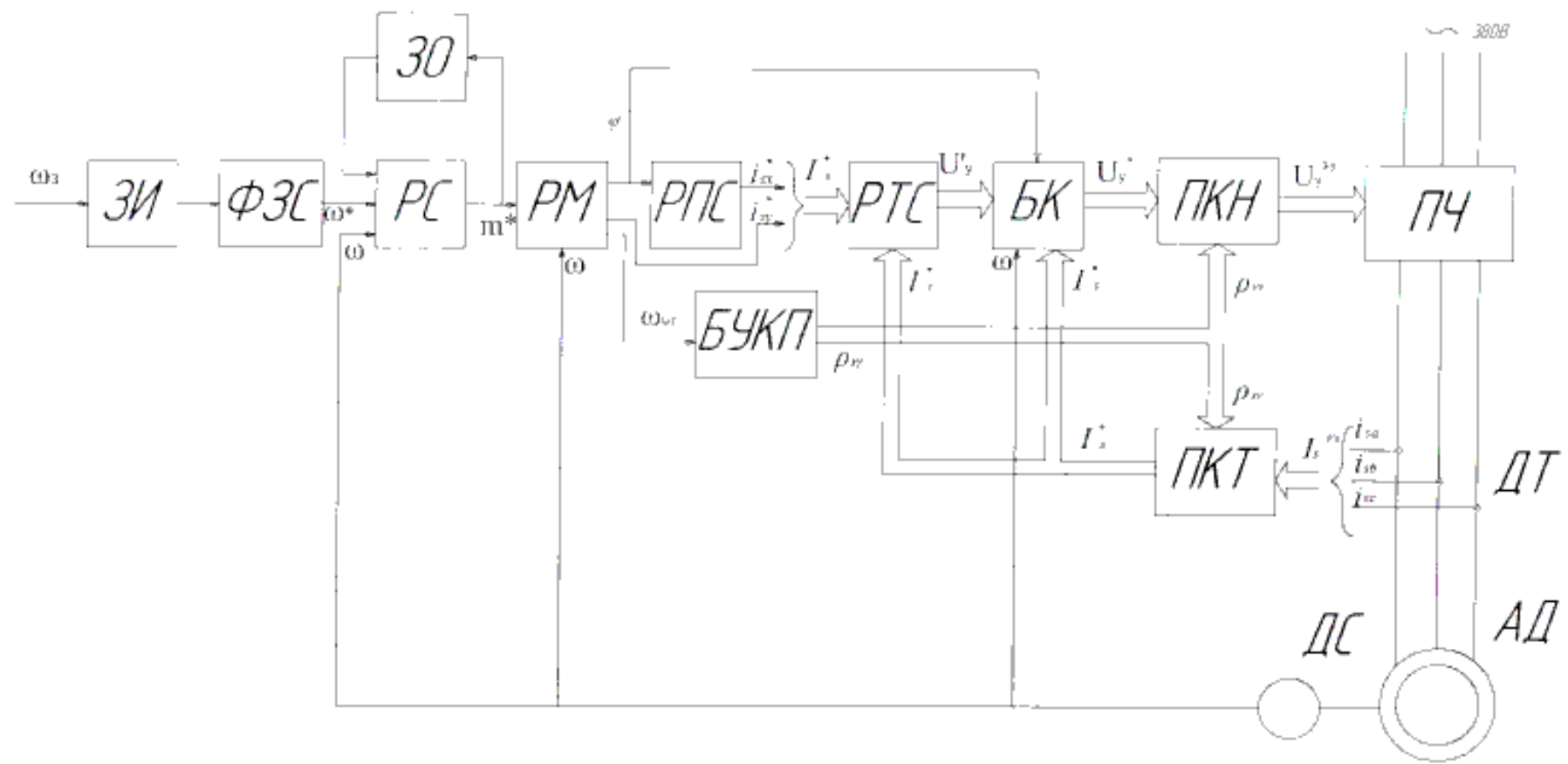


Рис.3.1 - Функциональная схема САУ с ориентацией поля в системе с управляемым скольжением

Характеристика системы регулирования:

1. Схема имеет замкнутую систему регулирования токов статора - замкнутая с регулированием по отклонению (регулирование ведется в системе координат сориентированной по вектору потокосцепления ротора, т.е. регулирует постоянные сигналы);
2. Система регулирования модуля вектора потокосцепления ротора с регулятором потокосцепления - разомкнутая система регулирования.
3. Система регулирования электромагнитного момента с регулятором момента - разомкнутая с регулированием по возмущению (угловая скорость вращения ротора);
4. Система регулирования скорости - замкнутая с регулированием по отклонению (в реальной системе скорость двигателя вычисляется на основании модели двигателя);

3.2 Синтез регуляторов

Система регулирования строится на принципах подчиненного регулирования, в основу которых заложены следующие основные положения:

- Объект регулирования представляется в виде последовательно соединенных звеньев.
- Разбиение объекта на звенья производится из такого расчета, чтобы на выходе каждого звена была физическая величина, которая представляет интерес с точки зрения регулирования и контроля.
- На выходе регулирующей части устанавливается фильтр с передаточной функцией:

$$\Phi_0(p) = \frac{1}{T_\mu p + 1},$$

где T_μ - некомпенсированная постоянная времени.

Для каждой регулируемой координаты строится замкнутая система регулирования с индивидуальным регулятором, на который возложено две основные функции: компенсировать звено объекта регулирования попавшего в контур и обеспечение астатизма контура (как минимум первого порядка) по управляющему воздействию. Система при этом настраивается на модульный оптимум. Физическим смыслом настройки на модульный оптимум является то, что в полосе пропускания каждого контура коэффициент усиления равен 1 и поэтому пренебрегаем изменением сигнала при прохождении через систему. При настройке на модульный оптимум используется интегральный критерий качества минимизирующий ошибку и ее производную.

3.2.1 Синтез регуляторов преобразованных токов статора

Поскольку для обеих проекций тока статора звено объекта попавшего в контур одиночного то рассмотрим синтез регулятора для одной из проекций.

Расчетная схема для синтеза двухмерного регулятора тока статора приведена на рис.3.3.2.1.1

										Лист
										35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ					

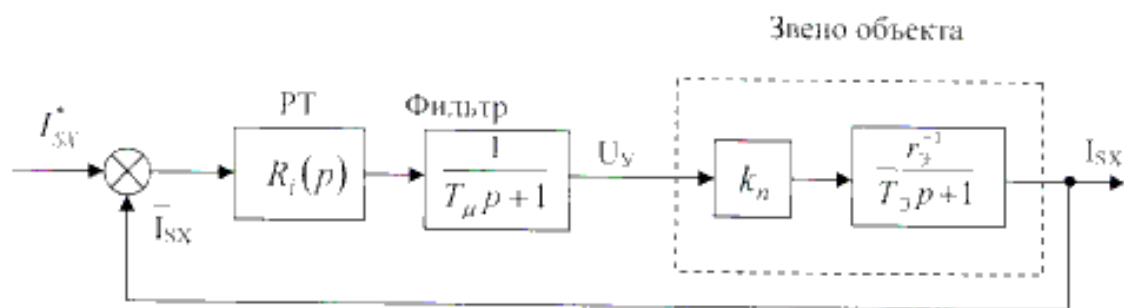


Рис.3.2 - Расчётная схема САР тока

Передаточная функция имеет вид:

$$\Phi_0(p) = \frac{1}{T_\mu p + 1}$$

Некомпенсированную постоянную времени принимаем равной $T_\mu = 0.005$ с, поскольку при использовании частотно-регулируемого электропривода эта величина может быть выбрана намного меньше, чем в аналогичном приводе постоянного тока. Ввиду того, что в электроприводе переменного тока практически не существует ограничения на частоту входных воздействий из-за высокой частоты коммутации.

Звено объекта попавшего в контур имеет вид:

$$W_i(p) = \frac{k_n / r_2}{T_3 p + 1}$$

Расчет коэффициентов регулятора приведен выше.

Передаточная функция регулятора имеет следующий вид:

$$R_i(p) = W_i^{-1}(p) \frac{1}{T_i p} = \frac{T_3 + 1}{\frac{k_p}{r_3} T_i p} = \frac{T_3 + r_2}{k_p T_i} + \frac{1}{\frac{k_p}{r_3} T_i p} \text{ - «ПИ» регулятор,}$$

где $T_i = 2 \cdot T_\mu$ - постоянная времени регулятора тока статора исходя из настройки на модульный оптимум.

Замкнутая типовая передаточная функция контура тока имеет вид:

$$G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

3.2.2 Синтез регулятора потокосцепления ротора

В данном проекте используется управление при постоянстве потокосцепления ротора $\Psi_r = \text{const}$, без учёта изменения индуктивности $I_m^* = I_m$, поэтому допускается использование схемы без регулятора потокосцепления, а подать на вход САР тока сигнал i_{sv}^* .

Величина задания на ток по координате X

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

$$i_{SX}^* = \frac{I_{SX,ном}}{I_{S6}}$$

Величина задания потокосцепления

$$\Psi_r^* = i_{SX}^* l_m$$

Схема регулятора



Рис. 3.3 - Структурная схема для синтеза регулятора потокосцепления ротора

3.2.3 Синтез регулятора электромагнитного момента

Регулятор представлен в виде обратного звена момента

$m = k_r \Psi_r i_{sy}$ – звено момента (ЗМ)

$i_{sy} = (k_r \Psi_r)^{-1} m^*$ – регулятор момента (РМ)

Регулятор момента формирует частоту скольжения координат. Нужно ввести в регулятор момента вычислитель абсолютного скольжения $\beta_{\Psi r}$

$$\beta_{\Psi r} = r_r k_r^* \Psi_r^* i_{sy}^*$$

$$\omega_{\Psi r} = \omega + \beta_{\Psi r}$$

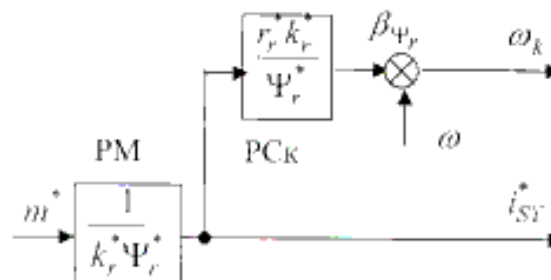


Рис.3.4 - Структурная схема регулятора электромагнитного момента

При этом передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$\Phi_m(p) = G_1(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

Т.е. контур момента имеет высокое быстродействие, но на динамику оказывает влияние изменение потокосцепления ротора.

3.2.4 Синтез регулятора угловой скорости

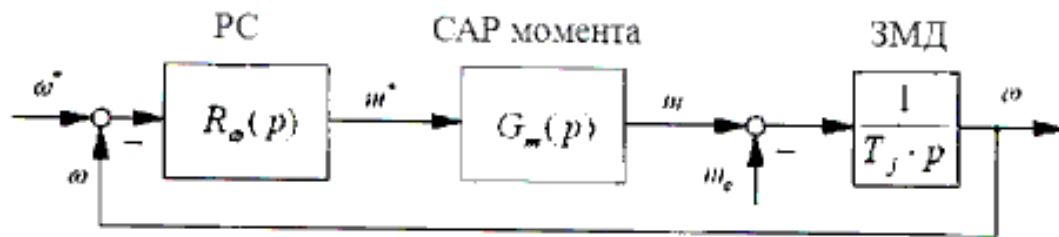


Рис. 3.5 - Структурная схема для синтеза регулятора скорости

С точки зрения требований к электроприводу допускается относительное падение скорости 5% следовательно, возможно использование «П» - регулятора скорости. При синтезе пренебрегаем статическим моментом нагрузки.

Однако в преобразователе частоты используется «ПИ» - регулятор скорости, а установка интегрального коэффициента регулятора скорости невозможна. Ввиду этого будем синтезировать «ПИ» - регулятор скорости; при синтезе, которого на входе системы появляется входной фильтр со следующей передаточной функцией:

$$\Phi(p) = \frac{1}{T'_\omega p + 1}$$

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

$$R_\omega(p) = \frac{T'_\omega p + 1}{T'_\omega p} \cdot \frac{T_j}{T_\omega}$$

Где постоянные времени определяются как:

$$T'_\omega = 2 \cdot T_\omega = 4 \cdot T_j = 8 \cdot T_\mu$$

для настройки на модульный оптимум.

Типовая передаточная функция разомкнутой системы регулирования скорости настроена на симметричный оптимум и имеет вид:

$$\Phi_\omega(p) = \frac{8 \cdot T_\mu + 1}{8 \cdot T_\mu} \cdot \frac{1}{4T_\mu p} \cdot \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию имеет вид:

$$G_{\text{мс}}^\omega(p) = \frac{32T_\mu^2 p}{T_j} \cdot \frac{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}{64T_\mu^4 p^4 + 64T_\mu^3 p^3 + 32T_\mu^2 p^2 + 8T_\mu p + 1}$$

Типовой переходный процесс по управляющему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время достижения максимума $t_M = 18T_\mu$;
- Время переходного процесса (время вхождения в 1% зону) $t_{0.01} = 22,5T_\mu$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- Перерегулирование по скорости $\sigma=6.2\%$;
- Типовой переходный процесс по возмущающему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время восстановления $t_{вос}=3.86T_{ов}$;
- Перерегулирование по моменту $\sigma=54\%$;

Механические характеристики системы являются абсолютно жесткими ввиду того, что значение передаточной функции по возмущающему воздействию в установившемся режиме:

$$G_{Mc}^*(0) = 0;$$

Т.е. система не будет иметь ошибки по возмущающему воздействию.

Найдем значение пропорционального и интегрального коэффициентов регулятора скорости для установки соответствующих параметров в преобразователе частоты.

Пропорциональный коэффициент регулятора скорости:

$$k_n = \frac{T_j}{T_\omega};$$

Интегральный коэффициент регулятора скорости в параметре под интегральным коэффициентом понимается постоянная времени:

$$T_{II} = \frac{T_\omega \cdot T_\omega'}{T_j};$$

Далее эти значения могут быть установлены в параметры преобразователя. Структурная схема САУ представлена на рис.3.6

3.3 Моделирование процессов в частотно-регулируемом электроприводе

3.3.1 Постановка задачи

Целью является построение следующих математических моделей:

Модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода для уточнения оценки динамических характеристик привода. При этом модель приближенно должна повторять расчетные параметры тахограммы электропривода. Модель должна включать следующие основные элементы:

Модель векторной системы управления электроприводом

Модель асинхронного двигателя K21F 315S6

3.3.2 Краткое описание приложения Simulink пакета MATLAB

Можно по разному реализовать моделирование динамических процессов, в математическом описании которых присутствуют дифференциальные уравнения, например, с помощью обычных языков программирования (Си, Паскаль, и т.д.) написать программу, в которой будет заложен определенный способ интегрирования (Рунге-Кутта, Эйлера, Адамса и т.д.), но при большом количестве уравнений и переменных, входящих в модель, эта задача представляет определенные трудности.

				140400.2016.136.00.00.ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					39	

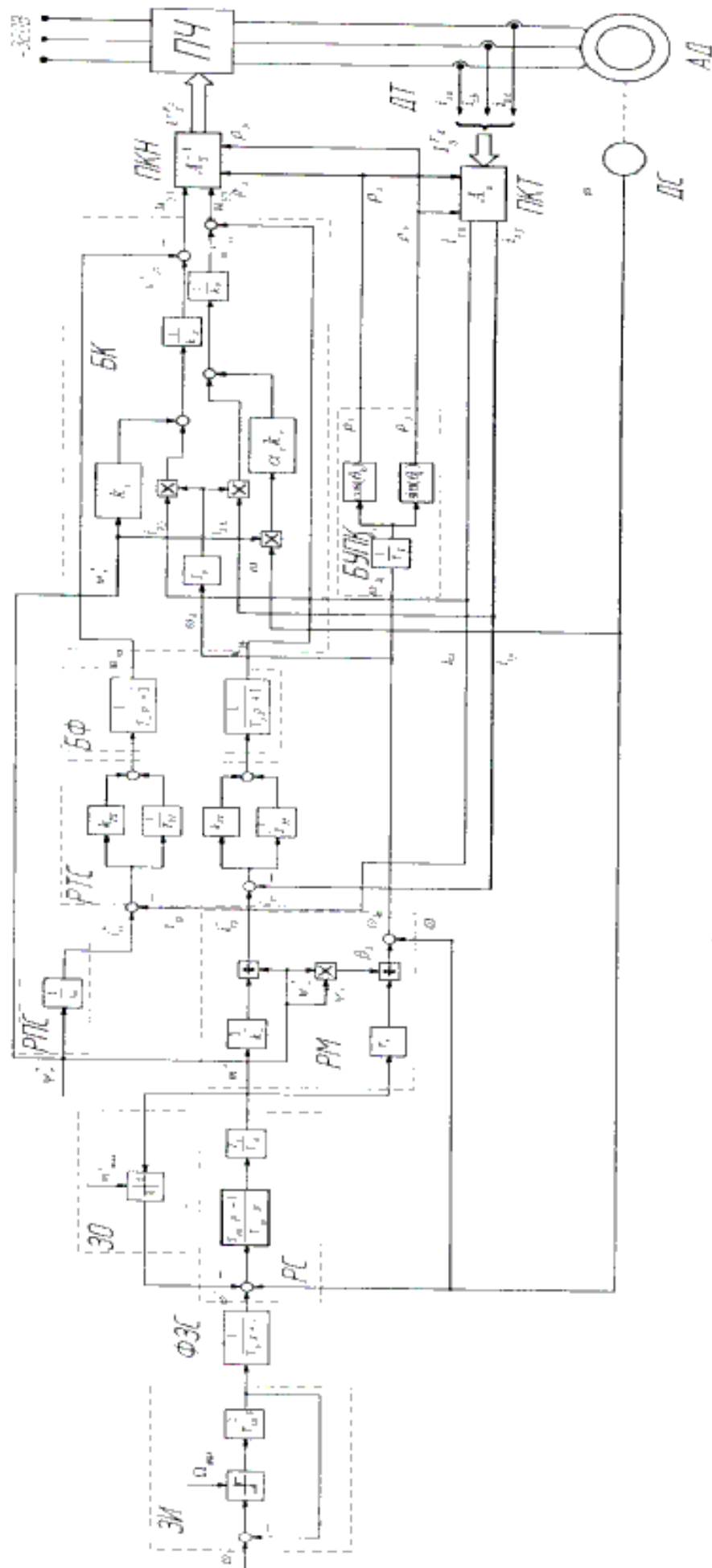


Рис. 3.6 - Структурная схема САУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Лист

40

Для моделирования динамических процессов лучше всего подходит язык технических вычислений MATLAB и его приложение Simulink. В Simulink заложены алгоритмы интегрирования, т.е. разработчику не нужно создавать программу для решения дифференциальных уравнений. Simulink позволяет представить модель в виде отдельных блоков, что облегчает осуществление контроля за переменными и программированием модели. Simulink является объектно-ориентированным языком, т.е. позволяет без труда использовать созданную модель в составе других моделей. Начиная с шестой версии, MATLAB позволяет создавать удобный графический интерфейс для программного обеспечения, а также без потери скорости, по сравнению с другими языками программирования, производить моделирование процессов.

Благодаря обширному набору оптимизированных математических алгоритмов, встроенных в MATLAB, разработчик может сконцентрироваться на принципиальных аспектах, а не терять время на поиск, разработку и отладку известных алгоритмов.

Исходя из вышеперечисленного MATLAB и его приложение Simulink являются наиболее целесообразным выбором для реализации поставленной задачи.

Simulink

Пакет Simulink является ядром интерактивного комплекса программ для математического моделирования устройств, представленных своей функциональной блок-схемой, именуемой S-моделью, или просто моделью и линейных и нелинейных динамических систем. При этом доступны различные варианты моделирования: во временной области, в частотной области, с событийным управлением, на основе спектральных преобразований Фурье, с использованием метода Монте-Карло (реакция на воздействие случайного характера) и т.д.

Simulink имеет обширную библиотеку блочных компонентов и удобный редактор блок-схем для построения функциональной блок-схемы моделируемых устройств. Пакет основан на графическом пользовательском интерфейсе и является типичным инструментом визуально-ориентированного программирования. Используя наборы компонентов (палитры) пользователь с помощью манипулятора мышью создает блок-схему устройства или системы, используя блок из наборов, и соединяя их входы и выходы. Таким образом создавая модель.

Simulink автоматизирует последующий, наиболее сложный этап моделирования; он составляет и самостоятельно прорешивает сложные системы уравнений, что описывают данную модель, обеспечивая тем самым простой и наглядный визуальный контроль за поведением созданного пользователем виртуального устройства.

Средства визуализации результатов моделирования в пакете Simulink очень наглядна. Более того, Simulink способен практически мгновенно изменять описание модели по мере ввода ее корректировки, даже в случае, когда этот процесс сопровождается сменой систем уравнений и ведет к весьма качественному изменению поведения всей системы. Это является одним из

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Лист

41

основных свойств пакета Simulink.

Особенность пакета Simulink заключается и в обширной библиотеке компонентов (блоков), которые можно легко модифицировать. Она включает в себя источники сигналов с любыми временными зависимостями, интегрирующие и дифференцирующие блоки, масштабирующие, линейные и нелинейные преобразователи с разнообразными формами передаточных характеристик, квантующее устройство и т.д.

В библиотеке также имеется набор виртуальных регистрирующих устройств от измерителей типа вольтметра или амперметра до универсальных осциллографов, позволяющих просматривать временные зависимости разнообразных выходных параметров моделируемых систем. Однако для эффективного применения, необходимы высокоскоростные решающие устройства. Совместная интеграция одной из наиболее быстрых матричных математических систем - MATLAB 7,0 - с пакетом Simulink открывает обширные возможности использования самых современных математических методов для решения задач моделирования сложных систем и устройств.

Возможности Simulink охватывают задачи математического моделирования сложных динамических систем в физике, электро - и радиотехнике, в биологии и химии - словом во всех областях науки и техники. Средства графической анимации Simulink позволяют строить виртуальные физические лаборатории с наглядным представлением результатов моделирования. Этим объясняется популярность данного пакета как в научных лабораториях, так и в университетах и институтах.

И, наконец, ценностью пакета является возможность решать типовые задачи, пользуясь примерами пакета Simulink или же просто задавая новые выражения, описывающие работу моделируемых систем и устройств пользователя. Важным свойством пакета является и возможность задания системных функций (S-функций) с включением в состав библиотек Simulink. А также возможность моделирования в реальном времени.

Как средство программирования Simulink - представитель визуально-ориентированного языка программирования. На всех этапах работы пользователь практически не имеет дела с обычным программированием. Программа автоматически генерируется в процессе ввода выбранных блоков компонентов, их соединений и задания параметров компонентов.

Важное достоинство Simulink - это интеграция не только с системой MATLAB, но и с рядом других пакетов расширения, что обеспечивает по существу, неограниченные возможности применения Simulink для решения практически любых задач моделирования.

3.4 Моделирование частотно-регулируемого электропривода

3.4.1 Математическая модель объекта управления

В качестве базовой модели используется уравнения электромагнитных контуров и уравнения связи обобщенной электрической машины при следующих допущениях :

Магнитные силы создаваемые фазными токами синусоидально направлены

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

вдоль воздушного зазора (пренебрегаем высшими пространственными гармониками);

Не учитывается влияние пазов;

Не учитывается насыщение, и потери в стали;

Машина предполагается симметричная, т.е. фазные обмотки имеют одинаковое число витков;

Параметры ротора приведены к числу витков обмотки статора.

При этих допущениях уравнения обобщенной машины в декартовой вращающейся системе координат со скоростью ω_k имеют вид:

Уравнение статорных цепей:

$$U_{sx} = R_s \cdot i_{sx} + p \cdot \psi_{sx} - \omega_k \cdot \psi_{sy};$$

$$U_{sy} = R_s \cdot i_{sy} + p \cdot \psi_{sy} - \omega_k \cdot \psi_{sx};$$

Уравнения роторных цепей:

$$0 = p \cdot \psi_{rx} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry} + R_r \cdot i_{rx}$$

$$0 = p \cdot \psi_{ry} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx} + R_r \cdot i_{ry}$$

Уравнения связи:

$$\psi_{sx} = L_s \cdot i_{sx} + L_m \cdot i_{rx}$$

$$\psi_{sy} = L_s \cdot i_{sy} + L_m \cdot i_{ry}$$

$$\psi_{rx} = L_r \cdot i_{rx} + L_m \cdot i_{sx}$$

$$\psi_{ry} = L_r \cdot i_{ry} + L_m \cdot i_{sy}$$

Уравнение момента:

$$M = \frac{3}{2} p_{II} L_m (i_{ry} i_{rx} - i_{sx} i_{sy})$$

Уравнение движения одномассовой системы:

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

где:

U_{sx}, U_{sy} - проекции вектора напряжения статора во вращающейся системе координат.

ψ_{sx}, ψ_{sy} - проекции вектора потокосцепления статора во вращающейся системе координат.

ψ_{rx}, ψ_{ry} - проекции вектора потокосцепления ротора во вращающейся системе координат.

ψ_{mx}, ψ_{my} - проекции вектора взаимоподушки во вращающейся системе координат.

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

$i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ - проекции вектора тока статора во вращающейся системе координат.

$i_{r\alpha}, i_{r\beta}$ - проекции вектора тока ротора во вращающейся системе координат.

$L_{\sigma\sigma}, L_{\sigma r}$ - индуктивность рассеяния статорных и роторных цепей.

L_m - индуктивность взаимной индукции.

L_s, L_r - полная индуктивность статора и ротора.

R_s, R_r - активное сопротивление статора и ротора.

ω_s - скорость вращения координатных осей.

ω - скорость вращения ротора.

P_p - число пар полюсов.

M, M_c - момент двигателя и статический момент сопротивления механизма.

J_{Σ} - суммарный момент инерции механизма.

Система относительных единиц

Переход к системе относительных единиц дает следующие преимущества:

- Параметры машин переменного тока получаются одного порядка;
- Результаты аналитического исследования и имитационного моделирования имеют большую степень общности. Поскольку при изменении мощности электрических машин относительные значения их параметров (например, активных и индуктивных сопротивлений обмоток) и их относительные характеристики меняются в гораздо меньшей степени чем абсолютные значения параметров и характеристики;

- Исключаются некоторые коэффициенты из уравнений, что ведет к их упрощению;

- С точки зрения реализации удобно проектировать, анализировать и проводить наладку, используя относительные единицы;

В данном проекте используется система базисных величин с ориентацией на электромагнитную мощность машины, при этом время не масштабируется. В этом случае получаем, что базисный момент равен номинальному, а базисное напряжение является производной величиной.

Номинальная угловая частота напряжения статора двигателя

$$\Omega_{S,ном} = 2\pi \cdot f_{S,ном} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ } 1/c.$$

Номинальная угловая частота вращения ротора

$$\Omega_{m,н} = \omega_m = 102,88 \text{ } 1/c.$$

Номинальная угловая частота тока ротора (абсолютное скольжение)

$$\Delta\Omega_{m,н} = \Omega_{s,н} - p\Omega_{m,н} = 314 - 3 \cdot 102,88 = 5,36 \text{ } \frac{2\pi \cdot \text{рад}}{c}.$$

При описании базисных величин найдем численные значения для двигателя K21F 315S6 данные которого приведены в таблице 2.2.

Система относительных единиц имеет вид:

Основные базисные величины:

Базисная угловая частота:

$$\Omega_b = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ } 1/c.$$

										140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							44

Базисное значение момента:

$$M_B = M_N = 731 \text{ Нм.}$$

Базисное значение мощности равное значению электромагнитной мощности в зазоре:

$$P_B = \frac{M_B \cdot \Omega_B}{p_n} = \frac{731 \cdot 314}{3} = 76511 \text{ Вт.}$$

где p_n — число пар полюсов двигателя.

Базисная механическая частота вращения ротора:

$$\omega_B = \frac{\Omega_B}{p_n} = \frac{314}{3} = 104,6 \text{ рад / с.}$$

Базисные величины для цепей ротора и статора.

Базисное значение тока статора (ротора):

$$I_{SB} = I_{RB} = \sqrt{2} \cdot I_H = 133 \cdot \sqrt{2} = 188 \text{ А}$$

Величина тока статора по оси ОХ в номинальном режиме

$$I_{X \text{ ном}} = \frac{\sqrt{2} I_{SB}}{\sqrt{1 + (X_r + X_{r'})^2 \left(\frac{\Delta \Omega_{\text{ном}}}{R \Omega_{\text{ном}}} \right)^2}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 133}{\sqrt{1 + (3,5 + 0,12)^2 \left(\frac{5,36}{0,019 \cdot 314} \right)^2}} = 55,27 \text{ А.}$$

Величина тока статора по оси ОУ в номинальном режиме

$$I_{Y \text{ ном}} = \frac{X_r + X_{r'}}{R_r} \cdot \frac{\Delta \Omega_{\text{ном}}}{\Omega_{\text{ном}}} I_{X \text{ ном}} = \frac{(3,5 + 0,12) \cdot 5,36}{0,019 \cdot 314} \cdot 55,27 = 179,75 \text{ А.}$$

Базисное значение напряжения статора (ротора):

$$U_{SB} = U_{RB} = \frac{2}{m} \cdot \frac{M_B \cdot \Omega_B}{p I_{SB}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{731 \cdot 314}{3 \cdot 188} = 271 \text{ В, где}$$

m-число фаз.

Потокосцепление статора

$$\Psi_S = \frac{X_m}{\Omega_{\text{ном}}} I_{X \text{ ном}} = \Psi_{1\phi} = \frac{3,5}{314} \cdot 55,27 \cdot 4 = 0,802 \text{ Вб} \cdot \text{с.}$$

Базисное потокосцепление статора (ротора):

$$\Psi_{SB} = \Psi_{RB} = \frac{U_{SB}}{\Omega_B} = \frac{271}{314} = 0,863 \text{ Вб}$$

Базисное полное сопротивление :

$$Z_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{271}{188} = 1,44 \text{ Ом}$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Базисная индуктивность статора (ротора):

$$L_{SB} = L_{RRI} \frac{\Psi_{SB}}{I_{SB}} = \frac{0,863}{314} = 0,00274 \text{ Гн}$$

После перехода к относительным единицам система уравнений асинхронной машины принимает вид (все величины в относительных единицах кроме времени):

Уравнение статорных цепей:

$$u_{sx} = r_s \cdot i_{sx} + T_E p \cdot \psi_{sx} - \omega_k \cdot \psi_{sy};$$

$$u_{sy} = r_s \cdot i_{sy} + T_E p \cdot \psi_{sy} - \omega_k \cdot \psi_{sx};$$

Уравнения роторных цепей:

$$0 = T_E p \cdot \psi_{rx} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry} + r_r \cdot i_{rx}$$

$$0 = T_E p \cdot \psi_{ry} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx} + r_r \cdot i_{ry}$$

где T_E - базисная постоянная времени определяется как:

$$T_E = \frac{1}{\Omega_B} = \frac{1}{314} = 0,0032 \text{ с.}$$

Уравнения связи остаются без изменения:

$$\psi_{sx} = L_s \cdot i_{sx} + L_m \cdot i_{rx}$$

$$\psi_{sy} = L_s \cdot i_{sy} + L_m \cdot i_{ry}$$

$$\psi_{rx} = L_r \cdot i_{rx} + L_m \cdot i_{sx}$$

$$\psi_{ry} = L_r \cdot i_{ry} + L_m \cdot i_{sy}$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot (i_{ry} \cdot \psi_{rx} - i_{sx} \cdot \psi_{ry})$$

где k_r - коэффициент связи ротора определяется как:

$$k_r = \frac{l_m}{l_r}$$

Уравнение движения для одномассовой системы:

$$m - m_r = T_J \cdot p \cdot \omega,$$

где механическая постоянная времени и определяется как:

$$T_J = J_\Sigma \cdot \frac{\Omega_B}{p_n \cdot M_B} = 6,269 \cdot \frac{314}{731 \cdot 3} = 0,897 \text{ с}$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Далее при помощи уравнений связи исключаем токи ротора и потокосцепления статора из вышеприведенной модели. Система уравнений будет иметь вид:

Уравнение статорных цепей:

$$u_{sx} = r_s \cdot (1 + T_r p) \cdot i_{sx} - \omega_k \cdot l_s i_{sy} - \omega \cdot k_r \cdot \psi_{rx} - \alpha_r k_r \cdot \psi_{rx};$$

$$u_{sy} = r_s \cdot (1 + T_r p) \cdot i_{sy} - \omega_k \cdot l_s i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_{rx} - \alpha_r k_r \cdot \psi_{ry};$$

Уравнения роторных цепей:

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{rx} = \alpha_r \cdot (T_r p + 1) \cdot \psi_{rx} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry}$$

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{ry} = \alpha_r \cdot (T_r p + 1) \cdot \psi_{ry} + (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx}$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot (i_{sy} \cdot \psi_{rx} - i_{sx} \cdot \psi_{ry});$$

где

$\alpha_r = \frac{r_r}{l_r}$ - коэффициент затухания роторных цепей при разомкнутых

статорных;

$k_r = \frac{l_m}{l_r}$ - коэффициент связи ротора;

$T_r = \frac{l_r}{r_r} T_{\sigma}$ - постоянная времени роторных цепей;

$l_s = l_{\sigma s} + k_r \cdot l_{\sigma r}$ - эквивалентная индуктивность;

$r_s = r_s + k_r^2 \cdot r_r$ - эквивалентное сопротивление;

$T_s = \frac{l_s}{r_s}$ - эквивалентная постоянная времени;

Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором на основании приведенных уравнений приведена на рис 3.6:

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

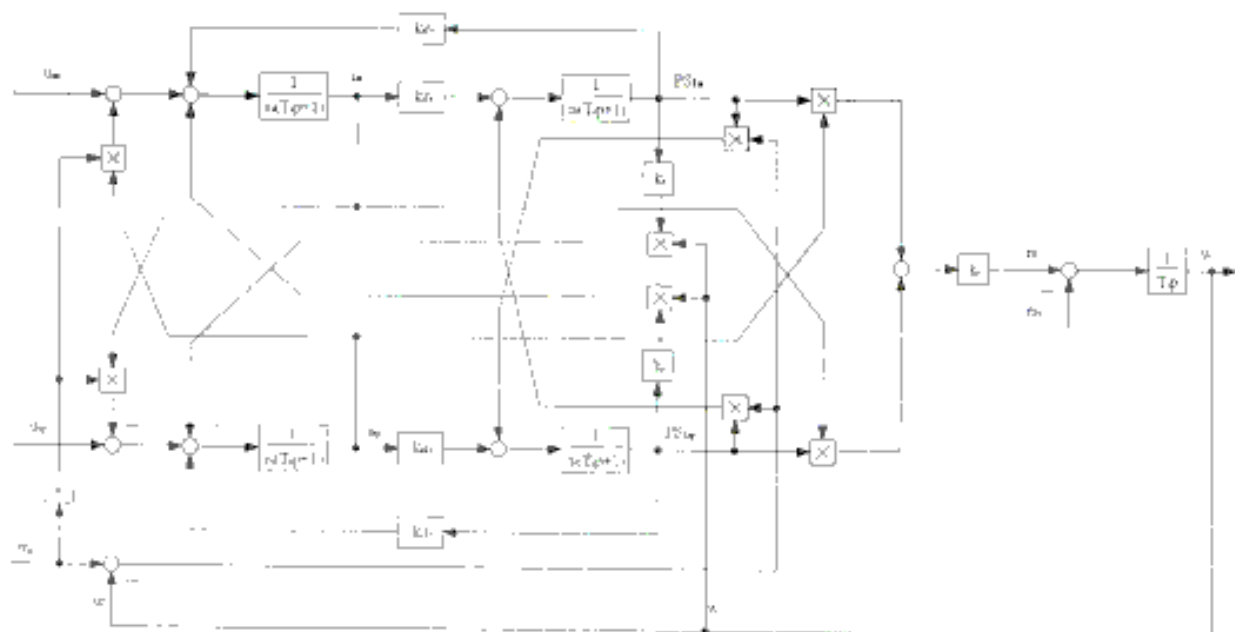


Рис. 3.7 - Структурная схема короткозамкнутого асинхронного двигателя

Характеристика асинхронного двигателя как объекта управления:

- а) Управляющее воздействие - напряжение и переменные состояния (токи, потокосцепления) носят явно выраженный векторный характер;
- б) Управляющее воздействие содержит в себе две независимые компоненты: амплитуда и частота, которые воздействуют на поток двигателя и синхронную скорость соответственно;
- в) Асинхронный двигатель представляет собой двухмерный, динамический, не линейный объект управления (в прямом канале 2 инерционных звена на каждую проекцию; присутствуют множительные звенья);
- г) Два инерционных звена охвачены не линейной перекрестной обратной связью, глубина которых зависит от ω_s и β
- д) Оба звена в целом охвачены еще и по ЭДС, которая наводится в обмотке статора полями ротора;
- е) Звено момента является нелинейным ввиду того, что в нем присутствует скалярное умножение векторов;
- ж) Присутствующие перекрестные обратные связи существенно влияют на динамику электропривода и требуют компенсации при реализации системы управления.

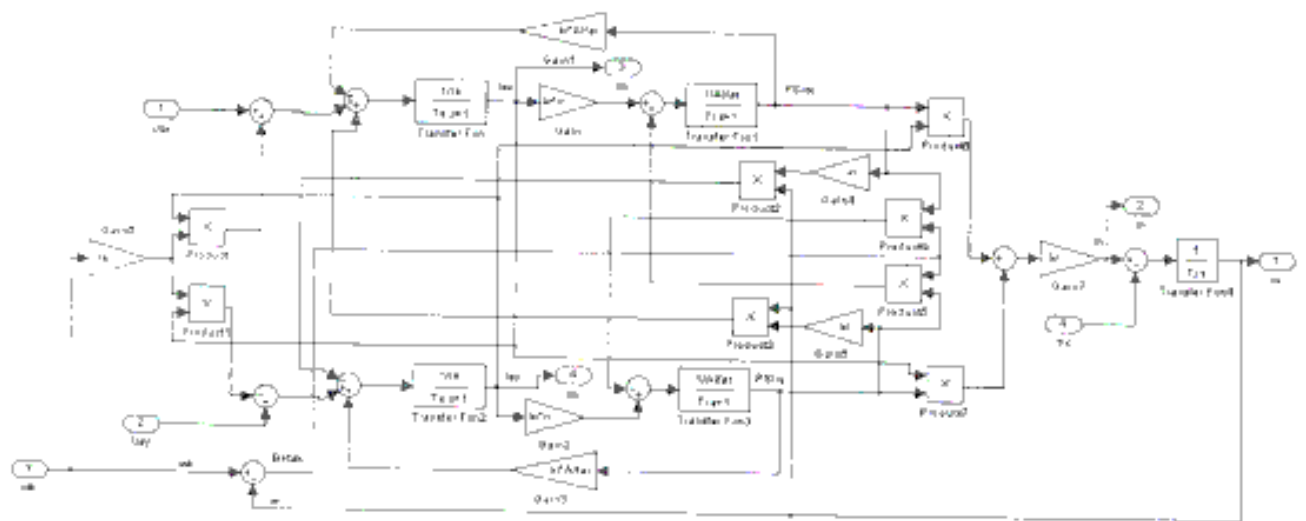


Рис. 3.8 - Структурная схема А.Д. в Matlab

3.4.2 Расчет параметров объекта управления

Расчет параметров модели асинхронного двигателя в относительных единицах производится с учетом принятых относительных единиц.

При расчете, параметры заданы для модели, построенной на основе «Т» - образной схемы замещения асинхронного двигателя.

Индуктивность рассеяния статорной цепи в о.е.:

$$l_{S\sigma} = \frac{X_S}{\Omega_B \cdot L_B} = \frac{0,11}{314 \cdot 0,00274} = 0,127$$

Индуктивность рассеяния роторной цепи в о.е.:

$$l_{r\sigma} = \frac{X_r}{\Omega_B \cdot L_B} = \frac{0,072}{314 \cdot 0,00274} = 0,083$$

Коэффициент взаимной индукции обмоток статора и ротора в о.е.:

$$l_m = \frac{X_M}{\Omega_B \cdot L_B} = \frac{3,5}{314 \cdot 0,00274} = 4,06$$

Полная индуктивность обмотки ротора в о.е.:

$$l_r = l_{r\sigma} + l_m = 0,127 + 4,06 = 4,187$$

Полная индуктивность статорных цепей в о.е.:

$$l_s = l_{s\sigma} + l_m = 0,083 + 4,06 = 4,143$$

Коэффициент затухания роторных цепей при разомкнутых статорных в о.е.:

$$\alpha_r = \frac{r_r}{l_r} = \frac{0,019}{4,143} = 0,0045$$

Коэффициент связи ротора в о.е.:

										Лист
										49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ					

$$k_r = \frac{l_m}{l_r} = \frac{4,06}{4,082} = 0,98$$

Постоянная времени цепи ротора:

$$T_r = \frac{l_r}{r_r} \cdot T_\varepsilon = \frac{4,082}{0,019} \cdot 0,0032 = 0,6 \text{ с}$$

Эквивалентное сопротивление в о.е.:

$$r_\gamma = r_s + \kappa_r^2 r_r = 0,03 + 0,98^2 \cdot 0,019 = 0,048$$

Эквивалентная индуктивность в о.е.:

$$l_\gamma = l_{\sigma\sigma} + \kappa_r^2 l_{rr} = 0,127 + 0,98^2 \cdot 0,083 = 0,206$$

Эквивалентная постоянная времени в о.е.:

$$T_\gamma = \frac{l_\gamma}{r_\gamma} T_\varepsilon = \frac{0,206}{0,048} \cdot 0,0032 = 0,0137$$

Механическая постоянная времени в о.е.:

$$T_j = \frac{\Omega_{\beta\beta}}{M_{\beta p_n}} \cdot J_z = \frac{314}{731 \cdot 3} \cdot 6,269 = 0,89$$

Определим проекции вектора напряжения статора, во вращающейся системе координат со скоростью магнитного поля статора, задавая одну из проекций. Напряжение питания при соединении обмоток в звезду 380 В.

$$u_{sv} = 1,402 \text{ о.е.}$$

$$u_{sv} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2} \cdot 380}{U_k}\right)^2 - (u_{sv})^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2} \cdot 380}{271}\right)^2 - (1,402)^2} = 1,402$$

3.4.3 Математическая модель системы управления электроприводом

Предпосылки качественного регулирования момента асинхронного двигателя

а) Ориентация системы координат.

Ориентация системы координат является математическим приемом и позволяет получить более простую модель асинхронного двигателя. В тоже время ориентация системы координат является эффективным техническим принципом, который используется для построения высококачественных систем автоматического регулирования. При ориентации системы координат одна из осей (как правило ОХ) совмещается с опорным вектором, например:

- Вектор тока статора;
- Вектор напряжения статора;
- Вектор потокосцепления статора;

- Вектор потокосцепления взаимоиндукции;
- Вектор потокосцепления ротора;

Выбор ориентирующего вектора связан с конкретной задачей управления и в нашем случае это вектор потокосцепления ротора. Условием ориентации является:

$$\begin{cases} \psi_{rx} = \psi_r; \\ \psi_{ry} = 0; \end{cases}$$

$\omega_k = \omega_{\psi_r}$ - скорость вращения координатных осей равна скорости вращения вектора потокосцепления ротора.

После этого система уравнений асинхронного двигателя принимает вид:

Уравнение статорных цепей:

$$U_{sx} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sx} - \omega_{\psi_r} \cdot l_s \cdot i_{sy} - \alpha_r \cdot k_r \cdot \psi_r;$$

$$U_{sy} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sy} + \omega_{\psi_r} \cdot l_s \cdot i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_r;$$

Уравнения роторных цепей:

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{rx} = \alpha_r \cdot (T_r p + 1) \cdot \psi_r;$$

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{ry} = \beta_{wr} \cdot \psi_r;$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot i_{ry} \cdot \psi_r$$

Уравнение движения для одномассовой системы:

$$m - m_c = T_j \cdot p \cdot \omega,$$

Абсолютное скольжение двигателя:

$$\beta_{vr} = \omega_r - \omega$$

Поскольку в уравнении момента коэффициент связи ротора величина постоянная и регулирование скорости ведется без ослабления поля, то существует пропорциональность между током двигателя и моментом. Из этих уравнений также видно, что проекция тока статора на ось ОХ определяет поток двигателя, а проекция вектора тока статора на ось ОУ определяет электромагнитный момент асинхронного двигателя.

При регулировании скорости не используется ослабление поля (регулирование во второй зоне), то значение потокосцепления ротора остается постоянным, следовательно, производной потокосцепления ротора можно пренебречь, после этого уравнения роторных цепей примут следующий вид:

$$i_{sx} = \frac{\alpha_r}{k_r \cdot r_r} \cdot \psi_r$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$i_{sy} = \frac{\beta_{\psi r}}{k_r \cdot r_r} \cdot \psi_r$$

б) Синтез блока компенсации внутренних перекрестных связей. Для построения высококачественной системы регулирования скорости необходимо компенсировать трансформаторную ЭДС и ЭДС вращения:

$$e_{\alpha x} = -\omega_{\psi r} \cdot l_{\gamma} \cdot i_{sy} - \alpha_r \cdot k_r \cdot \psi_r;$$

$$e_{\alpha y} = \omega_{\psi r} \cdot l_{\gamma} \cdot i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_r$$

Технически влияние этих ЭДС компенсируется путем формирования задающих воздействий по следующим законам:

$$u_x^* = u_{yx} - \frac{1}{k_{11}} \cdot (\omega_{\psi r} \cdot l_{\gamma} \cdot i_{sy} + \alpha_r \cdot k_r \cdot \psi_r);$$

$$u_y^* = u_{yy} + \frac{1}{k_{11}} \cdot (\omega_{\psi r} \cdot l_{\gamma} \cdot i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_r);$$

Это один из возможных методов компенсации внутренних перекрестных обратных связей. Метод не идеален, поскольку требует знания параметров асинхронной машины, которые могут меняться в процессе работы (например, индуктивность взаимоиנדукции зависит от насыщения магнитной цепи, как и коэффициент связи ротора).

Структурная схема блока компенсации внутренних перекрестных связей объекта приведена на рис. 3.9:

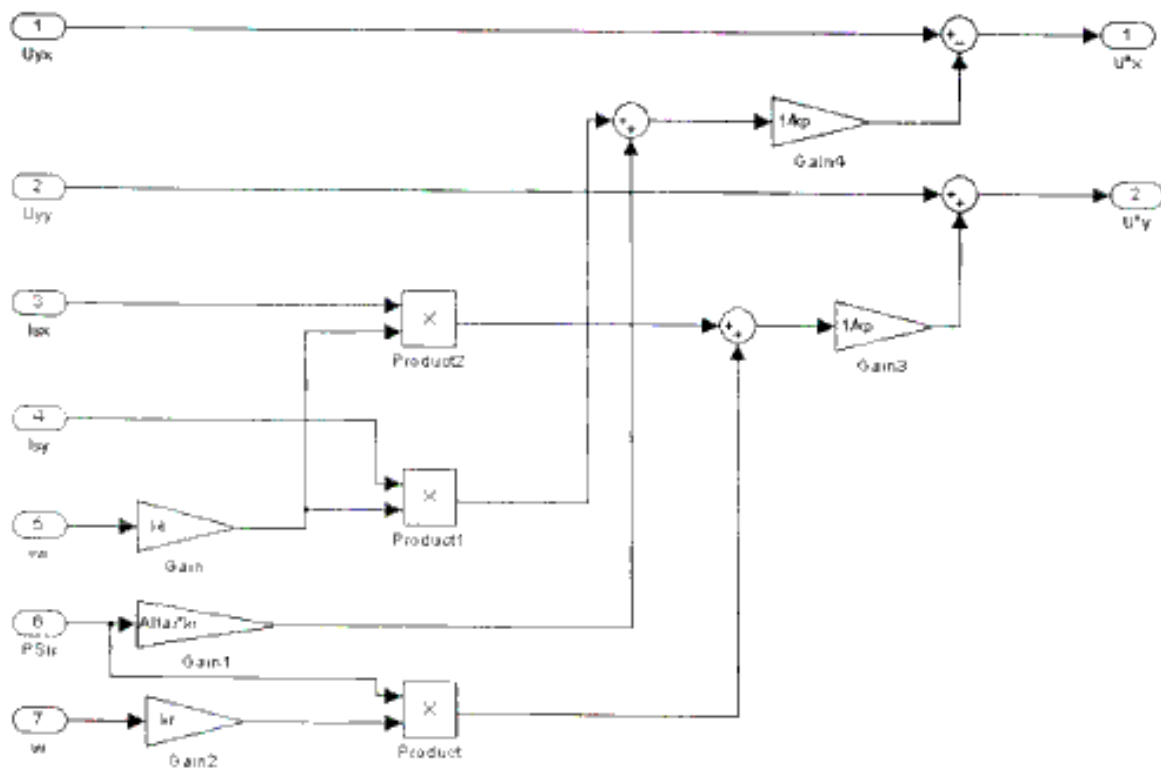


Рис. 3.9 - Структурная схема блока компенсации внутренних перекрестных связей

объекта реализованная в приложении Simulink пакета MATLAB.

После этого уравнения асинхронного двигателя принимают вид:

Уравнение статорных цепей:

$$U_{sx} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sx};$$

$$U_{sy} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sy};$$

Уравнения роторных цепей:

$$i_{rx} = \alpha_r \cdot (k_r \cdot r_r)^{-1} \cdot \psi_r;$$

$$i_{ry} = \beta_{\varphi r} \cdot (k_r \cdot r_r)^{-1} \cdot \psi_r;$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot i_{ry} \cdot \psi_r$$

Уравнение движения для одномассовой системы:

$$m - m_c = T_j \cdot p \cdot \omega,$$

Абсолютное скольжение двигателя:

$$\beta_{\omega r} = \omega_r - \omega$$

На основании этих уравнений построена структурная схема асинхронного двигателя (рис. 3.10) для синтеза регуляторов. В данной схеме не учтено пренебрежение производной потокосцепления ротора.

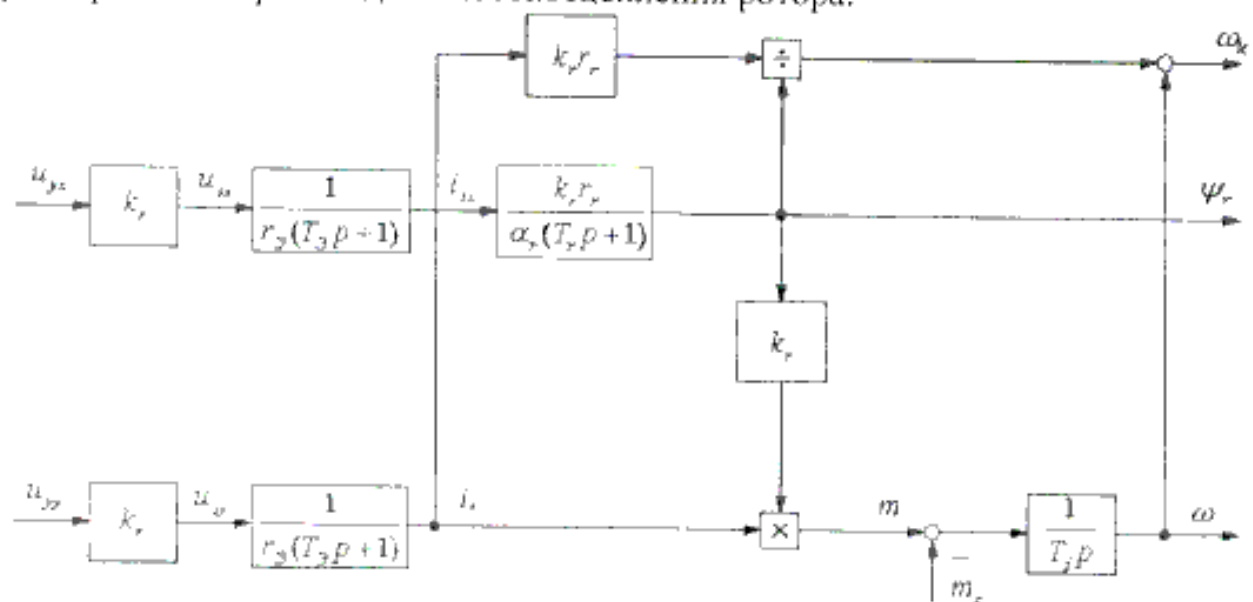


Рис. 3.10 - Структурная схема асинхронного двигателя для синтеза регуляторов

Блок фильтров

В этом блоке реализована некомпенсированная постоянная времени T_μ , которая вводится специально чтобы снизить быстродействие системы, что в свою очередь уменьшает токи и моменты в переходных режимах. Фильтр представляет собой апериодическое звено, где граничное значение этой постоянной определяется частотой коммутации вентиля. Для преобразователя эта величина колеблется от 2,5 - 4 до 16 кГц, примем частоту коммутации:

$$f_c = 4 \text{ кГц},$$

$$T_{\mu, \text{пр}} = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{4000} = 0,00025 \text{ с},$$

Для того, чтобы система вела себя корректно примем:

$$T_\nu = 2 \cdot T_{\mu, \text{пр}} = 0,00025 \cdot 2 = 0,0005 \text{ с},$$

где T_ν - не компенсированная постоянная времени,

$$\Phi_\nu(p) = \frac{1}{0,0005p + 1}$$

В приложении Simulink, блок фильтров выглядит таким образом:

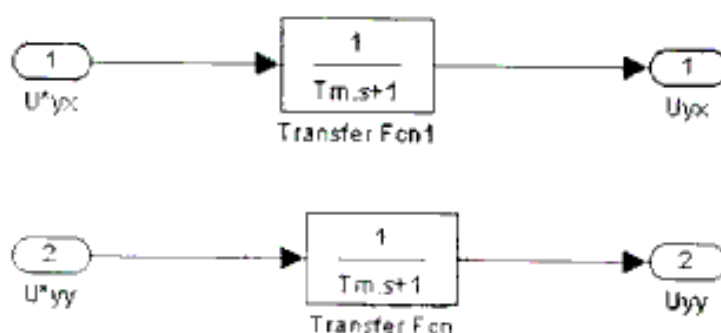


Рис. 3.11 - Блок фильтров

с) Синтез регуляторов преобразованных токов статора.

Расчет коэффициентов регулятора приведен выше.

Передаточная функция регулятора имеет следующий вид:

$$R_i(p) = W_i^{-1}(p) \frac{1}{T_i p} = \frac{T_i + 1}{\frac{k_{II}}{r_s} T_i p} = \frac{T_i + r_s}{k_{II} T_i} + \frac{1}{\frac{k_{II}}{r_s} T_i p} \text{ - «ПИ» регулятор,}$$

где $T_i = 2 \cdot T_\nu = 0,001 \text{ с}$ - постоянная времени регулятора тока статора исходя из настройки на модульный оптимум.

$$K_{PI} = \frac{T_i \cdot r_s}{k_{II} T_i} = \frac{0,0138 \cdot 0,048}{1 \cdot 0,001} = 0,662$$

$$T_{PI} = \frac{k_{II} \cdot T_i}{r_s} = \frac{1 \cdot 0,001}{1 \cdot 0,048} = 0,02 \text{ с}$$

Замкнутая типовая передаточная функция контура тока имеет вид:

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$G_r(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

В пакете Matlab приложения Simulink, регулятор токов статора и окно выбора переменных выглядит вот так:

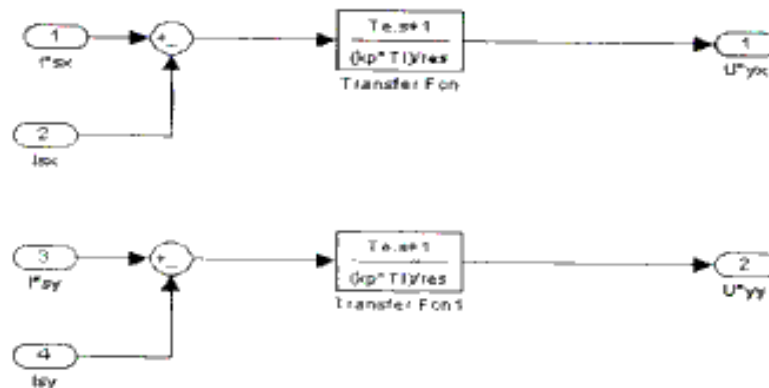


Рис. 3.12 - Регулятор токов статора

d) Синтез регулятора потокосцепления ротора

Система регулирования потокосцепления разомкнута, поскольку нет информации о потокосцеплении ротора. В этом случае регулирование во второй зоне не производится, и поток остается неизменным во время работы электропривода.

Регулятор потокосцепления ротора в этом случае будет иметь вид (для статического режима):

$$R_{\psi_r}(p) = W_r^{-1}(0) = \frac{1}{I_m}$$

$$R_{\psi_r}(p) = \frac{1}{4,06} = 0,24$$

При этом система не рассчитана на управление потокосцеплением в динамике и чувствительна к изменению параметров магнитной цепи зависящих от насыщения.

В этом случае динамика разомкнутой системы определяется постоянной времени T_r , которая много больше T_μ и при изменениях нагрузки, как показывают исследования, в результате нагрева сильно меняется сопротивление ротора как составляющая T_r .

e) Синтез регулятора электромагнитного момента

Регулятор момента стоит в виде обращенного звена электромагнитного момента, причем, поскольку потокосцепление ротора не изменяется то оно присутствует в регуляторе в виде коэффициента:

$$R_m(p) = \frac{1}{k_r \cdot \psi_r};$$

$$R_m(p) = \frac{1}{0,98 \cdot \psi_r};$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Также в функцию регулятора момента входит определение угловой скорости вращения вектора потокосцепления ротора для ориентации поля по вектору потокосцеплению ротора:

$$\omega_{\psi r} = \omega + \beta_{\psi r}$$

Величина задания на ток по координате Y:

$$i_{y} = \frac{I_{xy, \text{зад}}}{I_h} = \frac{179,75}{188} = 0,956;$$

Абсолютное скольжение исходя из проекции вектора тока статора на ось OY:

$$\beta_{\psi r} = \frac{k_r \cdot r_r}{\psi_r} \cdot i_{y};$$

$$\beta_{\psi r} = \frac{0,98 \cdot 0,019}{\psi_r} \cdot 0,956 = \frac{0,017}{\psi_r}$$

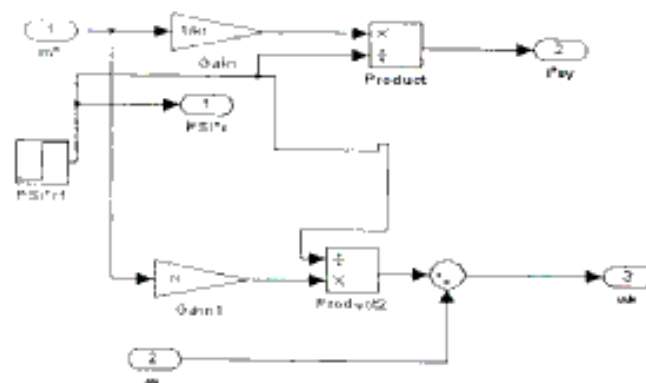


Рис 3.13 - Структура регулятора момента

При этом передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$\Phi_m(p) = R_m(p) \cdot G_i(p) \cdot W_m(p) = G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

Т.е. контур момента имеет высокое быстродействие, но на динамику оказывает влияние изменение потокосцепления ротора.

г) Синтез регулятора угловой скорости

С точки зрения требований к электроприводу допускается относительное падение скорости 5% следовательно, возможно использование «П» - регулятора скорости, но требование к САР таковы, что нам необходимо использовать «ПИ» - регулятор скорости.

При синтезе пренебрегаем статическим моментом нагрузки.

Ввиду этого будем синтезировать «ПИ» - регулятор скорости; при синтезе, которого на входе системы появляется входной фильтр со следующей передаточной функцией:

$$\Phi(p) = \frac{1}{T_{\omega} p + 1}$$

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

$$R_{\omega}(p) = \frac{T_{\omega} p + 1}{T_{\omega} p} \cdot \frac{T_i + 1}{T_{\omega}}$$

где постоянные времени определяются как:

$$T_{\omega} = 2 \cdot T_i = 4 \cdot T_{\mu} = 0,002$$

$$T_{\omega}^* = 2 \cdot T_{\omega} = 4 \cdot T_i = 8 \cdot T_{\mu} = 0,004$$

для настройки на модульный оптимум.

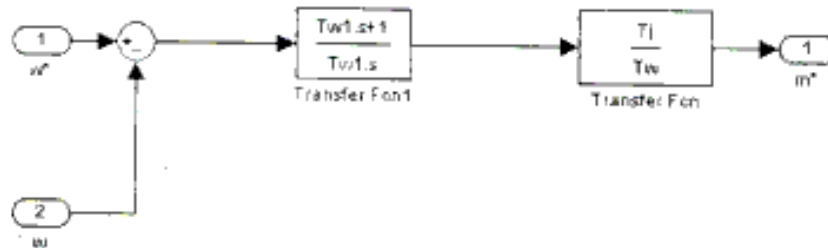


Рис. 3.14 - Структура регулятора скорости

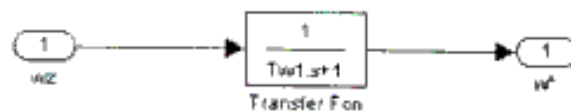


Рис. 3.15 - Структура входного фильтра

г) Задатчик интенсивности

Типовая передаточная функция разомкнутой системы регулирования скорости настроена на симметричный оптимум и имеет вид:

$$\Phi_{\omega}(p) = \frac{8T_{\mu} + 1}{8T_{\mu} p} \cdot \frac{1}{4T_{\mu} p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1}$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию имеет вид:

$$G_{\omega}^{\omega}(p) = \frac{1}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p + 1}$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по возмущающему воздействию имеет вид:

$$G_{mk}^{\omega}(p) = \frac{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{32T_{\mu}^2 p}{T_j}$$

Типовой переходный процесс по управляющему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время достижения максимума $t_m = 18 \cdot T_{\mu} = 18 \cdot 0,0005 = 0,09$;
- Время переходного процесса (время вхождения в 1% зону) $t_{n,1} = 22,5 T_{\mu} = 22,5 \cdot 0,0005 = 0,0113$;
- Перерегулирование по скорости $\sigma = 6,2\%$;

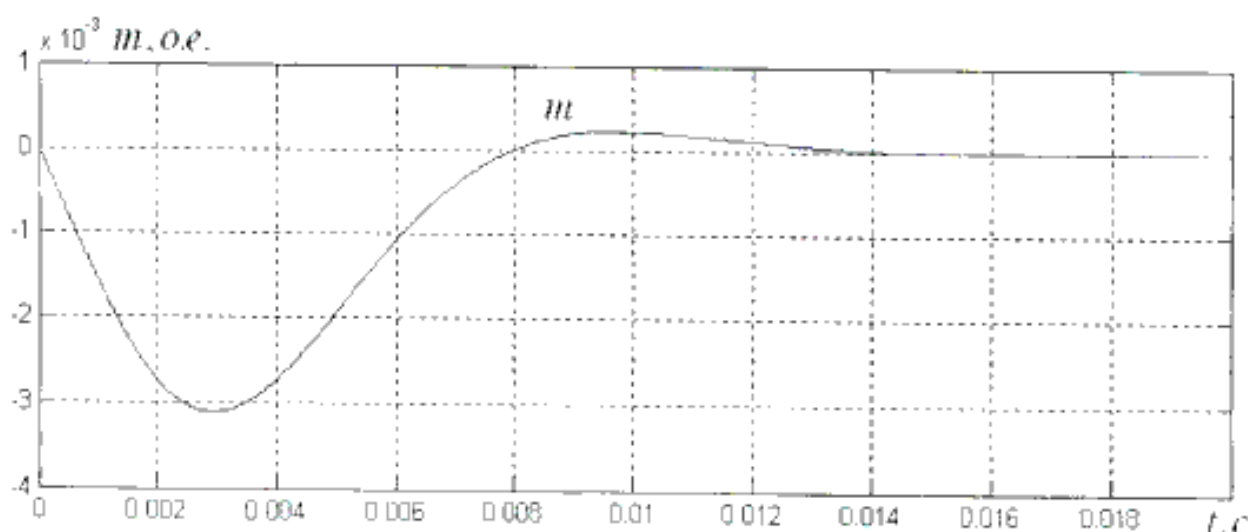
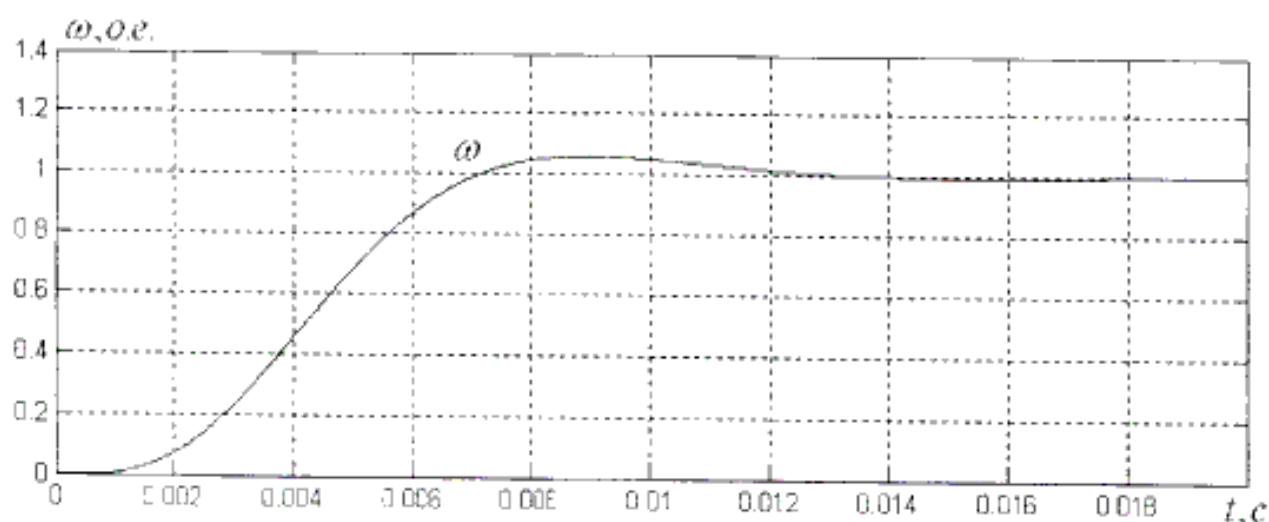


Рис. 3.16 - Типовые переходные процессы по скорости контура скорости (сверху по управляющему воздействию, снизу по возмущающему)

Типовой переходный процесс по возмущающему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время восстановления $t_{вос} = 3,86 \cdot T_{\omega} = 3,86 \cdot 0,002 = 0,0077$;
- Перерегулирование по моменту $\sigma = 54\%$

Механические характеристики системы являются абсолютно жесткими ввиду того, что значение передаточной функции по возмущающему воздействию в установившемся режиме:

$$G_{\omega}^{\omega}(0) = 0$$

Т.е. система не будет иметь ошибки по возмущающему воздействию.

Найдем значение пропорционального и интегрального коэффициентов регулятора скорости для установки соответствующих параметров в преобразователе частоты.

Пропорциональный коэффициент регулятора скорости:

$$k_{PC} = \frac{T_f}{T_{\omega}}$$

$$k_{PC} = \frac{0,89}{0,002} = 445$$

Интегральный коэффициент регулятора скорости в параметре под интегральным коэффициентом понимается постоянная времени:

$$T_{PC} = \frac{T_{\omega} \cdot T_{\omega}'}{T_f}$$

$$T_{PC} = \frac{0,002 \cdot 0,004}{0,89} = 0,0000089$$

Результаты моделирования

При этом для обеспечения более плавного пуска (без ударных моментов) производится предварительное намагничивание двигателя в течении 1 с в соответствии с установленным параметром.

По сравнению с расчетной тахограммой имеются некоторые переходные процессы, также присутствуют колебания момента это связано с тем, что математическая модель преобразователя частоты представлена не в виде коэффициента передачи, а виде ряда звеньев и учитывает его дискретность. Значение максимального момента совпадает с расчетным. При значении некомпенсированной постоянной времени 0.0005 с и использованием «ПИ»-регулятора скорости переходный процесс по скорости практически не отличается от задания.

При отработке тахограммы привод удерживает нагрузку некоторое время необходимое для наложения механического тормоза, как и было, описано при установке параметров преобразователя частоты.

Расчет начальных параметров для моделирования:

1. Расчет номинального потокосцепления:

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ					

$$\psi_N = \frac{\psi_{TN}}{\psi_B}$$

$$\psi_N = \frac{0,802}{0,863} = 0,93 \text{ о.е.}$$

В момент времени $t = 0$ с начинаем создавать номинальный поток 0,5 с хватает, чтобы поток достиг своего номинального значения.

2. Расчет номинального момента:

$$M_N = M_B = 731 \text{ Нм,}$$

$$m_c = \frac{731}{731} = 1 \text{ о.е.}$$

Номинальный момент подадим в $t = 3,5$ с так как привод выходит на номинальную скорость.

3. Расчет номинальной скорости:

$$\omega_3 = 1$$

Задание на скорость подаем в $t = 0,5$ с.

Покажем, что при моделировании типовой тахограммы и нагрузочной диаграммы они практически не отличаются от расчетных. Отличие в том, что на тахограмме и нагрузочной диаграмме представленных в пакете Matlab имеют место переходные процессы.

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕМУ РАЗДЕЛУ

В третьем разделе была представлена разработка системы автоматического управления электроприводом. Была построена математическая модель объекта управления, и расчет параметров модели.

									Лист
									60
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

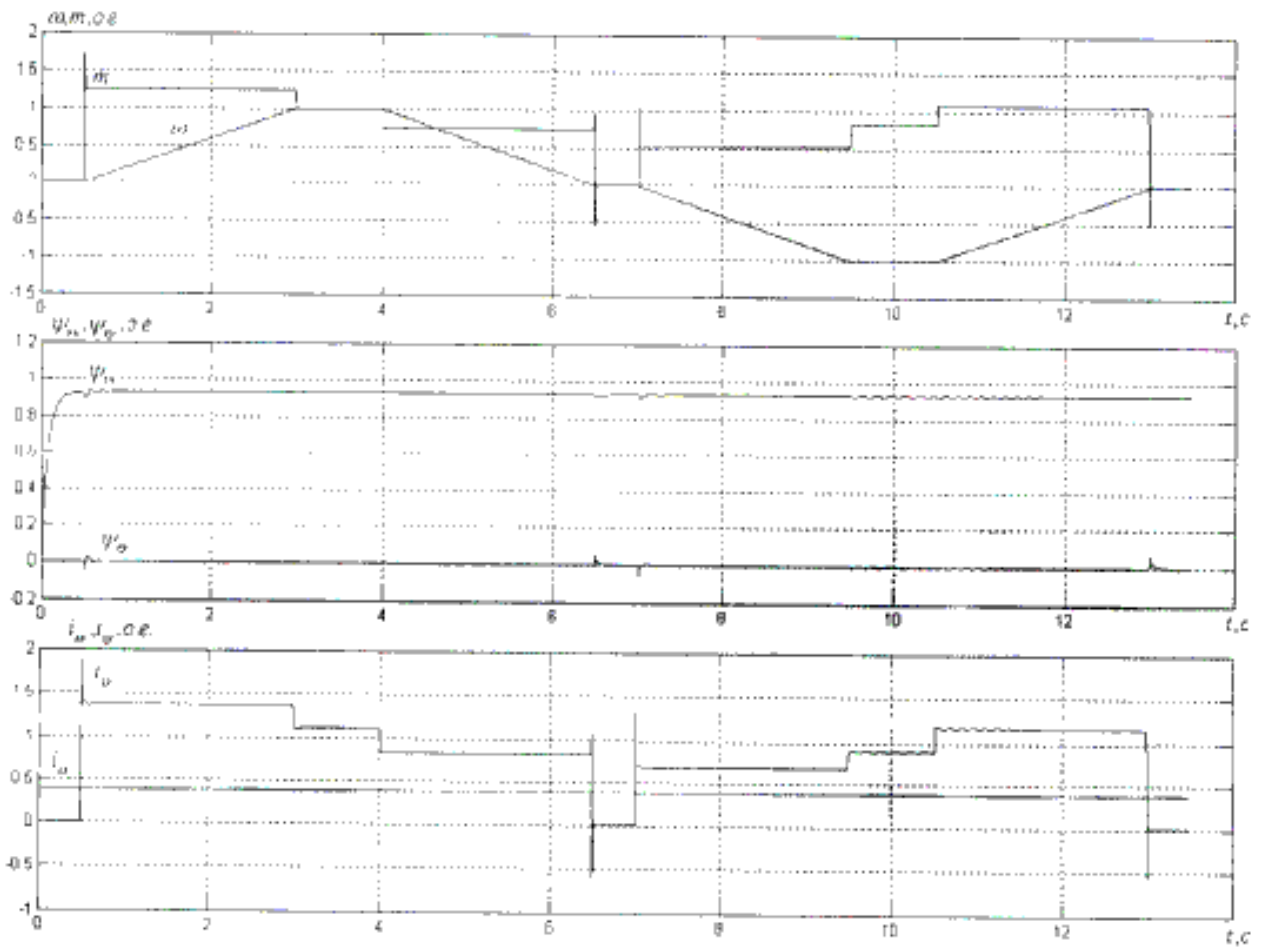


Рис. 3.17 - Обработка типовых тахограмм крана с использованием частотно-регулируемого электропривода

4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ

4.1 Описание контроллера Овен ПЛК110

Контроллеры Овен спроектированы согласно требованиям стандартов IEC 6-1131-2 и ГОСТ Р 51840-2001, и прошли комплекс испытаний на климатические, вибрационные, ударные воздействия, а также в условиях различных электромагнитных и импульсных помех по портам питания и ввода-вывода. Результаты исследований занесены в протоколы испытаний и подтверждают полное соответствие необходимым стандартам качества. В настоящее время контроллеры подвержены испытаниям и сертификации также в независимых экспертных организациях.

Диапазон рабочих температур составляет от -25 до $+65$ °С, что обеспечивает возможность установки устройств вне помещений с отоплением, без ухудшения технических показателей.

Для оборудования, подключенного к контроллеру, обеспечивается сохранность наличием гальванической изоляции (четыре развязки на 1500 В между узлами). Если, из-за ошибки монтажа, к примеру, на дискретный вход будет подано напряжение 380 В, то из строя выйдет только этот порт. Остальные узлы контроллера останутся невредимыми, и будет сохранено прочее оборудование, подключенное к контроллеру.

Все дискретные входы (DI) ОВЕН ПЛК являются высокочастотными, любой из этих входов может быть настроен на работу с импульсными сигналами с рабочей частотой до 10 кГц. Дискретный вход также имеет возможность функционирования в режиме триггера, импульсного счетчика, энкодера, а также в нескольких режимах одновременно.

ПЛК ОВЕН построены на базе производительного RISC-процессора архитектуры семейства ARM. Процессор работает на тактовой частоте 200 МГц. Учитывая, что в ПЛК ОВЕН нет операционной системы, которая может потреблять до 30 % вычислительных ресурсов, то уверенно можно сказать, что ПЛК «ОВЕН» посильно решение сложных вычислительных задач за минимальное время.

Для примера: цикл типовой программы по обработке 100 дискретных точек ввода/вывода ПЛК выполняет за 1 мс. Кроме того, отсутствие операционной системы обеспечивает стабильность и высокую надежность работы программной части ОВЕН ПЛК.

Контроллеры ОВЕН ПЛК располагают развитой структурой интерфейсов и поддерживают ряд стандартных протоколов. Это позволяет использовать их как мощный сетевой вычислитель, подключать к ним широкий спектр модулей УСО (устройств сопряжения с объектом), а также работать со специализированными SCADA-системами (OPC-сервер CoDeSys в комплекте).

Специализированный модуль универсального сетевого интерфейса решает задачу реализации в среде CoDeSys любого сетевого протокола, штатно не поддерживаемого контроллером ОВЕН ПЛК. Это дает возможности подключения к контроллерам практически любого оборудования, располагающего встроенными интерфейсами RS-232, RS-485 или Ethernet. Поддержка разных

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

протоколов позволяет превращать ОВЕН ПЛК в сетевой шлюз (например, между сетями с протоколами ОВЕН и Modbus).

При разработке контроллеров были отобраны самые востребованные функции аналогичных изделий ведущих мировых производителей, поэтому созданные компанией «ОВЕН» контроллеры обладают современными расширенными функциональными и эксплуатационными возможностями.

Первое – это встроенный аккумулятора резервного питания, позволяющий сохранить работоспособность ПЛК после отключения основного питания (до 10 минут). При выключении основного питания работа текущей программы приостанавливается, но сохраняются все данные и результаты промежуточных вычислений, а также функция обмена данными по сети Ethernet, так что контроллер может послать сигнал об отключении питания на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. И самое главное: после восстановления основного питания контроллер восстанавливает текущий рабочий режим, не тратя время на загрузку. Этот момент важен, так как управляющий контроллер не может корректно воздействовать на объект управления во время загрузки, в результате чего появляется угроза перехода в аварийный режим работы и выхода из строя объекта управления.

Второе – если все-таки основное питание отсутствовало более 10 мин, то при его подключении ОВЕН ПЛК будет перезагружен. Для того чтобы не возникло описанной выше ситуации с выходом из строя объекта управления, в ПЛК введен специальный режим перевода выходов в безопасное состояние. При настройке контроллера для каждого выхода задается состояние, при котором объект управления переводится в безопасный режим. При перезагрузке контроллера или в случае аварийной ситуации ПЛК также переходит в безопасное состояние.

Третье – большой объем внутренней энергонезависимой Flash-памяти и наличие специализированной файловой системы дает возможность сохранить проект CoDeSys непосредственно в контроллере. Если в процессе эксплуатации ОВЕН ПЛК возникнет необходимость внесения изменений в работу контроллера, то исходный проект легко найти в самом контроллере. Также встроенная Flash-память может быть использована для хранения архивов данных или результатов измерений. Архивы можно считать непосредственно из ПЛК через интерфейсы RS-232 или Ethernet и открыть в программе обработки электронных таблиц (например, Excel) или любом текстовом редакторе.

Дополнительно отметим, что ПЛК оснащен часами реального времени с собственным аккумуляторным питанием, имеет удобные надежные винтовые клеммы и покупателю не требуется приобретать специальные кабели для подключения. В комплекте с контроллером поставляется также кабель для подключения к порту RS-232, по которому выполняется загрузка пользовательских программ. Подключение к остальным цифровым интерфейсам реализуется стандартными кабелями.

Программируемые логические контроллеры ОВЕН выполнены в соответствии с европейскими стандартами и не уступают по своим техническим характеристикам, производительности, надежности и качеству исполнения, а также количеству дополнительных функций аналогам ведущих мировых

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

производителей, таких как Siemens, Omron, Wago, Vipa и т. д. При этом цена контроллеров ОВЕН ПЛК ниже аналогичных изделий перечисленных компаний (подобная ценовая политика характерна для всей продукции компании «ОВЕН»). Дополнительно отметим, что наличие технической поддержки и русскоязычной документации, а также минимальные сроки поставки и сервисное обслуживание делают ОВЕН ПЛК весьма привлекательными при решении задач автоматизации различной степени сложности.

ОВЕН ПЛК110 – линейка программируемых моноблочных контроллеров с дискретными входами/выходами на борту для автоматизации средних систем. Оптимальны для построения систем автоматизации среднего уровня и распределенных систем управления.

Рекомендуется к использованию:

- в системах HVAC;
- в сфере ЖКХ (ИТП, ЦТП);
- в АСУ водоканалов (водоподготовка, насосные станции);
- для управления малыми станками и механизмами;
- для управления пищеперерабатывающими и упаковочными аппаратами;
- для управления климатическим оборудованием;
- для автоматизации торгового оборудования;
- в сфере производства строительных материалов;

Отличительные особенности линейки

- мощные вычислительные ресурсы и большой объем памяти;
- наличие дискретных входов/выходов на борту контроллера;
- наличие последовательных портов (RS-232, RS-485) на борту контроллера;
- наличие порта Ethernet для включения в локальные или глобальные сети верхнего уровня;
- поддержка протоколов обмена Modbus (RTU, ASCII), ОВЕН, DCON;
- возможность работы напрямую с портами контроллера, что позволяет подключать внешние устройства с нестандартными протоколами;
- контроллер имеет встроенные часы, что позволяет создавать системы управления с учетом реального времени;
- встроенный аккумулятор, позволяющий организовать ряд дополнительных сервисных функций: возможность кратковременного пережидания пропадания питания, перевод выходных элементов в безопасное состояние;

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Таблица 4.1

Линейка контроллеров ОВЕН ПЛК110

Параметр	ПЛК110-	ПЛК110-	ПЛК110-60
	30	32	
Количество входов	18	18	36
Быстрых входов	2	2	4
Быстрых счетчиков	2	2	4
Энкодеров	1 АВ	1 АВ	1 АВZ или 2 АВ
Количество выходов	12	14	24
Быстрых выходов (для ПЛК110 с транзисторными выходами)	4	4	4
Количество портов RS-485	2	1	2

Таблица 4.2

Поддерживаемые интерфейсы и протоколы

Протокол	Интерфейс	Применение
ОВЕН	RS-232 RS-485	Поддержка модулей I/O ОВЕН Mx110 Работа в сетях ОВЕН совместно с TPM2xx
Modbus RTU	RS-232 RS-485	Поддержка модулей I/O и операторских панелей (например, ОВЕН СПЗxx), связь со SCADA-системами
Modbus ASCII		
Modbus TCP	Ethernet 10/100 Mbps	Связь со SCADA-системами
DCON	RS-232 RS-485	Поддержка модулей I/O ICP DAS I-7xxx, ADAM-4xxx, операторских панелей
GateWay (протокол CODESYS)	RS-232 Ethernet 10/100 Mbps USB- Device	Программирование контроллера, отладка пользовательской программы Связь с контроллерами других производителей на базе CODESYS. Работа с OPC-сервером CODESYS
Mass Storage Device	USB- Device	Работа с файлами архивов данных и файлами проекта

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

Контроллеры данной линейки также поддерживают работу с нестандартными протоколами по любому из портов, что позволяет подключать такие устройства, как электро-, газо-, водосчетчики, считыватели штрих-кодов и т.п.

Программирование контроллеров осуществляется в профессиональной распространенной среде CODESYS v.2.3.x, максимально соответствующей стандарту МЭК 61131:

- поддержка 5 языков программирования, для специалистов любой отрасли;
- мощное средство разработки и отладки комплексных проектов автоматизации на базе контроллеров;
- функции документирования проектов;
- количество логических операций ограничивается только количеством свободной памяти контроллера;
- практически неограниченное количество используемых в проекте счетчиков, триггеров, генераторов.

Интерфейсы для программирования и отладки: Ethernet, USB, RS-232 (Debug).

Схема технологической автоматизации

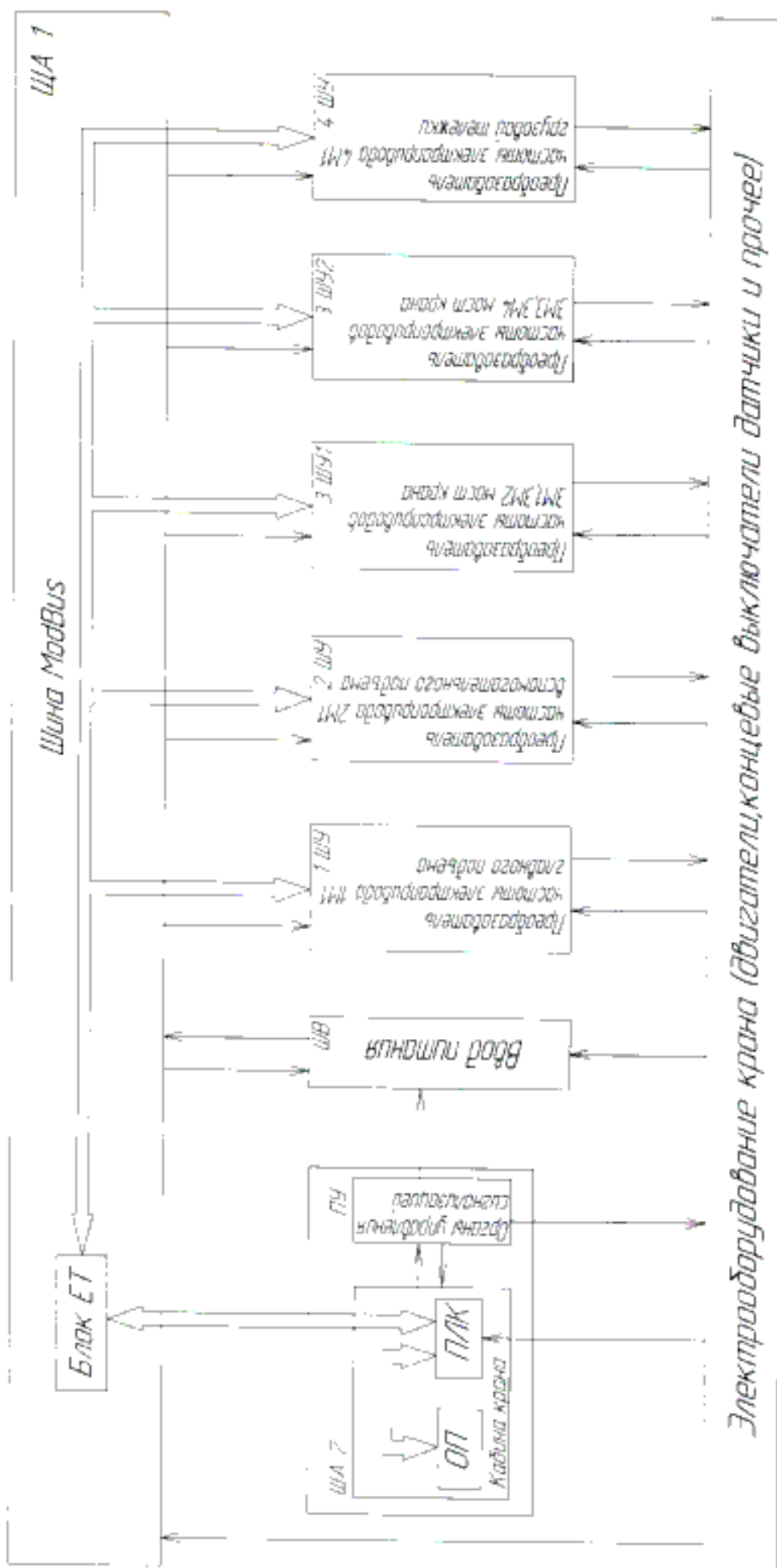


Рис. 4.1 - Схема технологической автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

4.2. Программа для контроллера

Описание переменных показано в таблице 4.2.1

Таблица 4.3

Описание переменных

Адрес	Описание
1	2
E0.0	Ключ безопасности
E0.1	Автомат главного контактора включен
E0.2	Главный контактор включен
E0.3	Вводной автомат включен
E0.4	Люк выхода к троллеям закрыт
E0.5	Калитка входа на мост закрыта
E0.6	Дверь входа в тамбур кабины закрыта
E0.7	Люк кабины крана закрыт
E1.0	Рекуператор готов к работе
E1.1	Положение джостика на движение моста вперед
E1.2	Положение джостика на движение моста вперед 50%
E1.3	Положение джостика на движение моста вперед 75%
E1.4	Положение джостика на движение моста вперед ω_n
E1.5	1й конечный выключатель
E1.6	2й конечный выключатель
E1.7	Положение джостика на движение моста назад 25%
E2.0	Положение джостика на движение моста назад 50%
E2.1	Положение джостика на движение моста назад 75%
E2.2	Положение джостика на движение моста назад ω_n
E2.3	1й конечный выключатель
E2.4	2й конечный выключатель
E2.5	Положение джостика на движение тележки вперед
E2.6	Положение джостика на движение тележки вперед
E2.7	Положение джостика на движение тележки вперед
E3.0	Положение джостика на движение тележки вперед ω_n
E3.1	1й конечный выключатель
E3.2	2й конечный выключатель
E3.3	Положение джостика на движение тележки назад 25%
E3.4	Положение джостика на движение тележки назад 50%
E3.5	Положение джостика на движение тележки назад 75%
E3.6	Положение джостика на движение тележки назад ω_n
E3.7	1й конечный выключатель
E4.0	2й конечный выключатель
E4.1	Положение джостика на движение вверх ГП 25% ω_n
E4.2	Положение джостика на движение вверх ГП 50% ω_n
E4.3	Положение джостика на движение вверх ГП 75% ω_n
E4.4	Положение джостика на движение вверх ГП ω_n
E4.5	1й конечный выключатель
E4.6	2й конечный выключатель
E4.7	Положение джостика на движение вниз ГП 25% ω_n
E5.0	Положение джостика на движение вниз ГП 50% ω_n

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Лист

Изм Лист № докум. Подпись Дата

68

1	2
E5.1	Положение джостика на движение вниз ГП 75% ω_n
E5.2	Положение джостика на движение вниз ГП ω_n
E5.3	1й конечный выключатель
E5.4	2й конечный выключатель Продолжение табл. 4.2
Mo.0	Движение моста вперед режим 1
Mo.1	Движение моста вперед режим 2
Mo.2	Движение моста вперед режим 3
Mo.3	Движение моста назад режим 1
Mo.4	Движение моста назад режим 2
Mo.5	Движение моста назад режим 3
Mo.6	Движение тележки вперед режим 1
Mo.7	Движение тележки вперед режим 2
M1.0	Движение тележки вперед режим 3
M1.1	Движение тележки назад режим 1
M1.2	Движение тележки назад режим 2
M1.3	Движение тележки назад режим 3
M1.4	ГП движение вверх режим 1
M1.5	ГП движение вверх режим 2
M1.6	ГП движение вверх режим 3
M1.7	ГП движение вниз режим 1
M2.0	ГП движение вниз режим 2
M2.1	ГП движение вниз режим 3
A0.0	Кран готов к работе
A0.1	Работа крана разрешена
A0.2	Движение моста вперед режим 4
A0.3	Движение моста вперед на пониженной скорости
A0.4	Аварийный стоп
A0.5	Движение моста назад режим 4
A0.6	Движение моста назад на пониженной скорости
A0.7	Аварийный стоп
A1.0	Движение тележки вперед режим 4
A1.1	Движение тележки вперед на пониженной скорости
A1.2	Аварийный стоп
A1.3	Движение тележки назад режим 4
A1.4	Движение тележки назад на пониженной скорости
A1.5	Аварийный стоп
A1.6	ГП движение груза вверх режим 4
A1.7	ГП движение груза вверх на пониженной скорости
A2.0	Аварийный стоп
A2.1	ГП движение груза вниз режим 4
A2.2	ГП движение груза вниз на пониженной скорости
A2.3	Аварийный стоп

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

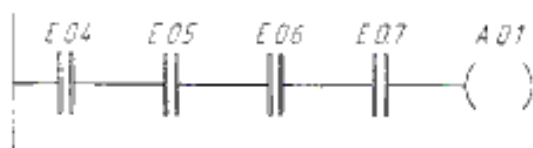
Лист

69

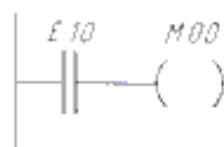
1: готовность крана к работе



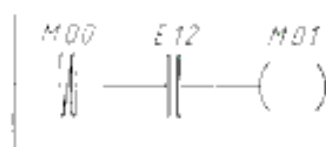
2: работа на кране разрешена



3: движение крана вперед режим 1



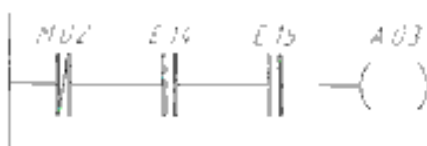
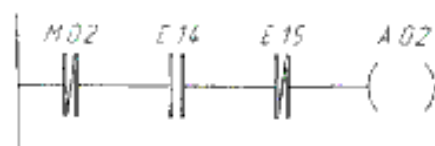
4: движение крана вперед режим 2



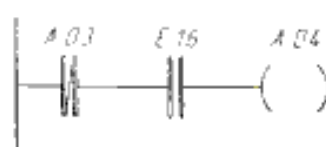
5: движение крана вперед режим 3



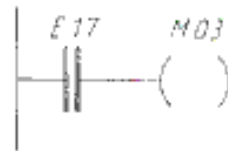
6: движение крана вперед режим 4, переход на пониженную скорость



7: аварийный стоп



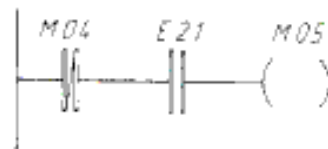
8: движение крана назад режим 1



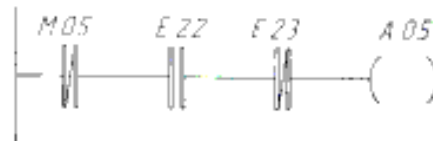
9: движение крана назад режим 2



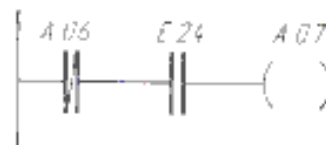
10: движение крана назад режим 3



11: движение крана назад режим 4, переход на пониженную скорость



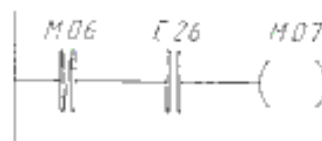
12: аварийный стоп



13: движение тележки вперед режим 1



14: движение тележки вперед режим 2



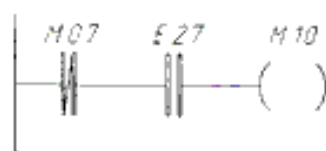
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

140400.2016.136.00.00.ПЗ

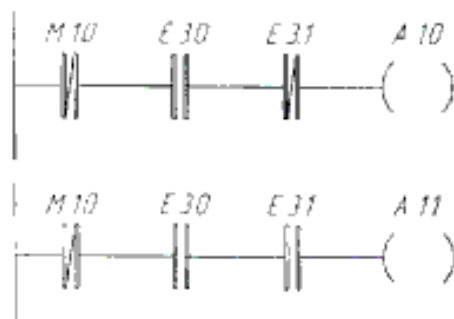
Лист

71

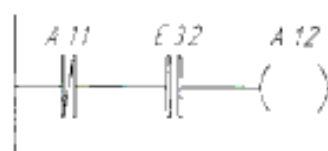
15: движение тележки вперед режим 3



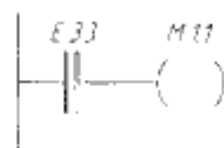
16: движение тележки вперед режим 4, переход на пониженную скорость



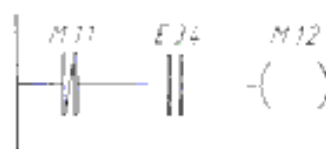
17: аварийный стоп



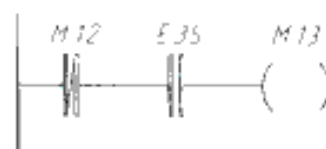
18: движение тележки назад режим 1



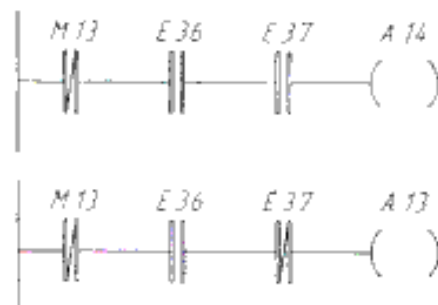
19: движение тележки назад режим 2



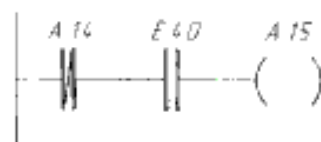
20: движение тележки назад режим 3



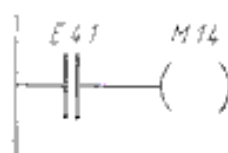
21: движение тележки назад режим 4, переход на пониженную скорость



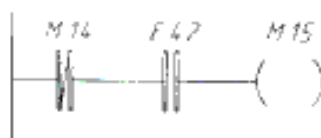
22: аварийный стоп



23: ГП движение вверх режим 1



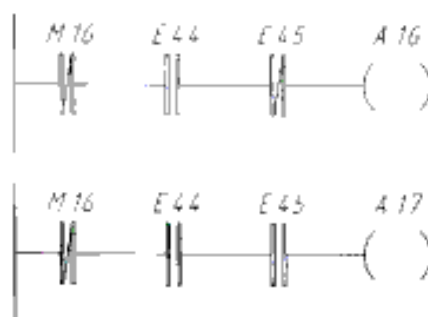
24: ГП движение вверх режим 2



25: ГП движение вверх режим 3



26: ГП движение вверх режим 4, переход на пониженную скорость

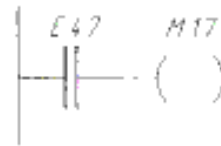


27: аварийный стоп

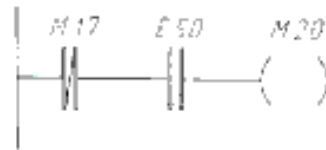


28: ГП движение вниз режим 1

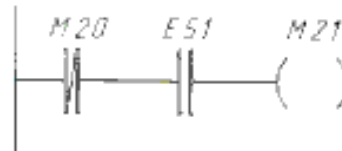
										Лист
										73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ					



29: ГП движение вниз режим 2



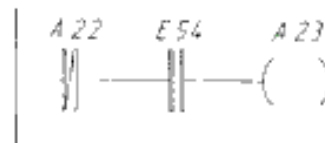
30: ГП движение вниз режим 3



31: ГП движение вниз режим 4, переход на пониженную скорость



32: аварийный стоп



Алгоритм:

$$\begin{aligned}X_{00} &= a_{00} \cdot a_{01} \cdot a_{02} \cdot a_{03} \cdot a_{10} \\X_{01} &= a_{04} \cdot a_{05} \cdot a_{06} \cdot a_{07} \\P_{00} &= a_{10} \\P_{01} &= P_{00} \cdot a_{12} \\P_{02} &= P_{01} \cdot a_{13} \\X_{02} &= P_{02} \cdot a_{14} \cdot a_{15} \\X_{03} &= P_{02} \cdot a_{14} \cdot a_{15} \\X_{04} &= X_{03} \cdot a_{16} \\P_{03} &= a_{17} \\P_{04} &= P_{03} \cdot a_{20} \\P_{05} &= P_{04} \cdot a_{21} \\X_{05} &= P_{05} \cdot a_{22} \cdot a_{23} \\X_{06} &= P_{05} \cdot a_{22} \cdot a_{23} \\X_{07} &= X_{06} \cdot a_{24} \\P_{06} &= a_{25} \\P_{07} &= P_{06} \cdot a_{26} \\P_{10} &= P_{07} \cdot a_{27} \\X_{10} &= P_{10} \cdot a_{30} \cdot a_{31} \\X_{11} &= P_{10} \cdot a_{30} \cdot a_{31} \\X_{12} &= X_{11} \cdot a_{32} \\P_{11} &= a_{33} \\P_{12} &= P_{11} \cdot a_{34} \\P_{13} &= P_{12} \cdot a_{35} \\X_{13} &= P_{13} \cdot a_{36} \cdot a_{37} \\X_{14} &= P_{13} \cdot a_{36} \cdot a_{37} \\X_{15} &= X_{14} \cdot a_{40} \\P_{14} &= a_{41} \\P_{15} &= P_{14} \cdot a_{42} \\P_{16} &= P_{15} \cdot a_{43} \\X_{16} &= P_{16} \cdot a_{44} \cdot a_{45} \\X_{17} &= P_{16} \cdot a_{44} \cdot a_{45} \\X_{20} &= X_{17} \cdot a_{46} \\P_{17} &= a_{47} \\P_{20} &= P_{17} \cdot a_{50} \\P_{21} &= P_{20} \cdot a_{51} \\X_{21} &= P_{21} \cdot a_{52} \cdot a_{53} \\X_{22} &= P_{21} \cdot a_{52} \cdot a_{53} \\X_{23} &= X_{22} \cdot a_{54}\end{aligned}$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		75

ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОМУ РАЗДЕЛУ

В четвертом разделе был выбран управляющий микроконтроллер, дано его описание. Также в разделе была представлена программа для микроконтроллера.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

5.1 Введение

В последнее время наметилась устойчивая тенденция к применению частотно регулируемых электроприводов мостовых кранов, как в России, так и за рубежом обеспечиваются частотно - регулируемым приводом плавные переходные процессы приводят к значительному снижению динамических нагрузок в элементах кинематической цепи привода, что позволяет повысить надежность и долговечность работы механического оборудования крана, отпадает необходимость замены редуктора, тормозных колодок и, электродвигателя.

Основной причиной широкого применения регулируемого привода на кранах является снижение энергопотребления при работе крана на 30-40%.

Таким образом, экономический эффект от внедрения частотно-регулируемого электропривода складывается из экономии электроэнергии и снижения эксплуатационных затрат.

Применение частотно - регулируемых преобразователей позволяет использовать односкоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общего применения.

Исходные данные для расчета и капитальные затраты по вариантам

Смета на приобретение нового оборудования представлена в таблице 5.1

									Лист
									77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

Стоимость электрооборудования

№	Наименование оборудования	Количество, шт.	Стоимость, руб.
1	2	3	4
1	<p>Шкаф ввода и привода перемещения моста в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - шкаф Rittal с монтажными панелями — 1 шт. - преобразователь Веспер на 22кВт - 1 шт. - предохранители, контакторы - элементы силового интерфейса (контакторы , автоматические выключатели, предохранители, реле) - интерфейс шкафа (источники питания, развязки, клемники и т.п.) 	1	437388,0
2	<p>Шкаф привода главного подъема, в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - шкаф Rittal с монтажными панелями - 1 шт. - преобразователь Веспер на 150кВт - 1шт. - предохранители, контакторы - элементы силового интерфейса (контакторы , автоматические выключатели, предохранители, реле) - интерфейс шкафа (источники питания, развязки, клемники и т.п.) 	1	497840,0

Продолжение табл. 5.1

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

1	2	3	4
3	<p>Шкаф привода перемещ. тележки + рекуператор, в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - шкаф Rittal с монтажными панелями - 1 шт. - преобразователь Веспер на 3.3кВт, - 1шт. - модуль рекуперации , - 1шт. - предохранители, контакторы - элементы силового интерфейса (контакторы , автоматические выключатели, предохранители, реле) - интерфейс шкафа (источники питания, развязки, клемники и т.п.) 	1	533400,0
4	<p>Оборудование кабины в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - кондиционер - 1 шт. - пульт-кресло с аппаратами управления - 1шт. - освещение кабины - сигнальная арматура - сенсорная панель оператора. - центральный процессор - модули ввода/вывода; - автоматические выключатели; 	1	853440,0

1	2	3	4
5.	Комплект радиоуправления в составе: - пульт с аппаратами управления -1 шт - зарядное устройство; - шкаф с контроллером (дешифратором);	1	337820,0
Продолжение табл. 5.1			
6	Общекрановое оборудование, в составе: - эл. двиг. главного подъема -75 кВт. со встроенными вентиляторами -1 шт. - эл. двиг. перемещения тележки - 18,5 кВт. со встроенным вентилятором и тормозом -1 шт. - эл. двиг. перемещ. моста - 22 кВт. со встроенными вентиляторами и тормозами - 1 шт. - тормоз на привод гл. подъема ТКГ-300, 2шт. -тормоз на привод вспом. подъема ТКГ-400, 2шт. - ограничитель грузоподъемности с функцией регистратора параметров (ОНК); - конечные выключатели для механизмов подъема - конечные выключатели для механизмов перемещения - ультразвуковые датчики (система противостолкновения кранов) - освещение подкрановое - освещение аварийное	1	3733800,0

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

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Лист

80

1	2	3	4
7	Неучтенные материалы, запасные части 15% от стоимости оборудования. Кабель.	1	640080,0
8	Проектные работы, промышленная экспертиза РД: электроприводы механизмов крана, система управления электроприводами	1	533400,0
9	Наладка и ввод в эксплуатацию Электрооборудование крана	1	853440,0
ИТОГО:			8420608,0

Капитальные вложения состоят из затрат на приобретение оборудования, материалов, комплектующих, транспортных расходов, затрат на установку и монтаж оборудования и комплектующих, а также расходов, связанных с внедрением мероприятия - демонтаж старого оборудования, переобучение персонала и т.д.

Ликвидационная стоимость демонтированного оборудования (реализация на сторону или по цене лома) из суммы капитальных вложений вычитается. В расчётах примем, что затраты на демонтаж оборудования равны ликвидационной стоимости.

Итого затраты:

$$Z_{\text{оп}} = 8420608 \text{ руб.}$$

5.3 Определение годового экономического эффекта

Экономический эффект может быть достигнут в результате:

- 1) снижения эксплуатационных издержек;
- 2) повышения объема выпуска продукции;
- 3) повышения качества продукции.

Для нахождения экономического эффекта от снижения эксплуатационных издержек рассчитываются наиболее существенно изменяющиеся в результате внедрения мероприятия статьи затрат на выпуск продукции. Это могут быть следующие статьи:

- затраты на энергетические ресурсы;
- амортизационные отчисления;
- затраты на ремонт.

Годовые эксплуатационные издержки определяются отдельно для каждого из двух вариантов - до внедрения мероприятия и после внедрения, затем сравниваются. Их разница и составляет годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных издержек.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					81	

5.3.1 Затраты на энергетические ресурсы

1) Расчет экономии за счет уменьшения потребления электроэнергии электрической части мостового крана.

По паспортным данным системы ПЧ-АД потребляют: Мощность двигателей после модернизации:

- а) Гл. подъем - 75 кВт.
 - б) Вс. подъем - 45 кВт.
 - в) Перемещение телеги - 18,5 кВт.
 - г) Перемещение моста - 4•22 кВт.
- Итого: $P_{м} = 226,5$

Мощность двигателей до модернизации:

- а) Гл. подъем - 120 кВт.
 - б) Вс. подъем - 55 кВт.
 - в) Перемещение телеги - 22 кВт.
 - г) Перемещение моста - 4•28 кВт.
- Итого: $P_{дм} = 309$ кВт

Затраты на потребленную электроэнергию за год составят:

Для системы АД с фазным ротором и блоком сопротивлений до модернизации

$$\mathcal{E}_{ЭС1} = 309 \cdot 2 \cdot 2070 \cdot 3,504 = 4482527 \text{ руб.},$$

где 2070 - годовой сменный фонд рабочего времени, час;

2 - число смен; 3,504 кВт/час - стоимость электроэнергии для предприятий.

Для системы ПЧ-АД после модернизации

$$\mathcal{E}_{ЭС2} = 226,5 \cdot 2 \cdot 2070 \cdot 3,504 = 3285735 \text{ руб.}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{ЭС} = \mathcal{E}_{ЭС1} - \mathcal{E}_{ЭС2}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{ЭС} = 4482527 - 3285735 = 1196791 \text{ руб.}$$

2) Расчет экономии за счет уменьшения потребляемой электроэнергии электрооборудования (без системы электропривода).

Суммарная потребляемая мощность электрооборудования крана: до модернизации $P1=30$ кВт; после модернизации $P2=22$ кВт.

Затраты составят:

до модернизации

$$\mathcal{E}_{С01} = 30 \cdot 2 \cdot 2070 \cdot 3,504 = 435196,8 \text{ руб.},$$

после модернизации

$$\mathcal{E}_{С02} = 22 \cdot 2 \cdot 2070 \cdot 3,504 = 319144,31 \text{ руб.}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{С0} = 435196,8 - 319144,31 = 116052,48 \text{ руб.}$$

3) Расчет экономии за счет повышения КПД крана.

Величина потерь составит:

до модернизации

$$\Delta \mathcal{E}_{01} = \mathcal{E}_{С01} - (\mathcal{E}_{С01} \cdot \eta_1),$$

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

$$\Delta C_{\text{РЕМ}} = 6,41 \cdot 8 - 5,06 \cdot 5 = 25,98 \text{ т.р.}$$

Модернизация станка позволит нам изготавливать технологически более сложную и точную продукцию, что ведёт к увеличению производительности крана.

По данным специалистов предприятия рост объёма производства на данном участке, где заработал кран, составил 48%. Тогда выручка до модернизации 1560 т.р., после - 2309 т.р.

По данным специалистов предприятия, рентабельность до модернизации составляла 9%, после - 22%.

$$П_1 = 1560 \cdot 0,09 = 140 \text{ т.р. } П_2 = 2309 \cdot 0,22 = 507 \text{ т.р.}$$

$$\Delta П = 507 - 140 = 367 \text{ т.р. где ,}$$

$П_1$ - прибыль до модернизации,

$П_2$ - прибыль после модернизации, $\Delta П$ - прирост прибыли.

5.3.4 Снижение заработной платы основных рабочих

До модернизации работали: двое основных рабочих и один обслуживающий инженер по наладке и испытаниям.

$$ЗП_C = C_ч \cdot K_{дн} \cdot K_{пр} \cdot K_{соц} \cdot n_p \cdot F_d \text{ , где}$$

$ЗП_C$ - заработная плата рабочего до модернизации;

$C_ч = 109,24$ - часовая ставка рабочего 4-го разряда;

$K_{дн} = 1,2$ - коэффициент дополнительных выплат;

$K_{пр} = 1,1$ - премии;

$K_{соц} = 1,34$ - коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды;

$n_p = 2$ - количество рабочих;

$F_d = 1860$ ч. - действительный годовой фонд рабочего времени (по нормативно-справочному материалу).

$$ЗП_C = 109,24 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,34 \cdot 2 \cdot 1860 = 718792,2 \text{ руб.}$$

$$ЗП_И = C_ч \cdot K_{дн} \cdot K_{пр} \cdot K_{соц} \cdot K_{об} \text{ , где}$$

$C_ч = 150$ р. - часовая ставка инженера;

$K_{дн} = 1,2$ - коэффициент дополнительных выплат;

$K_{пр} = 1,1$ - премии;

$K_{соц} = 1,34$ - коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды;

$F_d = 1860$ ч. - действительный годовой фонд рабочего времени (по нормативно-справочному материалу);

$K_{об} = 0,2$ - коэффициент обслуживания.

$$ЗП_И = 150 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,34 \cdot 1860 \cdot 0,2 = 98699,04 \text{ руб.}$$

$$ЗП_I = ЗП_C + ЗП_И$$

$$ЗП_I = 718792,2 + 98699,04 = 817491,3 \text{ руб. где}$$

$ЗП_I$ - зарплата до модернизации основных рабочих.

После модернизации будут работать только два специалиста, с более высоким разрядом, причём они одновременно могут обслуживать несколько кранов.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

$$ЗП_{и} = Сч \cdot K_{оп} \cdot K_{цр} \cdot K_{соц} \cdot n_p \cdot F_d \cdot K_{об}, \text{ где}$$

ЗП_с - заработная плата рабочего до модернизации;

С_ч=116,78 р. - часовая ставка рабочего 6-го разряда;

K_{цр}=1,2 - коэффициент дополнительных выплат; K_{пр}=1,1 - премии;

K_{соц}=1,34 - коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды;

n_p=2 - количество рабочих;

F_d=1860 ч. - действительный годовой фонд рабочего времени (по нормативно-справочному материалу);

K_{об}=0,4 - коэффициент обслуживания.

$$ЗП_{с} = 116,78 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,34 \cdot 2 \cdot 1860 \cdot 0,4 = 307361,97 \text{ руб.}$$

после модернизации основных рабочих.

$$\Delta ЗП = ЗП_1 - ЗП_2$$

$$\Delta ЗП = 817491,3 - 307361,97 = 510129,32 \text{ руб.}$$

5.3.5 Определение срока окупаемости

Итого экономический эффект:

$$\Delta Э_{эф} = \Delta Э_{сс} + \Delta Э_{со} + \Delta Пот + \Delta П + \Delta ЗП - Э_{амор}$$

$$\Delta Э_{эф} = 1425413 + 116052 + 112570,89 + 367000 + 510129,32 - 323351,34 = 285451$$

руб

Срок окупаемости проекта:

$$C_{ок} = \frac{З_{доп}}{\Delta Э_{эф}} = \frac{8420608}{285451} = 2,9 \text{ г.}$$

Полученные данные сведём в таблицу 5.2

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		85

Технико-экономических показатели

Показатель	Единицы измерения	Значение	
		1-й вариант	2-й вариант
Капитальные затраты			
Стоимость оборудования	руб.	3285735,0	4482527,0
Транспортные расходы	руб.	11050,0	13400,0
Затраты на монтаж и наладку	руб.	853400,0	853400,0
Итого		4150185,0	5349327,0
Эксплуатационные расходы			
Амортизационные отчисления	руб.	323351,0	360200,0
Затраты на ремонт и обслуживание	руб.	307362,0	817491,0
Итого		630712,0	1177691,0
Годовая экономия по эксплуатационным расходам	руб.	1199142,0	
Экономия по капитальным затратам	руб.	902042,0	

ВЫВОДЫ ПО ПЯТОМУ РАЗДЕЛУ

1) Внедрение частотно - регулируемого электропривода позволяет:

- Значительно на 30 - 50 % снизить энергопотребление на кранах;
- Сократить затраты на дополнительное оборудование
- Улучшить условия эксплуатации
- Исключить динамические нагрузки

2) Поскольку, при установке частотно - регулируемого электропривода капитальные вложения меньше и меньше энергопотребление по сравнению с нерегулируемым электроприводом то выбор этого варианта является очевидным.

3) Срок окупаемости составляет приблизительно 2,9 года, что ниже норматива предприятия (6 лет).

Не менее важную роль в снижении издержек занимает сокращение расхода энергии, что достигается за счёт экономии электрической энергии и повышения КПД. Также значительный экономический эффект дает и снижение заработной платы основных рабочих вследствие повышения автоматизации процесса

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Введение

Конституция Российской Федерации (ст. 2) рассматривает человека, его права и свободы в качестве высшей ценности. Тем самым она декларирует свое понимание взаимоотношений государства и личности, выдвигая на передний план именно личность. Уважение к личности и ее защита являются неотъемлемым атрибутом конституционного государства, его обязанностью. «Признание, соблюдение и защита прав и свобод человека и гражданина, – указывается в ст. 2, – обязанность государства».

Установленные Конституцией принципиальные положения, связанные с отношением государства к человеку, служат предпосылкой решения всех конкретных проблем правового регулирования статуса человека и гражданина в Российской Федерации. Таким образом, признание человека, его прав и свобод высшей ценностью является фундаментальной нормой конституционного строя Российской Федерации, образующей основу не только конституционно организованного общества, но и правовой защиты этого общества от возрождения попыток подавления личности, ущемления ее прав, игнорирования индивидуальных интересов и потребностей людей.

Государственное управление охраной труда заключается в реализации основных направлений государственной политики в области охраны труда, разработке законов и иных нормативных правовых актов в этой области, а также требований к средствам производства, технологиям и организации труда, гарантирующим работникам здоровье и безопасные условия труда.

Государственное управление промышленной безопасностью заключается в реализации основных направлений государственной политики в области промышленной безопасности, разработке законов и иных нормативных правовых актов в этой области, а также требований промышленной безопасности к опасным производственным объектам.

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) — наука о комфортном и безопасном взаимодействии человека с техносферой, представляет собой область научных знаний, изучающая опасности угрожающие человеку и разрабатывающие способы защиты от них в любых условиях обитания человека. Задачи БЖД:

- идентификация опасности распознавание и количественная оценка негативных воздействий среды обитания;
- предупреждение воздействия тех или иных негативных факторов на человека;
- защита от опасности;
- ликвидация отрицательных последствий воздействия опасных и вредных факторов;
- создание нормального, то есть комфортного состояния среды обитания человека.

Учебная дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) — обязательная общепрофессиональная дисциплина, в которой рассмотрены основы

									Лист
									88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

безопасного взаимодействия человека со средой обитания (производственной, бытовой, городской, природной) и основы защиты от негативных факторов в опасных и чрезвычайно опасных ситуациях. Изучение дисциплины формирует у специалиста представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности и отдыха с требованиями к безопасности техники и защищенности человека. Реализация этих требований гарантирует сохранение работоспособности и здоровья человека, готовит его к действиям в экстремальных условиях.

Безопасность жизнедеятельности на производстве – это совокупность многих правил и норм, созданных для обеспечения защиты жизни и сохранения здоровья человека. При приеме на работу будущий сотрудник обязательно должен пройти инструктаж по технике безопасности. Руководители предприятий и их подразделений осуществляют четкий контроль над своевременными инструктажами. Обязательно ведут журнал, где ставят подписи все работники, которые прошли инструктаж.

Безопасный микроклимат на производстве обеспечивает оптимальная температура, влажность и скорость движения воздуха. На некоторых предприятиях контролируют также атмосферное давление, уровень шума, освещение, вентиляцию, вибрацию, уровень загрязнения воздуха. По правилам техники безопасности у каждого работника должна быть спецодежда, головной убор, перчатки, другие средства индивидуальной защиты.

Строгое выполнение норм техники безопасности обеспечивает защиту сотрудника от опасностей и рисков, которые могут возникнуть на работе. Безопасность жизнедеятельности на производстве была создана, чтобы обеспечить правильную среду обитания на рабочем месте, и не навредить деятельности и здоровью человека.

6.1.2 Краткая характеристика модернизируемого объекта

Мостовой кран - это грузоподъемный механизм, представляющий собой электрическую таль (электролебедку) подвешенную к стальной конструкции, двигающейся по направляющим в двух направлениях.

Мостовой кран обеспечивает подъем грузов с площадки, расположенной между основными опорами крана. При этом благодаря свободному перемещению в двух перпендикулярных направлениях, груз легко доступен из любой точки. В зависимости от типа крепления крана выделяют два основных вида мостовых кранов[^]

- Опорные. Крановый мост-балка, опирается на подкрановые пути. Наиболее распространенный тип мостового крана. Отличается увеличенной грузоподъемностью.

- Подвесные. Крановый мост-балка подвешен к направляющим. Основным достоинством является экономия высоты цеха, и общая стоимость конструкции.

Применительно к мостовому крану будут рассматриваться вопросы безопасности и экологичности проекта. Особое внимание уделим рабочему месту оператора и машинному отделению - местами, где вероятность производственного травматизма наиболее велика.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

6.2 Безопасность труда

6.2.1 Идентификация опасных и вредных факторов производства

Обеспечение безопасности человека в процессе труда – сложная инженерная и организационная задача, которая, безусловно, зависит от конкретных обстоятельств и условий того или иного производства. Вместе с тем технические основы управления безопасностью условий труда достаточно типичны и состоят в идентификации (распознавании) опасных и вредных производственных факторов, оценке рисков, включая их анализ и управление ими.

Разнообразие опасных и вредных производственных факторов допускает самые различные их классификации, которые на практике используются для идентификации опасных и вредных производственных факторов и связанных с ними рисков с целью последующей организации защиты от наиболее часто встречающихся (высокий вероятностный риск) и приносящих наибольший ущерб (высокий стоимостный риск) факторов.

При идентификации опасных и вредных производственных факторов по характеру воздействия на организм их разделяют на два основных вида:

а) опасные факторы, связанные с воздействием импульсного характера, последствием которого является практически мгновенное травмирование человека. Условиями проявления опасного фактора и травмирования работника являются:

- наличие материального носителя энергии с определенной пороговой мощностью, достаточной для травмирования человека, либо наличие условий, когда этим носителем становится само тело человека (при падении);
- отсутствие, отказ или неэффективность защитных средств;
- возможность совмещения зоны действия опасного фактора с местонахождением работника;

б) вредные факторы, связанные с воздействием кумулятивного характера на протяжении более или менее длительного периода времени; результатом накопления в организме неблагоприятных последствий от воздействия вредных факторов становится переутомление или заболевание. Условием проявления вредного фактора и заболевания работника служат:

- наличие материального носителя вредности с определенной пороговой мощностью (концентрацией, интенсивностью), достаточной для преодоления порогового уровня защитных сил организма;
- отсутствие, отказ или неэффективность защитных средств;
- возможность длительного пребывания человека в зоне действия вредного фактора, достаточного для накопления в организме пороговой дозы необратимого изменения (путем кумуляции микроизменений) в организме.

К вредным факторам, оказывающим воздействие на оператора мостового крана относятся: шум, недостаточная освещенность, вибрация, повышенная запыленность и загазованность, повышенная температура или резкие колебания температуры окружающей среды (от минусовой до +60-70 °С), высокая влажность

									Лист
									90
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

(до 80-90%), влияние химических реагентов. К опасным относятся сам мостовой кран, как подъемно-транспортная машина, электрооборудование мостового крана. Остановимся на некоторых факторах подробнее.

6.2.2 Шум.

Шум - беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. Первоначально слово шум относилось исключительно к звуковым колебаниям, однако в современной науке оно было распространено и на другие виды колебаний (радио-, электричество).

Защита от производственного шума имеет большое значение. Шум вызывает психические и физиологические нарушения, воздействуя на организм человека, снижает работоспособность и создает предпосылки к возникновению заболеваний и производственного травматизма. Сильный продолжительный шум может стать причиной функциональных изменений сердечнососудистой и нервной систем, также может привести к ухудшению слуха и к глухоте. Воздействуя на кору головного мозга, шум оказывает раздражающее действие, ускоряет процесс утомления, ослабляет внимание, замедляет скорость реакции.

Предельно допустимые величины шума (ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ), которые при ежедневном систематическом воздействии на человека в течение всего дня и в течение многих лет не вызывают существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной деятельности. В табл. 29 приведены допустимые уровни шума на рабочем месте.

Основой нормирования шума является ограничение звуковой энергии, воздействующей на человека в течение рабочей смены безопасными для его здоровья и работоспособности. Так как машинное помещение является рабочим местом оператора мостового крана, то в нашем случае нормирование производится по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Таблица 6.1

Нормативные значения уровня шума (ГОСТ 12.1.003-88)

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.								Уровни звука и эквивалентные уровни звука,
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения управлений, рабочие	79	70	68	58	55	52	50	49	60

Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственном помещении	99	92	85	83	80	78	76	74	85
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

По требованиям к электроприводу уровень звукового давления в кабине крановщика не должен превышать 50 дБ. По сравнению с рабочим местом, для которого при среднегеометрической частоте 4000 Гц (частота коммутации преобразователя частоты) звуковое давление может составлять 76 дБ показатель 50 дБ довольно высокий.

Источником шума в нашем случае будет являться приводной двигатель, питаемый от преобразователя частоты и редуктор. Причем за счет использования широтно-импульсной модуляции выходного напряжения значения звукового давления от работающего двигателя увеличивается с 46 до 69 дБ при частоте коммутации 4 кГц.

Снижение уровня шума до значений ниже допустимых нормами достигается различными методами.

Уменьшение шума в самих машинах и аппаратах предусматривается при их конструировании. Это достигается, в частности, заменой ударных взаимодействий механизмов безударными; заменой возвратно-поступательных движений рабочих органов вращательными; созданием обтекаемых воздушными струями форм деталей; заменой стальных шестерен передач текстолитовыми, капроновыми и др. Важную роль в подавлении шумов играют балансировка вращающихся деталей, уменьшение зазоров в зацеплениях механических передач, применение соответствующей смазки.

Шум, создаваемый электромагнитными аппаратами, можно снизить сжатием накетов стальных сердечников, закреплением деталей в магнитной цепи с воздушными зазорами (например, у реле, контакторов и др.). У коллекторов электрических машин шум, создаваемый щетками, снижается чистотой обработки коллектора.

Шум от прямых передач в соединении валов машин и механизмов снижается при использовании эластичных прокладок между частями соединительных муфт.

Аэродинамический шум, создаваемый выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, снижается с помощью специальных глушителей, в которых осуществляется дробление газового потока.

Непосредственно на производстве снижение уровня шума достигается путем правильной технической эксплуатации электрического и механического оборудования, своевременного и качественного проведения профилактических ремонтов, а также применением звукопоглощающих устройств (капоты, закрывающие механизмы, боксы, звукоотражающие экраны, звукопоглощающие облицовки стен и др.).

Для защиты рабочего от прямого воздействия звуковой энергии на пути распространения звуковых волн устанавливаются отражающие экраны, которые

					140400.2016.136.00.00.ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			92

весьма эффективны при защите от высокочастотных составляющих спектра шума. Звукопоглощающие облицовки из волокнистых материалов позволяют снизить уровень шума в помещениях на 8-12 дБ, причем большее снижение происходит на высоких частотах.

При передаче шума по вентиляционным каналам и другим воздуховодам рекомендуется в качестве глушителей применять облицовки из звукопоглощающих материалов или устанавливать пластинчатые глушители, в которых происходит разделение воздушных потоков.

В качестве индивидуальной защиты рабочих от шума применяют вкладыши из ваты, пропитанной воском или глицерином, или пробочки из губчатой резины, закладываемые в наружное отверстие уха, и специальные противошумы, плотно закрывающие ухо.

6.2.3 Освещенность

Неудовлетворительное количество или качество освещения не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Плохо освещенные зоны ухудшают видимость что может привести к повышенному травматизму и несчастным случаям.

Большое значение имеет освещенность. Расчет искусственного освещения производится методом коэффициента использования светового потока, так как освещение рабочего места происходит не только за счет светового потока, падающего от светильника, но и за счет светового потока, отраженного от стен и элементов оборудования (пост приказов в кабине крановщика). Этот метод дает возможность найти световой поток при заданной освещенности.

Согласно нормам искусственного освещения по ГОСТ 12.1.046-85 , нормируемая освещенность в кабине крановщика должна составлять:

- 150 лк - при лампах накаливания,
- 300 лк - при люминесцентных лампах,

Согласно нормам искусственного освещения по ГОСТ 12.1.046-85 , нормируемая освещенность в машинном зале (при постоянном пребывании людей) должна составлять:

- 50 лк - при лампах накаливания,
- 100 лк - при люминесцентных лампах, Коэффициент пульсации - не более 20%.

Освещенность в кабине крановщика составляет 200 лк при использовании ламп накаливания, что полностью соответствует нормам.

6.2.4 Вибрация

Вибрация — это физический фактор, действие которого определяется передачей человеку механической энергии от источника колебаний; основными характеристиками вибрации являются амплитуда смещения, скорость и ускорение.

Основные виды вибрации:

Общепринятым является деление вибраций на общие и местные.

Общая вибрация -- это колебание всего тела, передающееся с рабочего места.

Локальная вибрация (местная вибрация) — это приложение колебаний

						140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			93

только к ограниченному участку поверхности организма.

На производстве распространены оба вида вибрации: локальная — через руки (чаще всего при работе с ручными машинами), общая (по всему телу) — при положении сидя или стоя на рабочем месте (у машины и технологического оборудования). Все виды вибрации, действующие на производстве, объединяются термином «производственная вибрация».

Вибрация рабочих мест технологического оборудования имеет средне- и высокочастотный характер спектров с максимумом интенсивности в октавах 20—63 Гц.

При длительном воздействии общей вибрации возможны механические повреждения тканей, органов и различных систем организма (особенно при возникновении резонанса собственных колебаний тела и внешних воздействий). Вот почему механическое воздействие вибрацией часто ведет к возникновению многообразных патологических реакций у водителей грузовых машин, трактористов, летчиков и т. д.

Действие вибрации на вестибулярный аппарат приводит к возникновению разнообразных вестибулосоматических и вестибуловегетативных реакций. Воздействие на зрение, особенно на резонансных частотах 20—40 и 60—90 Гц, увеличивает амплитуду колебаний глазного яблока и ухудшает остроту зрения, снижает цветовую чувствительность, суживает границы поля зрения.

Источником вибрации является двигатель. Особенно вибрация ощущается при пуско-тормозных режимах работы электропривода крана. При работе электродвигателя и приводимой им лебедки возникают низкочастотные вибрации, вызванные инерционными силами, силами трения, периодическими нагрузками.

Согласно ГОСТ 12.1.012-90 уровень вибрации на рабочем месте не превышает предельно-допустимых норм (75дБ на частотах 16, 31,5 и 63 Гц).

Вибрация определяется по формуле

$$L = 20 \lg \frac{v \text{ м/с}}{5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}} \text{ дБ},$$

где $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$ соответствует величине действующей колебательной скорости при стандартном пороге звукового фона и частоте 1000 Гц.

Защита от вибрации осуществляется прежде всего совершенствованием кинематики механизмов.

Для ограничения распространения вибрации по материалу жестких конструкций рекомендуется применять изолирующие упругие прокладки (резина, войлок) или пружины, на которые опирается вибрирующий механизм или его узел.

В качестве индивидуальной защиты от вибраций, передаваемых человеку через ноги, рекомендуется носить обувь на войлочной или толстой резиновой подошве. Для защиты рук рекомендуется виброгасящие перчатки.

6.2.5 Микроклимат

Разработка новых технологических средств контроля и регуляции воздушной среды в производственных помещениях обусловлена необходимостью повышения требований к качеству условий работы. В благоприятной для самочувствия и здоровья в целом среде люди эффективнее справляются со своими

									Лист
									94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.136.00.00.ПЗ				

обязанностями, что напрямую отражается на объемах производства. На данный момент ключевые факторы обеспечения чистого воздуха базируются на использовании устройств кондиционирования и промышленной вентиляции. Центральное же место в контексте рассмотрения проблем создания оптимальных условий для работы в помещениях занимает микроклимат – это совокупность показателей климата среды внутри производственного объекта. То есть можно выделить два аспекта, важных с точки зрения сохранения оптимального качества воздуха в помещении, – это микроклимат и его параметры.

В современных регламентах, предусмотренных для организации производственных процессов, немало внимания уделяется безопасности рабочих. На фоне усложнения технологий изготовления, переработки и утилизации на предприятиях возникает и потребность в соответствующей защите людей. В плане определения концепции защиты персонала наибольшее значение имеет именно микроклимат – это совокупность параметров воздушной среды, на основе которых определяются допустимые и оптимальные величины температуры, влажности, теплового облучения и других характеристик. В дальнейшем они становятся отправной точкой для выработки стратегии создания комфортных условий для плодотворной работы людей на предприятии.

Формирование микроклимата происходит под действием нескольких факторов, определяющих и значения его параметров. В течение дня их показатели могут меняться, а на отдельных участках и вовсе различаться в одно и то же время. В список основных факторов, определяющих параметры микроклимата, входят следующие: климатический пояс и время года; размеры цехов, помещений, отделов; условия и характеристики воздухообмена; техническое обеспечение производственного процесса; количество сотрудников.

ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» устанавливает ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

В таблице 6.2 приведены нормы микроклиматических условий и фактические данные. Нормативные значения показателей взяты из таких документов, как Р2.2.775-99, СанПиН 2.2.4.548-96, СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

						140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			95

Показатели микроклимата в рабочей зоне (факт/план)

Профессия	Категория тяжести работы	Показатели условий труда в рабочей зоне, факт/норма							Освещение, лк	Вредные вещества на рабочем месте
		Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/с		Теплоизлучение, Вт/м ²		
		Холодный период	Теплый период	Холодный период	Теплый период	Холодный период	Теплый период			
1	2	3	4	5	6	7	8			
Наладчик крана (механик)	Средней тяжести	18-19/ 18-20	22/ 21-23	40-60/ 40-60	40-60/ 40-60	0,2/ 0,2	0,2/ 0,3	Незначит. Излуч. электродвигателей	50/30	Отсутствуют вредные выбросы
Наладчик крана (электромонтер)		18-19/ 18-20	22/ 21-23	40-60/ 40-60	40-60/ 40-60	0,2/ 0,2	0,2/ 0,3			
Профессия	Концентрация вредного вещества, мг/м ³	Энергетическое воздействие на среду		Уровень энергетического воздействия		Площадь, приходящаяся на одного работающего, м ²		Объем помещения на одного работающего, м ³	Класс условий труда	Примечание
	9	10	11	12	13	14	15			
Наладчик крана (механик)	Отсутствуют вредные выбросы	Излучение от электродвигателя		Незначительное		42			2(Допустимый)/0	
Наладчик крана (электромонтер)						42				

6.3 Электробезопасность

Электробезопасность — совокупность методов и технических средств для предотвращения электротравматизма людей. При непосредственном воздействии электрического тока или электрической дуги на человека возможны повреждения (электротравмы), которые в зависимости от их тяжести могут привести к временной потере трудоспособности, инвалидности и даже гибели (электропоражению). В производственной обстановке возникает электроопасность, т. е. такая совокупность обстоятельств (опасная ситуация), которая может приводить к появлению электротравм. Тяжесть электротравмы зависит от параметров тока, длительности его воздействия. У людей с повышенной чувствительностью первое ощущение появляется уже при токе силой 0,6 мА, который является первым критерием электробезопасности, или порогом неощущения. При токе силой ок. 1,5 мА это ощущение испытывает практически каждый человек. При возрастании силы тока появляются лёгкие судороги в предплечье. При токе силой 4—6 мА судороги распространяются на часть руки от локтевого до плечевого сустава, одновременно возникает боль во всей руке, и пальцы руки непроизвольно начинают сжимать электрод. Дальнейшее увеличение силы тока приводит к тому, что человек не в состоянии разжать руку и освободиться от электрода (т. и. эффект неотпускания). Такое состояние наступает у некоторых людей при токе силой 6 мА, являющемся вторым критерием Э., или порогом неотпускания. При больших значениях силы тока начинаются судороги грудной мускулатуры, которые при токе силой 40—60 мА и времени воздействия 1—2 с вызывают обморочное состояние. Если время воздействия тока такой силы более 2 с, наступает паралич дыхания. Переменный ток силой ок. 100 мА вызывает фибрилляцию сердца (для восстановления ритмичных сокращений сердца необходим дефибриллятор). При пороговом значении силы фибрилляционного тока наступает третий критерий электробезопасности, который зависит от времени воздействия. При длительности воздействия 1 с сила этого тока принята равной 70 мА, при длительности 0,1 с — ок. 700 мА. Переменный ток напряжение 450—500 В опаснее постоянного, а при более высоком напряжении постоянный ток опаснее переменного. Протекание тока через тело человека вызывается напряжением прикосновения, обусловлено активно-ёмкостным сопротивлением тела человека.

Значения предельно допустимого тока представлены в таблице 6.3.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						97

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Электропроводка выполнена изолированными проводами. Кабели и шланги токопровода размещены и укреплены таким образом, чтобы при движении тележки исключалась возможность их зацепления за находящиеся в цехе конструкции и их механического повреждения. Сечение жил кабелей и проводов не менее 1,5 мм для медных жил и 2,5 мм для алюминиевых жил. Для защиты электродвигателя крана от короткого замыкания применены автоматические выключатели с электромагнитными и тепловыми расцепителями. Цепи управления, освещения и сигнализации крана имеют защиту от коротких замыканий.

6.3.1 Расчёт заземления

Расчет защитного заземления выполняется в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». Норма на сопротивление заземляющего устройства для сети напряжением до 1000В принимается $R \leq 4$ Ом. Заземлитель выполнен в виде вертикальных труб, погруженных в грунт и соединенных между собой стальной полосой.

Сопротивление одного вертикального трубчатого заземлителя определяется по формуле:

$$R_r = \frac{P_{\text{грунта}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln\left(\frac{2l}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot H + l}{5 \cdot H - l}\right) \right) = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot 2}{0,05}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 1,7 + 2}{5 \cdot 1,7 - 2}\right) \right) = 43,4 \text{ Ом}$$

где $P_{\text{грунта}}$ - удельное электрическое сопротивление грунта, $P_{\text{грунта}} = 120$ Ом·м, d - диаметр трубы, $d = 0,05$ м

H - глубина заложения трубы, $H = 1,7$ м

Сопротивление полосы, соединяющей трубы:

$$R_n = \frac{P_{\text{грунта}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{2l_n^2}{bH_0}\right) = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 2^2}{0,05 \cdot 0,6}\right) = 53,4 \text{ Ом}$$

Где l_n - длина полосы, $l_n = 2$ м

H_0 - ширина полосы, $H_0 = 0,6$ м

b - толщина полосы, $b = 0,05$ м

Сопротивление заземляющего контура:

$$R_z = \frac{1}{\frac{h_1}{R_n} + \frac{h_2 \cdot n}{R_r}} = \frac{1}{\frac{0,68}{53,4} + \frac{0,57 \cdot 20}{43,4}} = 3,6 \text{ Ом}$$

Где n - количество вертикальных заземлителей, $n = 20$ шт.

h_1 - коэффициент, учитывающий экранирование вертикальных заземлителей $h_1 = 0,68$

h_2 - коэффициент, учитывающий экранирование вертикальных и продольных заземлителей, $h_2 = 0,57$

$R_z = 3,6 < 4$ Ом

Сопротивление такой величины удовлетворяет требованиям, предъявляемым к заземлениями электроустановки.

				Лист	
				140400.2016.136.00.00.ПЗ	
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	99

6.3.2 Обеспечение безопасности труда

В качестве приводных двигателей для всех механизмов крана используют двигатели, специально предназначенные для данных условий работы.

Это двигатели серии «Д» (краново - металлургические) и серии «П» (общепромышленные). Они рассчитаны на эксплуатацию в условиях повышенной температуры окружающей среды, влажности.

В установке двигателей и их эксплуатации предъявляются следующие требования:

- двигатели должны быть ограждены перилами высотой не менее 1м;
- двигатели устанавливаются таким образом, чтобы они были доступны осмотра и ремонта;
- перед вводом в эксплуатацию должны быть проведены приёмно-сдаточные испытания двигателей в соответствии с ПУЭ;
- проверка сопротивления изоляции производится мегомметром на напряжение 500В, 1000В (изоляция считается удовлетворительной, если её сопротивление превышает 5 МОм);
- проверяется работа двигателя на холостом ходу в течение часа.
- производятся испытания изоляции напряжением повышенной частоты в течение 1 мин;
- с периодичностью не реже одного раза в год и после ремонта электродвигателей их рекомендуется подвергать профилактическим испытаниям в следующем объёме: измерение сопротивления изоляции, испытание повышенным напряжением (изоляции), проверка состояния коллекторных пластин и щёток;
- для обеспечения безопасности людей, обслуживающих электродвигатели, корпуса последних должны быть заземлены (сопротивление заземления не более 4 Ом);
- в системах автоматического управления электроприводами предусмотрены следующие мероприятия: защита от развития аварийных процессов при исчезновении напряжения собственных нужд; защита при исчезновении силового напряжения; автоматическое защитное отключение преобразователя при коротких замыканиях в цепи нагрузки и при значительных перегрузках двигателей; защитное отключение при нарушении изоляции элементов силовой цепи;
- для обеспечения эксплуатации и поиска неисправностей, электроприводы должны быть снабжены аварийной и предупредительной сигнализацией;
- необходимо наличие пожарной сигнализации;
- оборудование, находящиеся в непосредственной близости с постом управления, должно быть снабжено углекислотными огнетушителем типа ОУ -2,
- необходимо наличие свободных путей эвакуации рабочего персонала.

В цехе должны обеспечиваться метеорологические условия и воздушная среда, соответствующие гигиеническим требованиям. Для этих целей предусматривается вентиляция. Оборудование цеха работает автоматически и

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

требует вмешательство человека только во время ремонтов и профилактических осмотров. В связи с этим постоянные рабочие места в цехе отсутствуют. Поэтому, требования к микроклимату цеха предъявляются менее жесткие, чем при наличии постоянных рабочих мест.

Основным видом вентиляции в цехах является аэрация. Она обеспечивает соответствие состояния воздуха требованиям норм документов (СНиП 245 - 71 и ГОСТ 121005 - 88).

Аэрация как вид естественной и управляемой системы вентиляции применима лишь в условиях значительных тепловыделений и наличия определенных конструктивных особенностей здания. Она используется для проветривания горячих цехов прежде всего в металлургической и машиностроительной промышленности (меньше — в других отраслях) и служит для удаления как избыточного тепла, так и газо-выделений, которые с токами нагретого воздуха поднимаются из рабочей зоны вверх и удаляются из помещения.

Аэрация является экономичным видом вентиляции, так как она не требует затрат электроэнергии в процессе эксплуатации. Другим ее преимуществом является возможность подачи в цех больших количеств свежего воздуха, измеряемых миллионами кубических метров в час. К недостаткам аэрации относится отсутствие возможности очистки удаляемого воздуха, что является причиной загрязнения атмосферы заводской площадки и воздушного бассейна вблизи предприятий. Аэрация как система вентиляции требует к себе систематического внимания инженерно-технических работников, так как на практике при быстро изменяющихся метеорологических условиях и отсутствии должного внимания нередко случаи ее неудовлетворительной эксплуатации.

Для наблюдения за технологическим процессом и работой оборудования в цехе предусмотрена кабина с пультом управления. В ней сосредоточена важнейшая производственная информация. Работа оператора требует повышенного внимания, быстроты реакции. Он должен принимать оптимальные решения. В связи с этим условия работы оператора должны быть наиболее благоприятные. Поэтому, в кабине управления предусмотрено комфортное кондиционирование, с помощью которого поддерживаются определённые параметры воздушной среды:

температура окружающего воздуха (20-23)°С;

относительная влажность воздуха (30-60)%;

скорость движения воздуха (0,2-0,5)м/с.

В состав кондиционирования входят: оборудование для обработки воздуха, его перемещения и распределения; источники тепло - и хладоснабжения; средства автоматического регулирования.

В связи с этим система кондиционирования является самым дорогим способом вентиляции. Но, несмотря на её высокую стоимость, применение такой системы в кабине оператора экономически оправдано, т.к. работа оператора в не отвечающих требованиям условиях принесёт больший ущерб, чем затраты на установку кондиционера.

						140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			101

6.3.3 Риск

Риск – это темп проявления опасностей определенного класса. Риск определяется либо как частота (здесь размерность - обратное время), либо как вероятность наступления одного события при возникновении другого события (безразмерная величина, которая лежит в пределах от 0 до 1 единиц).

Оценка риска – это процедура нахождения социального и индивидуального риска для конкретного предприятия промышленного типа.

Индивидуальный риск – это риск возникновения поражающих воздействий определенного типа, которые возникают в определенной точке пространства при реализации определенных опасностей (там, где находится индивидуум). Обычно характеризует распределение риска между персонами.

Социальный риск – это зависимость риска (точнее частоты возникновения событий), которая состоит в поражении не менее, чем определенного количества человек, подвергаемых поражающим воздействиям при реализации некоторого типа опасностей, от этого числа людей. Как правило, характеризует масштаб катастрофичности опасности для людей.

Уровень травматизма можно рассчитать по формуле:

$$R = \frac{C_n}{N_p},$$

где R – риск,

C_n – число несчастных случаев на предприятии за год,

N_p – число работников на предприятии.

Для рассматриваемого проекта примем C_n=0; N_p=4

$$R=0/4=0.$$

Считается, что приемлемый уровень риска в России составляет R_{пр}=1*10⁻⁴. Таким образом, уровень травматизма не превышает норму.

Уровень заболеваемости 63%, из которых 52% приходится на ОРВИ.

Считается, что уровень 200-400% является приемлемым, что свидетельствует о благоприятной санитарно-эпидемиологической ситуации на предприятии.

6.3.4 Интенсивность труда

Интенсивность труда имеет значение соответствующее нормальной средней интенсивности, и не требует соответствующего учета в оплате труда.

6.4 Чрезвычайные ситуации

6.4.1 Чрезвычайная ситуация – это совокупность событий, которые влекут за собой реализацию опасностей в районе чрезвычайной ситуации для жизни и здоровья людей и материальных ценностей; нарушению нормального жизнеобеспечения, нарушению экономической деятельности, функционирования связи и систем управления, а также равновесия в экологии; обуславливает необходимость использования внешних средств и сил по отношению к области чрезвычайной ситуации.

Действия в чрезвычайной ситуации – это комплекс мероприятий, заранее

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

планируемых и проводимых в зоне чрезвычайной ситуации, а так же вне ее, направленных на подавление возникших полей поражающих факторов и на ликвидацию их последствий. В комплекс действий в чрезвычайной ситуации входят такие мероприятия, как аварийно-восстановительные и спасательно- неотложные работы, мероприятия, направленные на восстановление нормальной жизнедеятельности в зоне поражения, включая восстановление систем жизнеобеспечения и локализацию экологических последствий, охрану общественного порядка,

Способы защиты персонала от сейсмической активности:

- повышение качества проектирования объектов для сейсмологических зон с учетом СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» и СНиП-2.01.51-90 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;

- ведение в сейсмических зонах сейсмостойкого строительства, повышение качества строительства, соблюдение строительных норм и правил, исключение брака;

- выявления их сейсмостойкости и соответствия сейсмичности площадок, на которых размещены эти объекты;

- проведение специальных работ по повышению сейсмостойкости (укреплению) зданий и сооружений, разборке (демонтажу) недостаточно стойких строений и конструкций; проведение учебных мероприятий.

- Радиационная защита:

- Эвакуация населения

- Создание защищенных от радиации убежищ

- Приобретение средств радиационной защиты

- Обучение персонала пользованию средствами противорадиационной защиты

- Проведение периодических учений персонала

- Защита при грозе:

- Для уменьшения вероятности поражения молнией тело человека должно иметь как можно меньше контактов с землей. Наиболее безопасной позой считается следующая: присесть, ступни поставить вместе, опустить голову и грудь на колени и предплечья, руками обхватить колени.

- Можно сесть или встать на изоляционный материал: бревно, доску, камень, палатку, спальный мешок, веревку, рюкзак. Не нужно располагаться во время грозы рядом с железобетонным полотном, у водоема, у высотного объекта без молниеотвода.

- Не нужно касаться головой, спиной или другими частями тела поверхности скал, стволов деревьев, металлических конструкций.

- В зоне относительной безопасности нужно занять сухое место на расстоянии 1,5 – 2 метра от высоких объектов: дерево, скал, опор ЛЭП.

- Не нужно находиться рядом с включенными электроприборами, проводкой, металлическими предметами, не нужно касаться их руками, не нужно располагаться вблизи молниезащитного заземления.

- Участки земли, куда попала молния, или переждите несколько минут,

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

нужно обходить, когда электричество рассеется.

- Во время грозы нужно стараться сохранять одежду и тело сухой.
- Незамедлительно нужно вызвать пожарных и спасателей в случае возникновения пожара от удара молнии, постарайтесь ликвидировать его своими силами.
- Необходимо помощь пострадавшим.
- Большинство чрезвычайных ситуаций возникают по следующим причинам:
 - из-за технических неполадок в оборудовании (основная причина),
 - из-за халатных действий наладчиков и операторов.
 - Возможные аварийные ситуации, которые могут инициировать чрезвычайную ситуацию с краном: столкновение с элементами конструкций из-за ошибки оператора крана, пожар.

Таблица 6.4

Наименование ЧС	Условия возникновения аварийной ситуации	Возможное развитие последствий	Способы и средства предотвращения аварий	Меры локализации аварий
Столкновение крана со стеллажом	Нарушение правил эксплуатации и крана	Падение груза на человека	Устройство, размыкающее цепь безопасности	Остановка крана
Пожар	Срабатывание пожарной сигнализации и	Задымление и возгорание крана	Устройство пожарной безопасности	Остановка крана

6.4.2 Пожаробезопасность

Пожарная безопасность – состояние объекта, при котором с регламентируемой вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

По СНИП 2.01.02–85 (противопожарные нормы) огнестойкость здания соответствует II степени (здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов; в покрытиях зданий

допускается применять незащищенные стальные конструкции).

Огнестойкость – свойство сопротивляемости воздействию пожара и распространению его опасных факторов.

Категория В (пожароопасная) Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе волокна и пыль), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть при условии, что помещения, в которых они имеются или обращаются, не относятся к категориям А или Б.

В соответствии с правилами пожарной безопасности в РФ (ППБ 01-03) для локализации возгорания в рабочей зоне применяются пожарные гидранты, углекислотный огнетушитель, установленный в пожарном шкафу, в котором установлен кран, оборудовано аналоговой адресной пожарной сигнализацией состоящей из главной панели, дымовых и тепловых извещателей, ручных пожарных извещателей с разбиваемым стеклом.

На кране применяется оборудование системы пожарной сигнализации, посредством которого обеспечивается подача электропитания на пожарные извещатели и которое:

- используется для получения заданного сигнала и подачи сигнала о пожаре;
- передает сигнал об обнаружении пожара через соответствующее оборудование в пожарные организации и систему автоматического пожаротушения;
- используется для автоматического мониторинга надлежащего функционирования системы.

Схема взаимодействия системы пожарной сигнализации и крановой системы приведена на рисунке 6.1

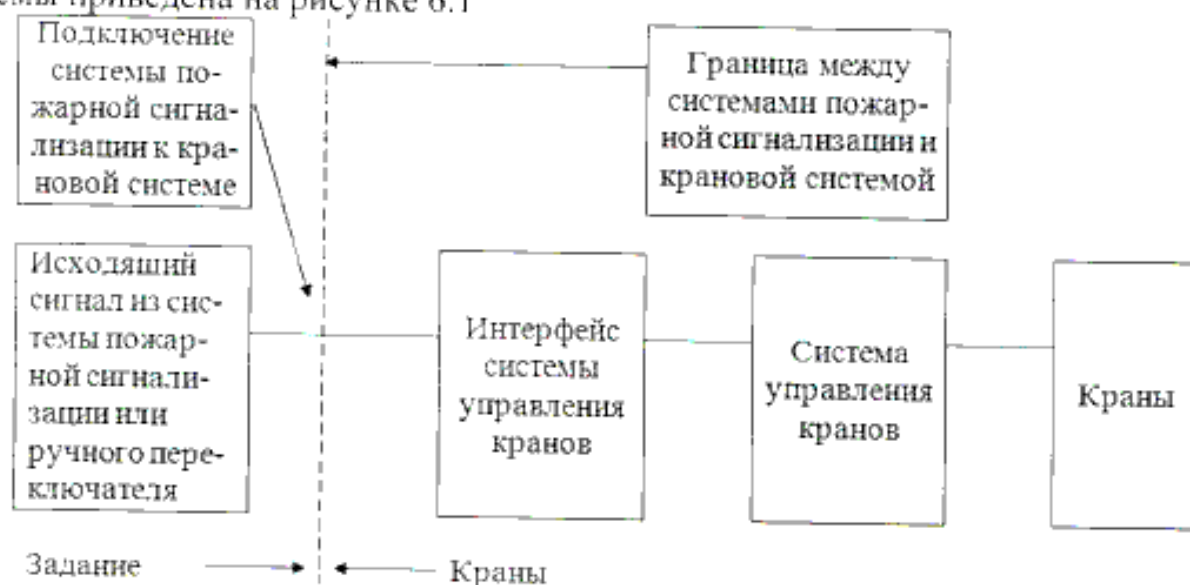


Рис. 6.1 - Подключение системы пожарной сигнализации

6.5 Эргономика

Эргономика — наука, изучающая человека и его деятельность в условиях современного производства с целью оптимизации орудий, условий и процесса труда. Главными целями эргономики являются:

- ◆ безопасность труда;
- ◆ повышение эффективности системы «человек — техника — среда»;
- ◆ комфортность — удовлетворенность человека результатами своего труда и обеспечение условий для развития личности человека в процессе труда.

Эргономику формируют следующие групповые показатели:

1) антропометрические, регламентируют соответствие машины размерам и форме тела работающего человека, подвижности частей тела и другим параметрам;

2) гигиенические, характеризуют метеорологические условия микроклимата и ограничение воздействия вредных факторов внешней среды;

3) физиологические и психофизиологические, характеризуют те эргономические требования, которые определяют соответствие СЧТС силовым, скоростным, энергетическим, зрительным, слуховым, осязательным возможностям и особенностям человека;

4) психологические, отражают соответствие машины возможностям и особенностям восприятия памяти, мышления, психомоторики человека.

В соответствии с ГОСТ 12.2.061 - 81:

Повышение производительности труда крановщика, которая во многом определяет производительность крана, достигается улучшением условий работы человека. Поэтому при создании крана определенное внимание должно уделяться нормам эргономики, т. е. взаимоотношениям человека с механизмом, определенным с учетом физических и психологических факторов человека. Основными нормами эргономики являются параметры окружающей среды — климат, уровень шума, запыленность, освещенность и параметры обслуживания — видимость, механические колебания, конструкция и форма средств обслуживания и другие факторы, относящиеся к устройству рабочего места крановщика.

Понятие видимость характеризует расстояние, на котором можно четко видеть человеку с нормальным зрением. Видимость из кабины крана определяется расположением сиденья крановщика, конструкцией окон кабины и ее расположением на кране. Необходимость попеременной концентрации внимания то на рабочей зоне и крюковой подвеске, то на органах управления требует хорошей обзорности. Особенно важны углы зрения; они определяются величиной и конструкцией окон кабины с учетом угла зрения глаз крановщика.

Кабина водителя имеет достаточные размеры для удобного расположения рабочего места и аппаратуры. Лобовое стекло выполнено наклонным, чтобы световое отражение не искажало видимость пути. В кабине установлены козырьковые щитки для защиты глаз водителя от солнечных лучей

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

1. Центры рукоятей управления краном в нулевом положении органов управления должны находиться в зонах 1 - 3, указанных на чертеже.

В зоне 1 должны находиться основные рукояти управления механизмами крана (механизма подъема груза, механизмов передвижения грузовой тележки и крана).

В зоне 2 должны находиться дополнительные рукояти управления при частом их использовании (в частности, рукояти управления грейфером).

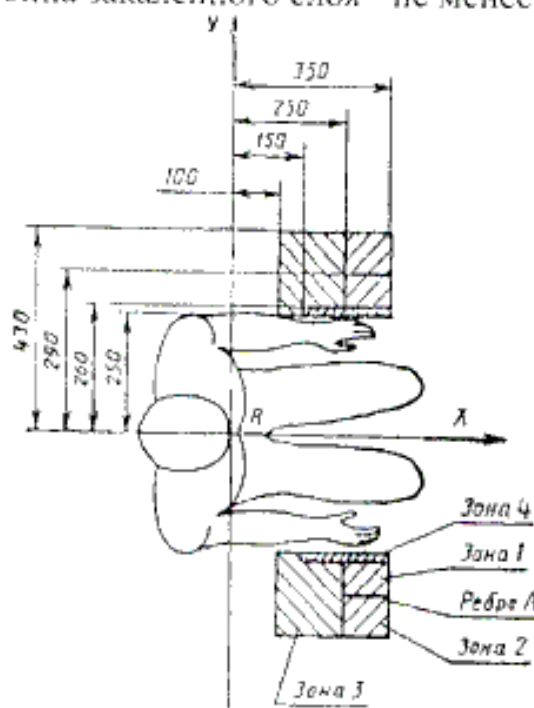
В зоне 3 должны находиться вспомогательные рукояти управления редкого использования для кранов с большим числом механизмов. Приводные элементы кнопочного управления краном должны быть расположены в зоне 4 с началом на ребре А (см. чертеж).

1. Угол бокового отклонения каната от плоскости ручья блока или направления навивки на барабан не должен превышать 4° для любого положения грузонесущего органа. Для уравнительных блоков этот угол не должен превышать $1,5^\circ$.

2. При расположении уравнительных блоков в плоскости, перпендикулярной к плоскости блоков грузовой полиспаста, должно быть предусмотрено шарнирное подвешивание уравнительных блоков.

3. Зазор между ребрами блока и ограждением должен быть не более 20 % диаметра каната.

4. Твердость поверхности ручья блоков крана групп режима 6К, 7К должна быть не менее 320 НВ, глубина закаленного слоя - не менее 2



5. Центры рукоятей управления в крайнем положении контроллера и

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

140400.2016.136.00.00.ПЗ

Лист

107

приводные элементы кнопочного управления краном должны располагаться в одной горизонтальной плоскости на расстоянии 120 мм вверх от точки *R*. Точку *R* определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 20304.

6. Максимальное перемещение рукояти управления по горизонтали от «нулевого» положения не более 140 мм и по вертикали не более 60 мм. Максимальное усилие перемещения рукояти - не более 30 Н.

7. Сигнальные кнопки и аварийные выключатели должны располагаться в горизонтальной плоскости на расстоянии 20 - 80 мм вверх от точки *R*.

ВЫВОДЫ ПО ШЕСТОМУ РАЗДЕЛУ

В разработанной технологии предусмотрена защита от шума, вибрации применяются специальные двигатели, заземления, в системе управления предусмотрено аварийное отключение, применяются вентиляция и кондиционирование в кабине управления, есть искусственное освещение. Таким образом рабочее место оператора и оборудование соответствует санитарным нормам и требованиям согласно ГОСТам и СНиП.

Предусмотренные в данном проекте, условия труда, не имеют отклонений от норм.

1) Государство регулирует безопасность жизнедеятельности и труда человека. Основные нормы и правила прописаны в Конституции РФ, ТК РФ, и ССБТ.

2) Для обеспечения безопасности пользования краном, доступ посторонних к оборудованию не допускается, предусмотрены ограждения, предупреждающие знаки и запирающие механизмы (ГОСТ 12.2.061-81, ГОСТ 12.4.026-076).

3) Определены: тяжесть труда (средняя тяжесть — Па (энерготраты от 151 до 200 ккал/ч), в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96; класс труда (2-Допустимый), в соответствии с пособием к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации "Организация и условия труда работников. Управление производством и предприятием". Примерно рассчитаны риски.

4) Микроклимат и освещенность соответствуют норме. В помещении предусмотрена вентиляция и отопление в холодное время года, обеспечивающая температурно-влажностный режим (СанПиН 2.2.4.548-96)

5) Для нейтрализации действия вредных виброакустических факторов предусмотрены шумоизоляционные материалы, резиновые прокладки (для уменьшения вибрации) (ГОСТ 12.1.012-90, СНиП 23-03-2003).

6) К опасным факторам в помещении можно отнести лишь возможное поражение электрическим током, связанное с неправильной эксплуатацией электроприборов.

7) Класс опасности помещения «Без повышенной опасности»). В помещении проведено заземление (ГОСТ 12.1.030-81).

8) Огнестойкость здания соответствует 2ой степени. Помещение является пожароопасным (категория б) В помещении присутствует огнетушитель, пожарная сигнализация. причиной пожара может являться замыкание проводки, неправильная эксплуатация электроприборов. При возникновении пожара созданы все условия для его успешной ликвидации. (СНиП 2.11.01-85, НАПБ

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		108

Б.03.002-2007, ППБ 01-03).

Описаны способы защиты персонала в случае ЧС, на предприятии проводятся регулярные учения и тренировки.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе было рассмотрено применение современных преобразователей частоты фирмы «Веспер» для модернизации электроприводов мостового крана предприятия ФГУП ПСЗ г. «Трехгорный».

В работе также представлены схемы подключений, программа для контроллера фирмы «Овен» ПЛК110. В экономической части работы были получены следующие экономические показатели:

– капитальные затраты: 1052401 руб.

Безопасное обслуживание и эксплуатация предполагает соблюдение всех норм техники безопасности, представленных в разделе техники безопасности.

Графическая часть включает в себя 6 листов формата А1:

- Кинематическая схема;
- Нагрузочная диаграмма;
- Силовые цепи электродвигателя. Схема электрическая принципиальная;
- Привод электродвигателя. Схема электрическая структурная;
- Схема технологической автоматики;
- Электропривод. Схема электрическая функциональная.

На основании данного проекта возможно внедрение частотно-регулируемого электропривода в производстве, промышленности и других отраслях, где используются грузоподъемные машины. Главными преимуществами привода являются: обеспечение плавного пуска и использование короткозамкнутых асинхронных двигателей, что значительно снижает затраты на обслуживание приводов и увеличивает срок службы оборудования.

Модернизация мостовых кранов – отличная возможность сэкономить средства, поскольку модернизация кранов и ремонт грузоподъемных механизмов всегда обходится существенно дешевле, чем покупка нового крана.

Модернизация кранов – это качественное улучшение всего оборудования мостового крана. В большинстве случаев ни к чему приобретать новый кран, а достаточно просто купить крановое оборудование и усовершенствовать уже имеющийся.

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Драчев Г.И. Курс лекций по теории электропривода.–Челябинск, 1998г.
- 2 Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – М.: Энергия 1977г.
- 3 Данные двигателей. www.Cranros.Com.
- 4 Каталог электротехнической продукции ЭТМ №4 2000г.
- 5 Паспорт крана. ФГУП ПСЗ, г.Трехгорный.
- 6 Joystick. Каталог, 2001 г.
- 7 Schneider Electric. Каталог, 2001 г.
- 8 ИЭК ООО «ИНТЕРЭЛЕКТРОКОМПЛЕКТ». Каталог, 2001.
- 9 ПКФ «Веспер». www.vesper.ru
- 10 «Овен». www.owen.ru

					140400.2016.136.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111