

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический институт
Специальность 140610 электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений
Кафедра ЭПЭО

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод и электрооборудование механизма подъема УДК <u>62-83-523:621.874</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Люфт Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ляпушкин Сергей Викторович	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова Маргарита Николаевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический институт
 Специальность 140610 электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений
 Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Дементьев Ю.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломной работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Люфт Александру Александровичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод и электрооборудование механизма подъема	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Объектом исследования является механизм подъема мостового крана. В качестве исходных данных представлены:	
	Грузоподъемность Вес крюка Высота подъема Диаметр барабана Скорость подъема КПД системы	$G=20000$ кг $G_0=400$ кг $H=15$ м $D=0,5$ м $v_n= 20$ м/мин $\eta =0,75$

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Титульный лист Техническое задание Календарный рейтинг-план Реферат Содержание Введение Глава 1. Расчет и выбор силового оборудования системы Глава 2. Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода Глава 3. Расчет параметров структурной схемы регулируемого электропривода Глава 4. Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Глава 6. Социальная ответственность Список использованных источников</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p> <p>Трофимова М.Н.</p>
<p style="text-align: center;">Социальная ответственность</p>	<p>Сечин А.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> 	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ляпушкин С.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Люфт А.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Люфт Александру Александровичу

Институт	ИДО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140610 Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Определение и анализ трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию исследования. Приблизительная стоимость подобного типового научного исследования составляет около 1 млн. руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления на отчисления в пенсионный фонд, на медицинское и социальное страхования составляют 30% от заработной платы</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Технико-экономическое обоснование ИР</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Определение этапов работы, трудоемкости работы, составление диаграммы Ганта, сметы затрат</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиции для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Обоснование капитальных затрат (инвестиций)</i>
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Составление смет расходов</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Люфт А.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Люфт Александру Александровичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140610 Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - шум; - вибрация; - освещение. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электрический ток; <p>Вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны</p> <p>СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.</p> <p>ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.</p> <p>ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p> <p>ГОСТ 12.1.030-81. Защитное заземление, зануление.</p> <p>ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.</p> <p>СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России,</p>

	<p>1997. – с.12. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. №69-ФЗ. О пожарной безопасности. СП 52.13330.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение». - М.: Минрегион РФ, 2010. НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности», ГУГПС МВД РФ, 1995.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - Неблагоприятные условия микроклимата; - Недостаточное освещение; - Повышенный уровень шума; - Повышенный уровень вибрации.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> - Электрический ток; - Электрическая дуга, возникающая при коротких замыканиях;
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Анализ воздействия на окружающую среду</p>

<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Пожар</p>
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p><i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i></p>	<p>Подключение системы пожарной сигнализации</p>

<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Люфт А.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 страниц, 26 рисунков, 35 таблиц, 18 источников.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, МОСТОВОЙ КРАН, МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА.

Цель работы – ставится цель выявить возможность и эффективность применения регулируемого электропривода и электрооборудования.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя (АД), преобразователя частоты и способа управления скоростью АД. Сделан расчет параметров двигателя, преобразователя, механической системы электропривода машины, предельных характеристик, произведен выбор электрического оборудования механизма подъема. С помощью имитационной модели в MATLAB 7.12.0 (R2011a) проведено исследование АД, получены переходные характеристики.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

Содержание

Введение.....	11
1 Расчет и выбор силового оборудования системы.....	14
1.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор.....	14
1.2 Выбор преобразовательного устройства системы.....	20
1.2.1 Расчет инвертора.....	21
1.2.2 Расчет выпрямителя.....	25
1.2.3 Расчет охладителя.....	29
1.2.4 Расчет фильтра.....	31
1.2.5 Расчет снаббера.....	32
1.3 Выбор преобразователя частоты.....	35
1.4 Выбор аппаратуры управления и защиты.....	38
1.4.1 Аппаратура управления.....	38
1.4.2 Аппаратура защиты.....	39
1.5 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения.....	42
2 Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода.....	43
2.1 Расчет естественных $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ характеристик регулируемого электропривода.....	43
2.2 Расчет искусственных (регулирующих) характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости.....	47
2.3 Расчет энергетических показателей электропривода.....	53
2.4 Расчет электромеханических переходных характеристик $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ при пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания.....	55
3 Расчет параметров структурной схемы.....	58
3.1 Составление структурной схемы системы регулируемого электропривода.....	58
3.1.1 Модель асинхронного двигателя.....	59
3.1.2 Контур регулирования.....	61
3.2 Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени системы.....	62
Заключение.....	67
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	68
4.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	68
4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	68
4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	69

4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	70
4.4 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	73
4.5 Основная заработная плата исполнителей темы	74
4.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	77
4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	77
4.8 Накладные расходы.....	78
5 Социальная ответственность.....	83
5.1 Анализ вредных производственных факторов при работе и мероприятия по их устранению.....	83
5.2 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению.	90
5.3 Чрезвычайные ситуации.....	94
Список использованных источников.....	97

Введение

В последнее время очень часто применяют частотно-регулируемые электропривода в крановом хозяйстве на металлургических предприятиях и за их пределами, как в России, так и за границей. Это обстоятельство объясняется следующим. Использование регулируемых приводов в крановом хозяйстве позволяет значительно повысить комфортные показатели работы крана в части ускорения. В свою очередь, обеспечиваемые частотно - регулируемым приводом плавные переходные процессы значительно снижают динамические нагрузки в элементах кинематической цепи привода, что позволяет повысить надежность и долговечность работы механического оборудования крана, отпадает необходимость замены редуктора, канатоведущего барабана, тормозных колодок, электродвигателя и других элементов 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 частотно - регулируемых преобразователей позволяет использовать асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общего назначения, а не специализированные асинхронные двигатели с фазным ротором. Маховый момент ротора таких двигателей в разы меньше аналогичных крановых асинхронных двигателей с фазным ротором, а стоимость их снижается в 3-4 раза по сравнению с крановыми двигателями, специальной серии.

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

Срок окупаемости в зависимости от грузоподъемности и интенсивности работы крана составляет от 3 до 8 лет (меньшая цифра соответствует большей грузоподъемности и интенсивности).

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.

Краткая характеристика механизма подъема мостового крана

Электрические подъемные краны - это устройства служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов. Подвижная металлическая конструкция с расположенной на ней подъемной лебедкой являются основными элементами подъемного крана. Механизм подъемной лебедки приводится в действие электрическим двигателем.

Подъемные краны представляют собой грузоподъемные машины циклического действия, предназначенные для подъема и перемещения груза, удерживаемого грузозахватным устройством (крюк, грейфер). Он является наиболее распространенной грузоподъемной машиной, имеющей весьма разнообразное конструктивное исполнение и назначение.

Мостовой кран (рис.1) представляет собой мост, перемещающийся по крановым путям на ходовых колесах, которые установлены на концевых балках. Пути укладываются на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонны цеха. Механизм передвижения крана установлен на мосту крана.

Управление всеми механизмами происходит из кабины, прикрепленной к мосту крана. Питание электродвигателей осуществляется по цеховым троллеям. Для подвода электроэнергии применяют токосъемы скользящего типа, прикрепленные к металлоконструкции крана. В современных конструкциях мостовых кранов токопровод осуществляется с

помощью гибкого кабеля. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

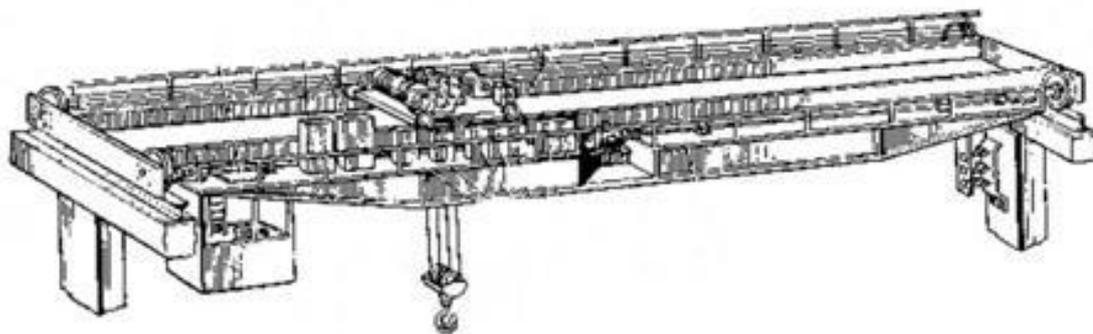


Рисунок 1 – Общий вид мостового крана.

Любые современные грузоподъемные краны в соответствии с требованиями безопасности, могут иметь для каждого рабочего движения в трех плоскостях, следующие самостоятельные механизмы: механизм подъема - спуска груза, механизм передвижения крана в горизонтальной плоскости и механизмы обслуживания зоны работы крана (передвижения тележки).

По заданию проекта необходимо выбрать электрооборудование и электродвигатель для механизма подъема, кинематическая схема которого представлена на рисунке 2.

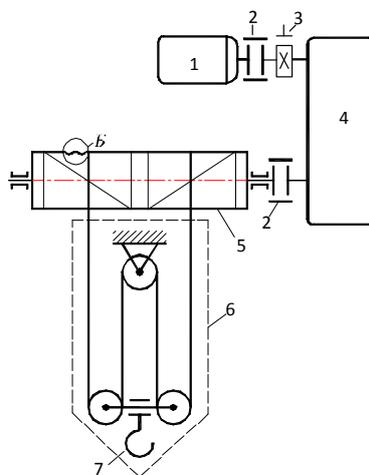


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма подъема

1. Расчет и выбор силового оборудования системы

1.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Исходные данные к работе:

Таблица 1- Исходные данные

Грузоподъемность [кг]	Вес крюка [кг]	Высота подъема, [м]	Диаметр барабана [м]	Скорость подъема м/мин	КПД системы
G=20000	G ₀ =400	15	0.5	20	0.75

Руководствуясь высотой подъема, скоростью подъема груза, а также грузоподъемностью принято, что кран – мостовой.

Выбор передаточного числа полиспаста

В мостовых кранах применяются только сдвоенные полиспасты, обеспечивающие строго вертикальный подъем груза и постоянство нагрузок на опоры барабана.

Передаточное число сдвоенного полиспаста выбирается исходя из следующих рекомендаций [1]:

Грузоподъемность Q , т	Передаточное число i_p
5...10	2
11...15	3
16...20	4

Таким образом, руководствуясь значениями номинальной грузоподъемности передаточное число полиспаста равно 4.

Статическая мощность на валу электродвигателя подъемной лебедки при подъеме груза, в кВт определяется следующим образом [2]:

$$P_{\text{ст.гр.под}} = \frac{(G + G_0) \cdot g \cdot v_n \cdot 10^{-3}}{\eta} = \frac{(20000 + 400) \cdot 9,81 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3}}{0,75} = 88,5 \text{ кВт},$$

g -ускорение свободного падения, м/с²;

$v_H = 20 \text{ м/мин} = 0,33 \text{ м/с}$ - скорость подъема груза;

$\eta = 0,75$ - КПД системы.

Статическая мощность на валу электродвигателя подъемной лебедки при спуске груза, кВт:

$$P_{\text{ст.гр.сп}} = (G + G_0) \cdot g \cdot v_H \cdot 10^{-3} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta}\right)$$

$$P_{\text{ст.гр.сп}} = (20000 + 400) \cdot 9,81 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,75}\right) = 44,03 \text{ кВт.}$$

Статическая мощность на валу электродвигателя подъемной лебедки при подъеме пустого крюка, кВт:

$$P_{\text{ст.гр.сп}} = \frac{G_0 \cdot g \cdot v_H \cdot 10^{-3}}{\eta_H} = \frac{400 \cdot 9,81 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 13 \text{ кВт,}$$

где η_{xx} – КПД подъемного механизма без груза [Шеховцов, стр 85, рис 3.2.1]

Статическая мощность на валу электродвигателя подъемной лебедки при спуске пустого крюка, кВт:

$$P_{\text{ст.пк.сп}} = G_0 \cdot g \cdot v_H \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{xx}} - 2\right) =$$

$$P_{\text{ст.пк.сп}} = 400 \cdot 9,81 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1}{0,1} - 2\right) = 10,4 \text{ кВт.}$$

Статическая эквивалентная мощность на валу ЭД за расчетный цикл:

$$P_{\text{сэ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi}}} = \sqrt{\frac{88500^2 \cdot 45,45 + 44030^2 \cdot 45,45 + 13000^2 \cdot 45,45 + 10400^2 \cdot 45,45}{181,8}} = 50,12 \text{ кВт}$$

Для механизмов подъема продолжительность включения каталожная принимается равной 40%.

Продолжительность включения расчетная:

$$\text{ПВ}_p = \frac{\sum_{i=1} t_i}{t_{\text{ц}}},$$

где t_i – время работы i -ого процесса;

$t_{\text{ц}}$ – время цикла.

Время подъема груза:

$$t_{p1} = H/v_H = 15/0,33 = 45,45 \text{ с.}$$

Время спуска груза, а также время подъема и спуска пустого крюка принимаются равными времени подъема груза.

Так как время зацепления и отцепления груза не даны, то условно примем их, руководствуясь практическими знаниями, равными 200 с. Таким образом:

$$\begin{aligned} \text{ПВ}_p &= \frac{t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}}{t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} + t_{\text{подц.зр}} + t_{\text{отц.зр}}} \\ &= \frac{45,45 \cdot 4}{45,45 \cdot 4 + 200 \cdot 2} \cdot 100 = 31,25 \% \end{aligned}$$

Эквивалентную мощность пересчитываем на стандартную продолжительность включения соответствующего режима работы механизма крана:

$$P_{\text{эд}} = P_{\text{сз}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_p}{\text{ПВ}_k}} = 50,2 \cdot \sqrt{\frac{31,25}{40}} = 44,3 \text{ кВт}$$

ПВ_p – продолжительность включения расчетная;

ПВ_k – продолжительность включения каталожная.

Расчетная мощность электродвигателя:

$$P_{\text{эдн}} = P_{\text{эд}} \cdot K_3 = 44,3 \cdot 1,3 = 57,6 \text{ кВт}$$

Угловая скорость лебедки:

$$\omega_{\text{л}} = \frac{2 \cdot v_H}{D} = \frac{2 \cdot 0,33}{0,5} = 1,32 \text{ рад/с.}$$

Частота вращения лебедки:

$$n_{л} = \frac{30 \cdot \omega_{л}}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,32}{3,14} = 12,61 \text{ об/мин.}$$

В соответствие с получившейся расчетной мощностью осуществим выбор электродвигателя. Выберем двигатель АИР250S4 со следующими номинальными данными приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Номинальные данные электродвигателя АИР250S4

$P_H = 75$	Номинальная мощность двигателя, кВт;
$U_H = 380$	Номинальное линейное напряжение, В;
$I_H = 137,8$	Номинальный ток, А;
$n_H = 1480$	Номинальная частота вращения. Об\мин;
$J_{дв} = 0.89$	Маховый момент, $кг \cdot м^2$
$\eta_H = 94$	Коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100% нагрузки), %
$\cos\varphi_H = 0.88$	Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е;
$I_{п} / I_H = K_T = 7,5$	Кратность пускового тока, о.е;
$M_{пуск} / M_H = K_{п} = 1.7$	Кратность пускового момента, о.е;
$M_{макс} / M_H = K_{макс} = 2.5$	Кратность максимального момента, о.е;
$M_{мин} / M_H = K_{мин} = 1,4$	Кратность минимального момента, о.е;

Выбираем тип редуктора и муфты.

Редуктор применяют из-за разногласия скорости вращения барабана лебедки механизма подъема и вала электродвигателя. Определяем передаточное число редуктора:

$$i_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{дв}}{60 \cdot v_H \cdot i_{п}} = \frac{3.14 \cdot 0.5 \cdot 1480}{60 \cdot 0.33 \cdot 4} = 29,34$$

Выберем по [14] тип редуктора 1Ц2У-160 с фактическим передаточным числом 32,55 и моментом инерции $J = 0,275 \text{ кг} \cdot м^2$

Номинальные данные редуктора представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Номинальные данные серии редукторов

наименование показателя		Типоразмер редуктора				
		1Ц2У-100	1Ц2У-125	1Ц2У-160	1Ц2У-200	1Ц2У-250
Фактические передаточные числа	Группа 1	10,32;20,64; 32,55; 40,32	10; 20; 31,5;38,37	10,32; 20,64; 32,55; 40,32	9,76; 20,02; 31,47; 38,98	9,94; 20,67; 31,47; 38,4
Крутящий момент, допустимый на выходном валу редуктора при работе на повторяемых кратковременных режимах. Н*м	тяжелый (Т) ПВ=40%	315	630	1600	3150	6300
	средний (С) ПВ=25%			2000	4000	8000
Термическая мощность, кВт		не лимитирует				
КПД, не менее, %		97				
Приблизительная масса редуктора, кг	с чугунным корпусом	—	95	170	310	

В качестве соединительных муфт выберем 2 муфты марки SKP-800 [12], позволяющие работать в широком диапазоне моментов от 1,0 Н·м до 950 Н·м. При весе, примерно, в 5,5 кг данный тип муфты обладает моментом инерции 0,02 кг·м². Данные муфты долговечны, не требуют специального обслуживания, выполнены из закаленной стали и выдерживают широкий диапазон температур от -30 до 120 °С.

Проверка двигателя на нагрев

Находим номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{НОМ}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9550 \cdot \frac{75}{1480} = 483,95 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Эквивалентный статический момент на валу АД:

$$M_{\text{сэ}} = \frac{P_{\text{сэ}} \cdot D \cdot 10^3}{2 \cdot v_{\text{н}} \cdot i_{\text{р}} \cdot i_{\text{п}}} = \frac{44300 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.33 \cdot 32.55 \cdot 4} = 257,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Условие $M_{\text{НОМ}} \geq M_{\text{сэ}}$ выполняется, следовательно, двигатель выбран правильно.

Проверка ЭД по допустимой перегрузке:

Условие

$$0,8 \cdot M_{\text{макс}} \geq M_{\text{смакс}}$$

$$M_{\text{макс}} = 2,5 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,5 \cdot 483,95 = 1209,87 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{смакс}} = 1,2 \cdot M_{\text{сэ}} = 1,2 \cdot 257,7 = 309,24 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Условие $(717,2) 0,8 \cdot M_{\text{макс}} \geq M_{\text{смакс}} (309,24)$ выполняется, следовательно, двигатель выбран верно.

Проверка по надежности пуска и разгона:

Должны выполняться два условия

$$0.5 \cdot (M_{\text{п.макс}} + M_{\text{п.мин}}) \geq 1.5 \cdot M_{\text{с.макс}}$$

$$M_{\text{п.мин}} \geq 1.2 \cdot M_{\text{с.макс}}$$

$$M_{\text{п.макс}} = M_{\text{п}} = 1,7 \cdot M_{\text{НОМ}} = 1,7 \cdot 483,95 = 822,71 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{п.мин}} = M_{\text{п}} = (1,2 - 1,3) \cdot M_{\text{НОМ}} = 1,2 \cdot 483,95 = 580,74 - 629,13 \text{ Н}\cdot\text{м} [\text{Шеховцов стр}89]$$

Условия:

$$0.5 \cdot (822,71 + 580,74) = 701,72 \geq 1.5 \cdot 309,24 = 463,86$$

$$580,74 \geq 1.2 \cdot 309,24 = 371,08$$

Выполняются, следовательно, двигатель выбран верно.

1.2 Выбор преобразовательного устройства для системы.

Преобразователь частоты (ПЧ) в ЭП является силовым регулятором, вход которого подключен к питающей сети с нерегулируемыми значениями напряжения U_1 и частоты f_1 , а на выходе обеспечиваются регулируемые значения напряжения U_2 (или тока I_2) и частоты f_2 в зависимости от задания и управляющих сигналов U_y .

Применение ПЧ в ЭП обеспечивает наиболее экономичные способы регулирования скорости и момента электродвигателей переменного тока. В зависимости от типа электропривода ПЧ может быть включен между питающей сетью и статорной обмоткой двигателя (частотно-управляемый ЭП), или между роторной обмоткой и питающей сетью (например, в ЭП с машиной двойного питания).

Расчет приведен для ПЧ с АИН, выполненного с использованием гибридных модулей, состоящих из ключей IGBT VT1...VT6 и обратных диодов VD, смонтированных в одном корпусе на общей теплоотводящей пластине.

Силовой канал ПЧ представлен на рис. 3.

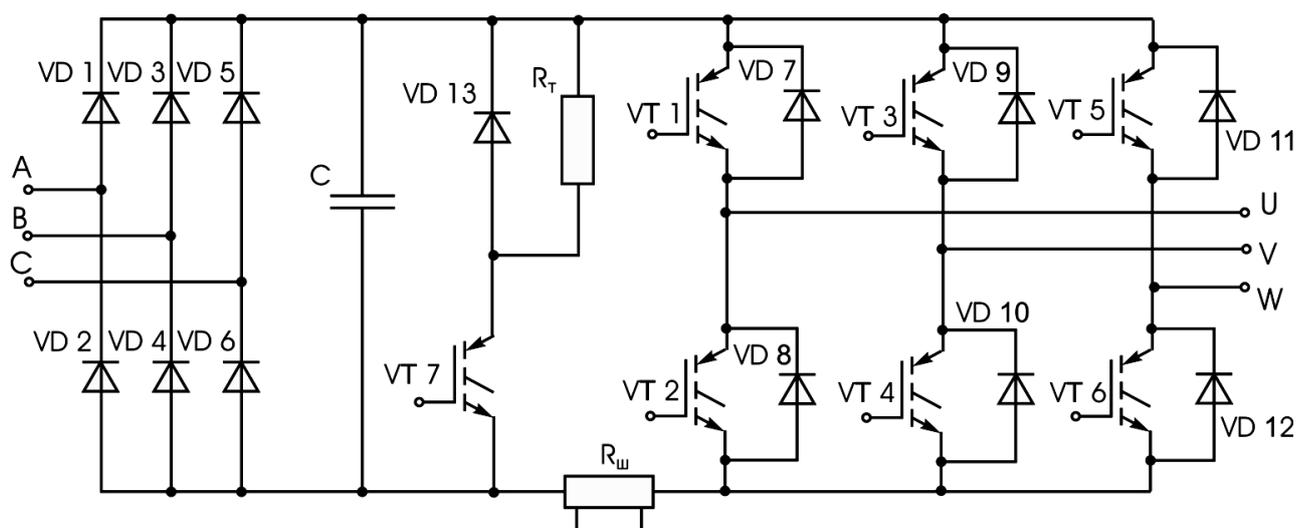


Рисунок 3 - Схема силового канала ПЧ

В настоящее время в системах управления двигателями наиболее широко применяются мощные полностью управляемые транзисторные ключи: биполярные с изолированным затвором (IGBT), а также силовые модули на их основе. IGBT лишены основных недостатков биполярных (BJT) транзисторов:

- IGBT управляются напряжением, а не током, в связи с чем снижается потребление энергии по цепи управления;
- IGBT обладают лучшими частотными характеристиками по сравнению с биполярными (BJT) транзисторами, допускается работа на частотах переключения до 15 кГц.

Силовые модули обычно используются в цепях преобразователей переменного напряжения в постоянные (конвертеры) и постоянного напряжения в переменное (инверторы).

1.2.1 Расчёт инвертора

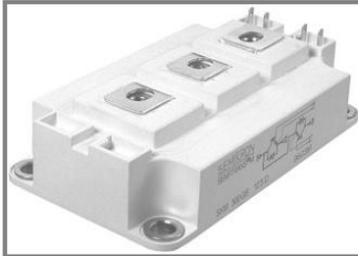
Максимальный ток через IGBT ключи [3, с.80]:

$$I_{с.макс} = \frac{P_{н} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot \eta_{н} \cdot \cos \varphi \cdot U_{л}} = \frac{75000 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot 0,94 \cdot 0,88 \cdot 380} = 316,6 \text{ А},$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, Вт; $k_1 = 1,2-1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики ЭП. Принимаем $k_1 = 1,3$; $k_2 = 1,1-1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока. Принимаем $k_2 = 1,25$; $\eta_{ном} = 0.905$ – номинальный КПД двигателя, определенный по [Шеховцов, стр. 281]

Ключи IGBT выбираются с постоянным (номинальным) током коллектора $I_c \geq I_{с.макс}$. Выбираем блок IGBT-ключей со следующими номинальными данными:

SKM 400GB123D

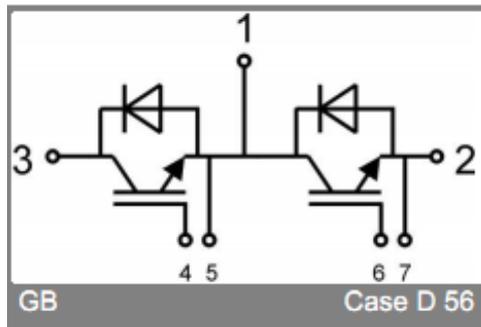


SEMITRANS[®] 3

IGBT Modules

SKM 400GB123D

Absolute Maximum Ratings		$T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified		
Symbol	Conditions	Values	Units	
IGBT				
V_{CES}	$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	1200	V	
I_C	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	$T_{case} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	400	A
		$T_{case} = 80\text{ }^\circ\text{C}$	330	A
I_{CRM}	$I_{CRM} = 2 \times I_{Cnom}$	600	A	
V_{GES}		± 20	V	
t_{psc}	$V_{CC} = 600\text{ V}; V_{GE} \leq 20\text{ V}; T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ $V_{CES} < 1200\text{ V}$	10	μs	
Inverse Diode				
I_F	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	$T_{case} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	390	A
		$T_{case} = 80\text{ }^\circ\text{C}$	260	A
I_{FRM}	$I_{FRM} = 2 \times I_{Fnom}$	600	A	
I_{FSM}	$t_p = 10\text{ ms}; \text{sin.}$	2880	A	

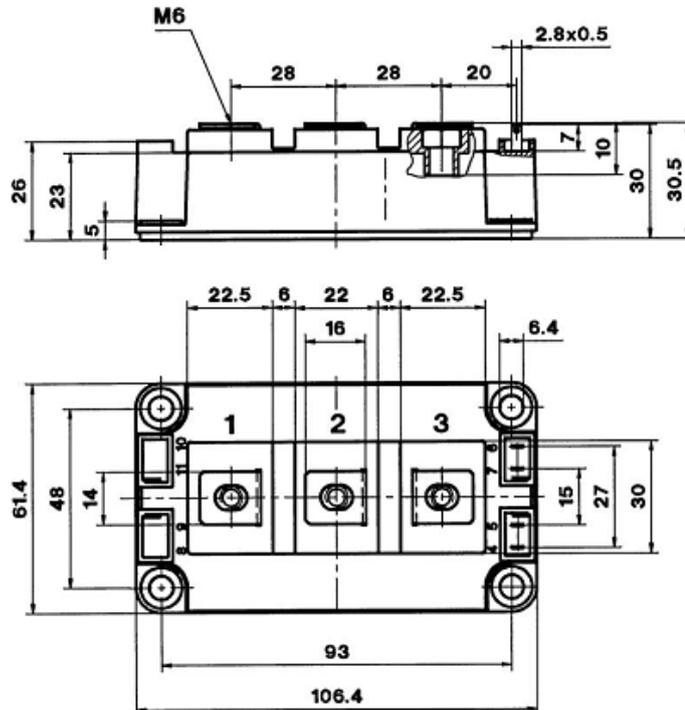


SKM 400GB123D

UL Recognized

CASED56

File 63 532



Case D 56

Рисунок 4 - Внешний вид модуля SKM400GB123D

Потери в IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{SS} = I_{CP} \cdot U_{CE(SAT)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \phi \right) =$$

$$P_{SS} = 243,54 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \cdot 0,88 \right) = 130,14 \text{ Вт}$$

$$I_{CP} = \frac{I_{Cmax}}{k_1} = \frac{316,6}{1,3} = 243,54 \text{ А}$$

где I_{CP} - максимальная амплитуда тока на входе инвертора, А;
 $D = t_p / T \approx 0,95$ - максимальная скважность; $\cos \theta \approx \cos \phi$ - коэффициент мощности; $U_{ce(sat)}$ - прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{CP} и $T_j = 125^\circ\text{C}$ (типичное значение $U_{ce(sat)} = 2,5 \text{ В}$).

Потери в IGBT при коммутации:

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{I_{CP} \cdot U_{CC} \cdot (t_{C\ on} + t_{C\ off}) \cdot f_{SW}}{2} =$$

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{243,54 \cdot 600 \cdot (0,3 + 0,7 \cdot 10^{-6}) \cdot 5000}{2} = 86,1 \text{ Вт}$$

где $U_{CC} = 1200 \text{ В}$; $t_{e(on)}, t_{e(off)}$ - продолжительность переходных процессов по

цепи коллектора IGBT на открывание $t_{e(on)}$ и закрывание $t_{e(off)}$

транзистора, с (типичное значение $t_{e(on)} = 0,3 - 0,4 \text{ мкс}$;

$t_{e(off)} = 0,6 - 0,7 \text{ мкс}$); U_{ce} - напряжение на коллекторе IGBT, В

коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока для системы АИН-ШИМ);

f_{sw} - частота коммутации ключей, Гц (частота ШИМ), обычно от 5000 до 15000 Гц.

Суммарные потери IGBT:

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 130,14 + 86,1 = 216,24 \text{ Вт}$$

Потери диода в проводящем состоянии [2]:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \theta \right) = 243,54 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \cdot 0,88 \right) = 130,14 \text{ Вт}$$

Где $I_{ep} \approx I_{CP}$ - максимальная амплитуда тока через обратный диод, А; U_{ec} - прямое падение напряжения на диоде (в проводящем состоянии) при I_{ep} , В.

Потери при восстановлении запирающих свойств диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{rr} \cdot U_{CC} \cdot t_{rr} \cdot f_{SW} = \frac{1}{8} \cdot 243,54 \cdot 600 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 18,26 \text{ Вт}$$

Где I_{rr} - амплитуда обратного тока через диод, А ($I_{rr} \approx I_{CP}$); t_{rr} - продолжительность импульса обратного тока, с (типичное значение 0.2мкс).

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 130,14 + 18,26 = 148,4 \text{ Вт}$$

Результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = 216,24 + 148,4 = 364,4 \text{ Вт}$$

Найденные результирующие потери являются основой для теплового расчета инвертора.

Максимально допустимое переходное сопротивление охладитель – окружающая среда $R_{th(f-a)} = 0,04 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, в расчете на пару IGBT/VD (транзистор/обратный диод)

$$R_{th(f-a)} \leq \frac{T_c - T_a}{P_T} - R_{th(c-f)}$$

$$0,04 \leq \frac{90-45}{364,4} - 0,038$$

$$0,04 \leq 0,085$$

Где $T_a = 45 - 50^\circ\text{C}$ - температура охлаждающего воздуха; $T_c = 90 - 110^\circ\text{C}$ - температура теплопроводящей пластины; P_T - суммарная мощность, Вт,

рассеиваемая одной парой IGBT/VD; $R_{th(c-f)} = 0.038$ - термическое переходное сопротивление корпус-поверхность теплопроводящей пластины модуля в расчете на одну пару IGBT/VD, °C/Вт.

Температура кристалла IGBT, °C, определяется по формуле:

$$T_{ja} = T_c + P_Q R_{th(j-c)q} = 90 + 216,24 \cdot 0.09 = 109,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $R_{th(j-c)q} = 0.09$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для IGBT части модуля, °C/Вт, При этом должно выполняться условие $T_{ja} < 125^\circ\text{C}$.

Температура кристалла обратного диода FWD, °C,

$$T_{jd} = T_c + P_D R_{th(j-c)d} = 90 + 148,4 \cdot 0.25 = 117,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $R_{th(j-c)d} = 0.25$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для FWD части модуля, °C/Вт.

Должно выполняться условие $T_{jd} < 125^\circ\text{C}$.

Если $T_{jd} \geq 125^\circ\text{C}$ или опасно приближается к этой максимально допустимой температуре кристалла, то нужно улучшить теплоотдачу за счет использования охладителя с меньшим значением сопротивления $R_{th(f-a)}$, т.е. задавшись меньшей температурой корпуса T_c .

1.2.2 Расчет выпрямителя

Силовая цепь выполнена с использованием гибридных модулей, состоящих из ключей IGBT и обратных диодов VD, смонтированных в одном корпусе на общей токопроводящей пластине.

Среднее выпрямленное напряжение:

$$U_d = k_{с.н} U_{л} = 1.35 \cdot 380 = 513 \text{ В};$$

где $k_{с.н}$ - коэффициент схемы для номинальной нагрузки; $k_{с.н} = 1.35$ - для мостовой трехфазной схемы; $k_{с.н} = 0.9$ - для мостовой однофазной схемы.

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \left(\frac{I_{с.макс}}{\sqrt{2}} \right) U_{л} \cos \varphi + n P_T}{U_d} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{316,6}{\sqrt{2}} \cdot 380 \cdot 0,88 + 3 \cdot 364,4}{513} = 249,7 \text{ А}$$

где n – количество пар IGBT/VD в инверторе.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{CC} I_{dm} = 1,045 \cdot 249,7 = 260,1 \text{ А}$$

где $k_{CC} = 1,045$ для мостовой трехфазной схемы при оптимальных параметрах Г-образного LC-фильтра, установленного на выходе выпрямителя; $k_{CC} = 1,57$ для мостовой однофазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода (для мостовых схем):

$$U_{vm} = k_{з.н} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{л} \cdot k_{с.н} \cdot k_c + \Delta U_{\Pi} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,35 \cdot 1,2 + 130 = 1171,59 \text{ В}$$

где $k_c \geq 1,1$ - коэффициент допустимого повышения напряжения сети;
 $k_{з.н} \geq 1,15$ - коэффициент запаса по напряжению; $\Delta U_{\Pi} = 100 - 150 \text{ В}$ - запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm} / 100$).

SKKD 260



SEMIPACK® 3

Rectifier Diode Modules

SKKD 260

Features

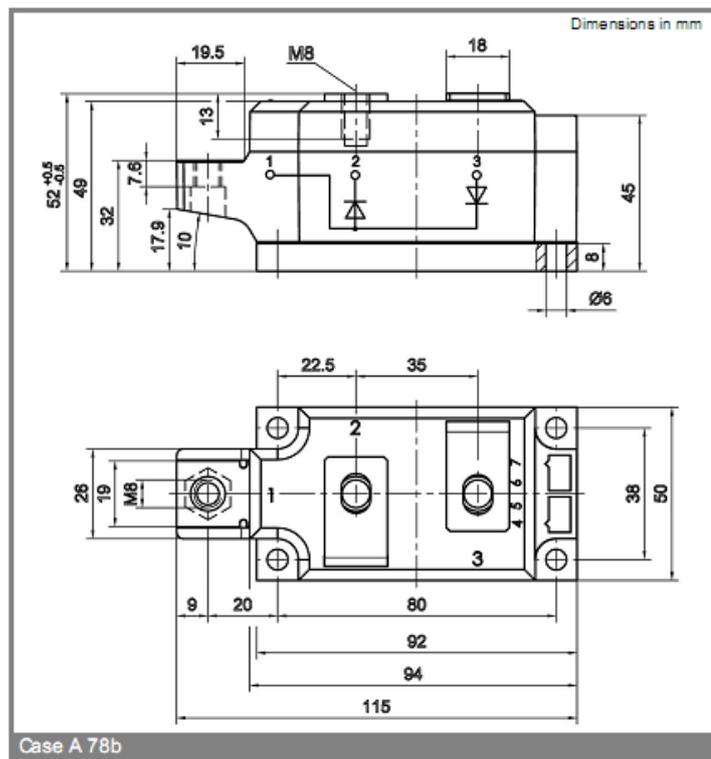
- Heat transfer through aluminium nitride ceramic isolated metal baseplate
- Precious metal pressure contacts
- UL recognized, file no. E 63 532

Typical Applications

- Non-controllable rectifiers for

V_{RSM} V	V_{RRM} V	$I_{FRMS} = 410$ A (maximum value for continuous operation) $I_{FAV} = 260$ A (sin. 180; $T_c = 85$ °C)	
900	800	SKKD 260/08	
1300	1200	SKKD 260/12	
1700	1600	SKKD 260/16	
2100	2000	SKKD 260/20H4	
2300	2200	SKKD 260/22H4	

Symbol	Conditions	Values	Units
I_{FAV}	sin. 180; $T_c = 85$ (100) °C	260 (185)	A
I_D	P3/180F; $T_a = 35$ °C; B2 / B6	280 / 320	A
	P16/200F; $T_a = 35$ °C; B2 / B6	490 / 655	A
I_{FSM}	$T_{vj} = 25$ °C; 10 ms	11000	A
	$T_{vj} = 130$ °C; 10 ms	10000	A
P_t	$T_{vj} = 25$ °C; 8,3 ... 10 ms	605000	A ² s
	$T_{vj} = 130$ °C; 8,3 ... 10 ms	500000	A ² s
V_F	$T_{vj} = 25$ °C; $I_F = 750$ A	max. 1,25	V
$V_{(TD)}$	$T_{vj} = 130$ °C	max. 0,9	V
r_T	$T_{vj} = 130$ °C	max. 0,37	mΩ
I_{RD}	$T_{vj} = 130$ °C; $V_{RD} = V_{RRM}$	max. 15	mA
$R_{th(j-c)}$	cont.; per diode / per module	0,14 / 0,07	K/W
	sin. 180; per diode / per module	0,15 / 0,075	K/W
$R_{th(c-a)}$	per diode / per module	0,04 / 0,02	K/W
T_{vj}		- 40 ... + 130	°C
T_{stg}		- 40 ... + 130	°C
V_{isol}	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s / 1 min.	3600 / 3000	V-
V_{isol}	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s / 1 min. for SKK ...H4 to heatsink	4800 / 4000	V-
M_s		5 ± 15 %	Nm
M_t	to terminals	9 ± 15 % ¹⁾	Nm
a		5 * 9,81	m/s ²
m	approx.	600	g
Case		A 78b	



Case A 78b

Рисунок 5 - Внешний вид диодного модуля

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы ЭП
($I_d = I_{dm} / k_1 = 249,7 / 1,3 = 192,07 \text{ A}$):

$$P_{DV} = m_v k_{cs} (U_j + R_{on} \frac{I_{dm}}{k_1}) \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0.577 \cdot 0,8 \cdot 192,07 = 507,06 \text{ Вт}$$

где $k_{cs} = 0.577$ - для мостовой трехфазной схемы; $k_{cs} = 0.785$ - для мостовой однофазной схемы; R_{on} - динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии, Ом; U_j - прямое падение напряжения, В, на полупроводниковом приборе при токе 50 мА ($U_j + R_{on} I_{dm} / k_1 \leq 1 \text{ В}$ для диода или 1.3 В для тиристора); m_v - число полупроводниковых приборов в схеме.

Максимально допустимое переходное сопротивление охладитель - окружающая среда в расчете на выпрямитель:

$$R_{th(f-a)} \leq \frac{T_c - T_a}{P_{DV}} - R_{th(c-f)}$$

$$0,04 \leq \frac{90-45}{507,06} - 0,038$$

$$0,04 \leq 0,05$$

где $R_{th(c-f)}$ - термическое переходное сопротивление корпус-поверхность теплопроводящей пластины модуля, °С/Вт.

Температура кристалла:

$$T_{jDV} = T_c + \frac{P_{DV}}{n_D} R_{th(j-c)DV} = 90 + \frac{507,06}{2} \cdot 0,07 = 107,7 \text{ °С}$$

$R_{th(j-c)DV} = 0.07$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для одного полупроводникового прибора модуля, °С/Вт; n_D - количество полупроводниковых приборов в модуле.

Необходимо, чтобы выполнялось условие: $T_{jDV} < 140^\circ\text{C}$.

$106,9 < 140^\circ\text{C}$ Условие выполнено.

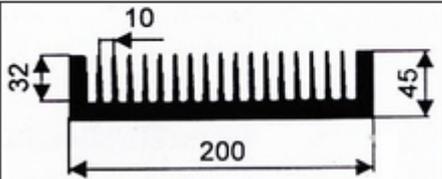
1.2.3 Расчет охладителя

Как правило, на один охладитель удается установить все приборы при мощности инвертора до 55 кВт. При установке модулей (выпрямитель, инвертор) на общий охладитель требуемое сопротивление определяется:

$$R_{th(f-a)} = \frac{R_{th(f-a)1} \cdot R_{th(f-a)2}}{R_{th(f-a)1} + R_{th(f-a)2}} = \frac{0,299 \cdot 0,121 \cdot 2}{0,299 + 0,121} = 0,164^{\circ}\text{C/Вт}$$

Выбираем охладитель типа АД31 БК-231 с габаритными размерами профиля $b = 0.2$ м, $h = 0.045$ м, расстояние между ребрами $c = 0.01$ (таблица №4).

Таблица 4 – Номинальные данные охладителя АД31 БК-231

	Наименование	Теор. масса 1 м/кг	цена за м. п. с НДС, рубли	цена за кг с НДС, рубли
	АД31 БК-231	12,9	3032	235

Количество ребер: $m = b/c = 0.2/0.01 = 20$

Площадь охладителя, участвующая в излучении тепла:

$$A_{rad} = n \cdot [2 \cdot d \cdot b + h] = 4 \cdot 2 \cdot d \cdot (0.2 + 0.045) = 1.96 \cdot d$$

где d, b, h – габаритные размеры профиля, м; n – количество охладителей.

Площадь данного охладителя, участвующая в конвекции:

$$A_{conv} = n \cdot [2 \cdot d \cdot b + m(h - c)] = 4 \cdot 2 \cdot d \cdot (0.2 + 20(0.045 - 0.01)) = 1.67 \cdot d$$

где m – число ребер.

Переходное сопротивление излучению тепла:

$$R_{Qrad} = \frac{\Delta T}{5,1E \cdot A_{rad} \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]} = \frac{45}{5,1 \cdot 0,8 \cdot 1,96 \cdot d \cdot \left[\left(\frac{363}{100} \right)^4 - \left(\frac{318}{100} \right)^4 \right]} = \frac{0,079}{d},$$

где $T_c = 363$ К – температура поверхности охладителя; $T_a = 318$ К – температура окружающей среды; $\Delta T = T_c - T_a = 45$ К; E – коэффициент излучения поверхности ($E = 0,8$ для алюминия).

Переходное температурное сопротивление теплопередачи конвекцией:

$$R_{Q_{conv}} = \frac{1}{1,34A_{conv} \cdot F_{red}} \left(\frac{d}{\Delta T} \right)^{0,25},$$

где F_{red} – коэффициент ухудшения теплоотдачи (конвекции). График зависимости F_{red} от расстояния между ребрами дан на рис. 56.

$$R_{Q_{conv}} = \frac{1}{1,34 \cdot 1,67 \cdot d \cdot 0,75} \left(\frac{d}{45} \right)^{0,25} = \frac{0,22}{d} \cdot d^{0,25}$$

Переходное температурное сопротивление охладитель – окружающая среда при естественном охлаждении:

$$R_{th(f-a)} = \frac{R_{Q_{rad}} \cdot R_{Q_{conv}}}{R_{Q_{rad}} + R_{Q_{conv}}},$$

Следовательно, имеем следующую зависимость:

$$R_{th(f-a)} = \frac{B \cdot C \cdot d^{0,25}}{A \cdot d \cdot (C + B \cdot d^{0,25})} = f(d)$$

где A, B, C - коэффициенты, полученные при подстановке ($R_{Q_{rad}}, R_{Q_{conv}}, R_{th(f-a)}$)

$$\begin{aligned} R_{th(f-a)} &= \frac{\frac{0,079}{d} \cdot \frac{0,22}{d} \cdot d^{0,25}}{d \left(\frac{0,079}{d} + \frac{0,22}{d} \cdot d^{0,25} \right)} = \\ &= \frac{0,079 \cdot 0,22 \cdot d^{0,25}}{d(0,079 + 0,22d^{0,25})} = \frac{0,0017 \cdot d^{0,25}}{d(0,079 + 0,22d^{0,25})} = f(d) \end{aligned}$$

Для различных значений d рассчитываем зависимость $f(d)$, результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета

$d, 10^{-2} \text{ м}$	0.4	0.5	0.8	1	2	5	7	10	20	30	40
$R_{th(f-a)}, ^\circ\text{C/Вт}$	0.8	0.66	0.44	0.36	0.2	0.088	0.065	0.047	0.025	0.017	0.013

По полученным значениям строим график зависимости $R_{th(f-a)}$ от d (рис.6).

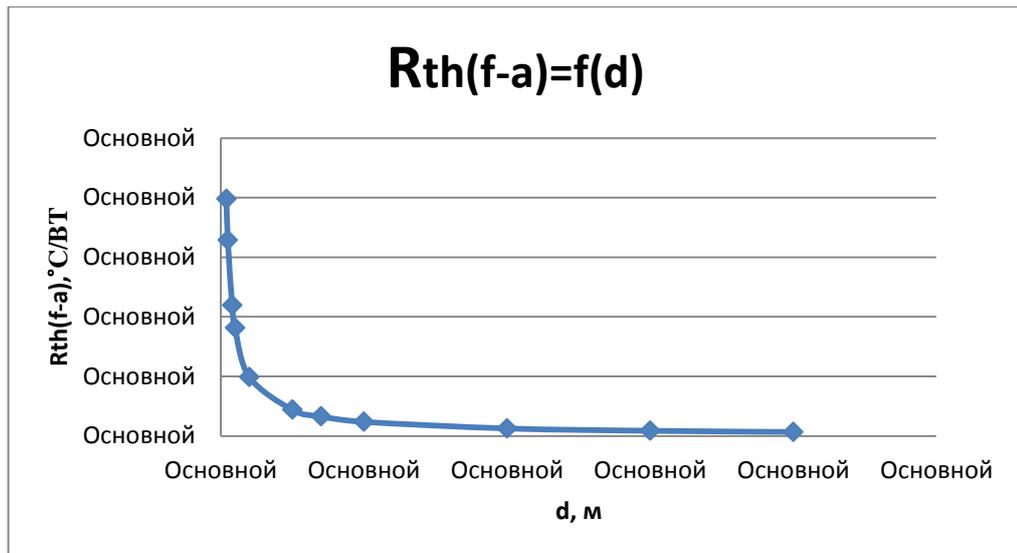


Рисунок 6 - График зависимости $R_{th(f-a)} = f(d)$

1.2.4 Расчет фильтра

Коэффициент пульсаций на входе фильтра (отношение амплитуды напряжения к среднему значению):

$$q_{1BX} = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{36 - 1} = 0.057$$

где m – пульсность схемы выпрямления ($m=6$ для трехфазной мостовой схемы, $m=2$ для однофазной мостовой схемы).

Параметр сглаживания LC-фильтра:

$$L_0 C_{01} = \frac{S + 1}{(2\pi m f_s)^2} = \frac{12 + 1}{(2 \cdot 3.14 \cdot 6 \cdot 50)^2} = 3.663 \cdot 10^{-6}$$

где $S = \frac{q_{1BX}}{q_{1BЫX}}$ - коэффициент сглаживания по первой гармонике;

f_s - частота сети, Гц.

Параметр сглаживания С-фильтра:

$$L_s C_{02} = \frac{S+1}{(2\pi m f_s)^2} = \frac{10+1}{(2 \cdot 3.14 \cdot 6 \cdot 50)^2} = 3.099 \cdot 10^{-6}$$

где L_s - индуктивность сети, Гн, приведенная к звену постоянного тока.

Значения коэффициента сглаживания лежат от 3 до 12.

Индуктивность дросселя LC-фильтра для обеспечения коэффициента мощности на входе выпрямителя $K_m = 0.95$ определяется из следующих условий:

$$L_0 \geq 3L_{0\min} = 3 \cdot 121.9 = 365.7 \text{ мкГн}$$

$$L_{0\min} \approx \frac{0.013U_{II}}{2\pi f_s I_d} = \frac{0.013 \cdot 380}{6.28 \cdot 50 \cdot 81,38} = 193.3 \text{ мкГн}$$

где I_d - номинальный средний ток звена постоянного тока.

Емкость конденсаторов, необходимая для протекания реактивного тока нагрузки инвертора, находится из выражения:

$$C_{03} = \frac{\sqrt{3}I_{sm1} \sin^2\left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2U_d f_{sw} q_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 142.6 \cdot \sin^2(10-15)}{2 \cdot 513 \cdot 5000 \cdot 0.057} = 6.4 \text{ мкФ} ,$$

где $I_{sm1} = I_{c \max}$ - амплитудное значение тока в фазе двигателя, А.

Согласно полученному значению выбираем следующие конденсаторы [6]:

К75-24-1600 В-8 мкФ – 1 шт.

1.2.5 Расчет снаббера.

Так как IGBT коммутируются с высокой скоростью, то напряжение $U_{се}$ быстро возрастает, особенно при запираии транзистора, и может достигнуть критического значения, способного вызвать пробой либо коллектора, либо затвора транзистора. Чтобы минимизировать превышение напряжения

(перенапряжение) и предотвратить аварию IGBT, требуется установка снаббера (демпфирующей цепи).

По табл. 56.29 [3] выбираем следующую схему снаббера (рис. 6), обладающую особенностями: а) малое число элементов, б) низкие потери мощности, в) подходит для конденсаторов средней и малой емкости.

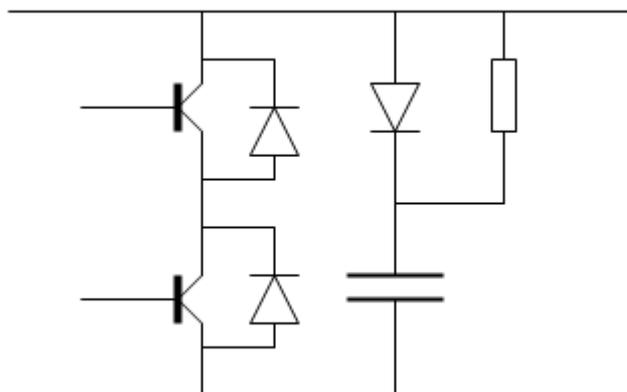


Рисунок 7 - Схема снаббера

Емкость конденсатора снаббера определяется напряжением второго броска $\Delta U'$, который не должен превышать 25 В. Выражение для расчета емкости представляется в виде:

$$C \approx L_1 \cdot (I_c / \Delta U')^2 ; C \approx 50 \cdot 10^{-9} \cdot (316.6 / 25)^2 = 7,98 \text{ мкФ},$$

где L_1 – индуктивность проводов между электролитическим конденсатором и IGBT-модулем (значение $L_1=50$ нГн или менее); $I_c = I_{c \text{ max}} = 316,6$ А – отключаемый ток.

Выбираем для снаббера конденсатор с хорошими частотными характеристиками, малой собственной индуктивностью, высокими импульсными токами и малым тангенсом угла потерь типа **K78-25-2 SH** емкостью $C = 8$ мкФ.

Выбор сопротивления резистора производится из условия минимума колебаний тока коллектора при включении IGBT:

$$R \geq 2 \sqrt{\frac{L_{sn}}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-9}}{8 \cdot 10^{-6}}} = 0,07 \text{ Ом}$$

где L_{sn} – индуктивность цепей снаббера, Гн (10 нГн или менее); C – емкость выбранного снаббера, Ф.

Требуемая мощность резистора снаббера:

$$P = 0,5 \cdot C \cdot \Delta U^2 \cdot f_{sw} = 0,5 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 60^2 \cdot 5000 = 72 \text{ Вт}$$

где ΔU – перенапряжение, В, которое не должно превышать 60 В.

Выбираем для снаббера резистор штампованный ленточный типа ЛФЮ с номинальным сопротивлением при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $R = 0,3 \text{ Ом}$ и продолжительным допустимым током $I_{доп} = 270 \text{ А}$.

Действительная мощность резистора снаббера:

$$P = I_{доп}^2 \cdot R = 270^2 \cdot 0,3 = 21870 \text{ Вт.}$$

Ток, протекающий через диод снаббера - импульсный. Он почти равен отключаемому току коллектора $I_{c\ max}$ и длится до 1 мкс.

Отношение максимума тока через снаббер к среднему около (20 - 50):1, диод должен быть высокочастотным со временем восстановления запирающих свойств $t_{rr} = 0,3 \text{ мкс}$ и менее.

Выбираем быстро восстанавливающийся диод типа 2Д215А1 с временем обратного восстановления $t_{вос.обр.} = 300 \text{ нс}$.

1.3 Выбор преобразователя частоты.

По [3, 93 с.] Выбираем преобразователь частоты «Универсал» типоразмера 30 со следующими параметрами:

Таблица 6 – Паспортные данные преобразователя частоты

Технические характеристики		
Выход	Число фаз	3
	Номинальное напряжение, В	380
	Номинальная частота, Гц	50
	Диапазон регулирования напряжения, В	0 - напряжение питающей сети
	Дискретность регулирования напряжения, %	0,5 от 380 В
	Диапазон регулирования частоты, Гц	2-512
	Дискретность регулирования частоты, Гц	0,015
	Дискретность ввода частоты с пульта оператора, Гц	0,02
	Диапазон регулирования скорости в разомкнутой системе	1:10
	Диапазон регулирования скорости в замкнутой системе	1:30
	Принцип управления	U/f - закон управления, от 2 до 4 точек интерполяции
	Способ модуляции	синусоидальная центрированная ШИМ
	Тактовая частота ШИМ, кГц	4,8 (или 9,6)
Вход	Число фаз	3
	Напряжение питающей сети, В	380, ±20%
	Частота питающей сети, Гц	50/60

Рабочие функции	Задание частоты или технологической переменной	числовое задание; 0-5 В, 0-10 В, ± 5 В, ± 10 В; 0-5 мА, 4-20 мА; потенциометр (10 кОм)
	Уставки задания частоты или технологической переменной	8 постоянных настраиваемых уставок, активация их через дискретные входы
	Команды пуск/стоп	подача команд с пульта, подача команд через дискретные входы
	Пуско-тормозная характеристика	линейная/S-образная, выбор 1 или 2 уровней интенсивностей на разгоне и на торможении
	Автоматический повторный пуск при обнаружении аварии или ошибки	для некоторых видов аварийных ситуаций
	Регулятор технологической переменной	ПИД-регулятор, настраивается каждая составляющая, приём сигналов отрицательной и положительной (по возмущению) обратных связей
Защитные функции	Защиты преобразователя и двигателя	защита от короткого замыкания на корпус, максимально-токовая защита, защита от обрыва фаз, перекоса фаз, защита от понижения или повышения напряжения в звене постоянного тока, защита от неправильной работы входного тиристорного выпрямителя, тепловая защита, защита от потери питания контроллером
	Режимы коррекции	коррекция выходного напряжения в зависимости от напряжения питающей сети, коррекция интенсивности (при разгоне) и рабочей частоты (в установ. режиме) при превышении тока I_d , коррекция интенсивности торможения при превышении напряжения на звене постоянного тока (U_d)

Опции	Внешние опции	возможность подключения внешнего тормозного блока для приёма энергии торможения, возможность управления внешним механическим тормозом, подключение внешнего датчика температуры двигателя
	Внутренние опции	возможность подключения портативного компьютера через последовательный порт RS-232 для интерактивной настройки конфигурации и параметров и для цифрового осциллографирования переменных электропривода, создание локальной промышленной сети для согласованного управления несколькими рабочими станциями через последовательный порт RS-485
Исполнение	Стандарт защиты	IP 21
	Температура окружающей среды, °С	0-40*

* возможна доработка серии на использование в расширенном температурном диапазоне

Таблица 7 – Типоразмеры преобразователя частоты

	Типоразмер ПЧ "УНИВЕРСАЛ"									
	-15	-18,5	-22	-30	-37	-45	-55	-75	-110	-160
Номинальная мощность двигателя (M=const), кВт	15	18,5	22	30	37	45	55	75	110	160
Номинальный ток преобразователя (M=const), А	31	38	43	57	71	86	110	144	216	325
Допустимая перегрузка (M=const)	150% номинального тока преобразователя в течение 1 мин									

1.4 Выбор аппаратуры управления и защиты

1.4.1 Аппаратура управления

Для управления АД воспользуемся контроллером ADMC401 (motor controller) [10] со следующими параметрами:

- Объем адресуемой памяти: 16 МВ
- Ускорение 32-бит операций с использованием аккумулятора/регистра:
 - 32 бит x 32 бит
 - 16 бит x 16 бит
 - 32 бит / 16 бит
- Система прерываний с девятью приоритетными уровнями
- Доступные размеры блока памяти составляют 64КВ, 128КВ, 256КВ, 512КВ
- Блоки разделены на отдельно стираемые сектора
- Контроллеры поддерживают программирование с помощью Embedded Algorithm™
- Не требуется дополнительное напряжение для программирования
- 10000 циклов стирания.
- гарантированное время хранения данных 10 лет.
- Программирование тремя методами:
 - обычным программатором
 - с помощью последовательного порта в готовом устройстве
 - запись flash с помощью программного загрузчика пользователя

1.4.2 Аппаратура защиты

Так как преобразователь частоты имеет много различных защитных функций (табл. 6), то из элементов защиты выберем только автоматический выключатель, конечные выключатели, а также электромагнитный тормоз.

Выбор автоматического выключателя

В качестве устройства защиты трехфазной цепи будем использовать автоматический выключатель QF для защиты электрической схемы от токов короткого замыкания.

Для отдельного электроприемника [4]:

$$1. I_{н.расц.} \geq I_{номЭП} = 137,8 A$$

$$2. I_{уст} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} = 1,2 \cdot 7,5 \cdot 137,8 = 1240,2 A$$

Выбираем автоматический выключатель типа ВА 0436-84 [11], у которого $I_{уст} = 1500 A$, $I_{н.расц.} = 250 A$. Автоматические выключатели серий ВА51-39 служат для пуска, останова и защиты АД от токов перегрузки и токов КЗ. Автоматы имеют один замыкающий и один размыкающий контакты или два замыкающих контакта, а также независимые и минимальные расцепители напряжения.

Выбор конечных выключателей

Защита от перехода механизмом предельных положений осуществляется конечными и путевыми выключателями. Эта защита обязательна к применению для всех механизмов крана.

Контакты конечных выключателей включены в цепь катушки линейного контактора защитной панели и в цепь нулевой защиты магнитных контроллеров.

Для механизма подъема выберем конечный выключатель типа КУ703, данные которого представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Технические данные кранового конечного выключателя.

Тип	КУ 703
Назначение	Механизм подъема
Привод	Самовозврат под действием груза
Вкл. ток, А	10
Скорость движения механизма, м/мин	1-80
Число включений в час	600
Ст. защиты	IP44
Откл. ток, А до 500 В	10
Электрическая износостойкость циклов В-О	$0,3 \cdot 10^6$
Механическая износостойкость, циклов В-О	$1 \cdot 10^6$
Число цепей	2

Выбор электромагнитного тормоза

В грузоподъемных машинах тормоз является важнейшим элементом, обеспечивающим безопасность эксплуатации, поэтому наиболее важные условия выбора, установки и функционирования тормозов регламентированы действующими правилами безопасной эксплуатации кранов утвержденных, Госгортехнадзором. В соответствии с этим каждый подъемный механизм грузоподъемной машины должен снабжаться нормально замкнутым тормозом, расположенным на таком участке кинематической схемы, который имеет неразъемную, под нагрузкой связь с выходным валом передаточного механизма. Подъемные механизмы, которые служат для передвижения жидкого металла, должны иметь два нормально замкнутых независимых тормоза. При этом наличие в кинематической цепи двух тормозов обязательно для двух двигательных механизмов, при аварийном механическом отключении одного из двигателей.

Основным параметром тормоза является гарантированно развиваемый им тормозной момент. Тормозной момент определяется усилием на измерительном рычаге, при котором начинается проскальзывание шкива или дисков тормоза. Согласно правилам Госгортехнадзора, каждый из

установленных на механизме механических тормозов должен удерживать груз, составляющий 125% номинального, при его остановке только с помощью этого тормоза.

Определяем расчетный момент тормоза, Н·м:

$$M_{\text{тр}} = \frac{G \cdot v_n \cdot 94000 \cdot \eta}{n_{\text{ном}}} = \frac{20 \cdot 0,33 \cdot 94000 \cdot 0,75}{1480} = 314,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где G - номинальная грузоподъемность, т;

v_n - номинальная скорость подъема, м/с;

η - КПД механизма для номинальной нагрузки;

$n_{\text{ном}}$ – ном. частота вращения, соответствующая скорости V_n , об/мин.

Определяем тормозной момент с учетом режимов работы механизма подъема, Н·м:

$M_T = k_{\text{зт}} \cdot M_{\text{тр}}$, где $k_{\text{зт}}$ - коэффициент запаса тормоза. В соответствии с требованиями Госгортехнадзора $k_{\text{зт}} = 1,25$.

$$M_T = 1,25 \cdot 314,4 = 393 \text{ Нм.}$$

Выбираем тормозной электромагнит переменного тока серии КМТ 4А, имеющего следующие технические данные (табл. 9):

Таблица 9 – Технические данные электромагнита КМТ 4А

диаметр шкива, мм (м)	400(0,4)
тормозной момент, Нм	1300
Данные электромагнита:	
тяговое усилие, Н	700
масса якоря, кг	24
максимальный ход, мм	50
допустимое число включений в час	300
время включения, сек	0,2
время отключения, сек	0,25
полная мощность, при включении, В*А	38000
полная мощность во включенном состоянии, В*А	1900
потребляемая мощность, Вт	400

1.5 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения

В распределительных сетях до 1000 В выбор сечений питающих линий производится по длительно допустимой нагрузке:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{k_{\text{прок}}} = \frac{137,8}{1} = 137,8 \text{ А},$$

$$I_{\text{доп}} \geq k_3 \cdot \frac{I_{\text{н.расч.}}}{k_{\text{прок}}} = 1 \cdot \frac{250}{1} = 250 \text{ А},$$

где $k_3 = 1$ – коэффициент защиты, для сетей требующей защиты от перегрузки, находящийся в нормальном помещении и имеющих изоляцию из резины или аналогичную по тепловым характеристикам.

$k_{\text{прок}} = 1$ – поправочный коэффициент зависящий от количества параллельно прокладываемых кабелей.

Выбираем кабель марки АПВ (1х120) с $I_{\text{доп}} = 295 \text{ А}$.

2. Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода

2.1 Расчет естественных $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ характеристик регулируемого электропривода

Для расчета механических и электромеханических характеристик произведем расчет параметров схемы замещения [5].

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{104,4^2 - [0,75 \cdot 137,8 \cdot (1 - 0,025) / (1 - 0,75 \cdot 0,025)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,025) / (1 - 0,75 \cdot 0,025)]^2}} = 24,7 \text{ А,}$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{m_1 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_H \cdot \eta_H} = \frac{75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,94} = 137,8 \text{ А}$ - номинальный ток

статора двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{m_1 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,871 \cdot 0,94} = 104,4 \text{ А}$$
 - ток статора двигателя

при частичной нагрузке;

$$\cos \phi_{p_*} = 0,99 \cdot \cos \phi_H = 0,99 \cdot 0,88 = 0,871$$
 - коэффициент мощности при

частичной нагрузке;

$$p_* = P / P_H = 0,75 \text{ о.е.}$$
 - коэффициент загрузки двигателя;

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,025 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,025 \cdot 1,3 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,025 \cdot 1,3 \cdot (2,3 - 1)} = 0,12,$$

где $\beta = 0,6 - 2,5$, принимаем $\beta = 1,3$.

Определяем коэффициент:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{24,7}{2 \cdot 7,5 \cdot 137,8} = 1,012$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot (1 - 0,025)}{2 \cdot 1,012 \cdot 2,3 \cdot 75 \cdot 10^3} = 1,21$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} = \frac{1,21}{(1,3 + 1/0,12) \cdot 1,012} = 0,124 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,012 \cdot 0,124 \cdot 1,3 = 0,163 \text{ Ом}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{1/0,12^2 - 1,3^2} = 8,237$$

$$\text{Тогда } X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 8,237 \cdot 1,012 \cdot 0,124 = 1,034 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2\sigma H}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,58 \cdot 1,034 / 1,012 = 0,593 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1\sigma H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 1,034 = 0,434 \text{ Ом}$$

ЭДС ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \phi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \phi_{1H}} + X_{1\sigma H} \cdot I_{1H})^2} =$$

$$= \sqrt{380 \cdot 0,88 - 0,163 \cdot 137,8^2 + 380 \cdot \sqrt{1 - 0,88^2} - 0,434 \cdot 137,8^2} = 334,47 \text{ В}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{mH} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{334,47}{24,7} = 13,5 \text{ Ом}$$

Электрохимическая характеристика АД $I_2 = f(\omega)$:

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_0}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{380}{\sqrt{\left(0,163 + \frac{0,124}{1 - \omega / 157}\right)^2 + 1,034^2}}$$

где $\omega_0 = \pi \cdot n_0 / 30 = 3,14 \cdot 1500 / 30 = 157 \text{ с}^{-1}$ – синхронная угловая скорость двигателя.

Таблица 10 – $I_2 = f(\omega)$

$\omega, \text{с}^{-1}$	250	240	210	180	160	157	150	120	90	60	30	0
$I_2, \text{А}$	367,1	366,6	360,5	306,6	59,3	0	122	305,8	336,5	346,7	351,4	354

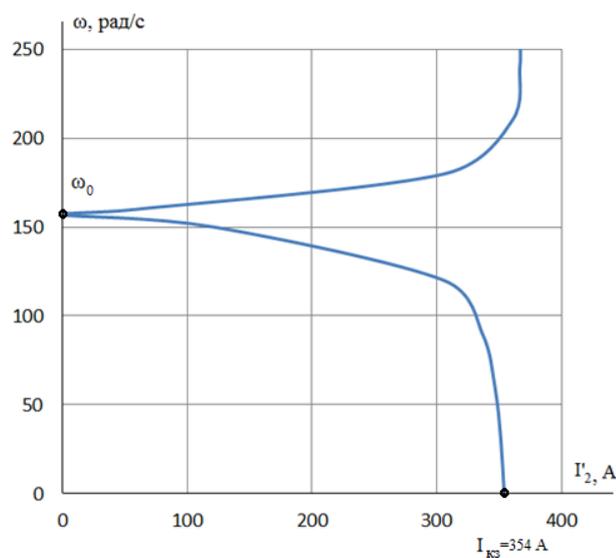


Рисунок 8 – Естественная электрохимическая характеристика $I_2 = f(\omega)$

Электромеханическая характеристика АД $I_1=f(\omega)$:

$$I_1 = \sqrt{I_0'^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \sqrt{24,7^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 24,7 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_0})^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,034}{\sqrt{(0,163 + \frac{0,124}{1 - \omega / 157})^2 + 1,034^2}}$$

Таблица 11 – $I_1=f(\omega)$

$\omega, \text{с}^{-1}$	250	240	210	180	160	157	150	120	90	60	30	0
$I_1, \text{А}$	381,8	391,3	384,8	327,5	67,8	24,7	132	326,6	359,3	370	375,1	378

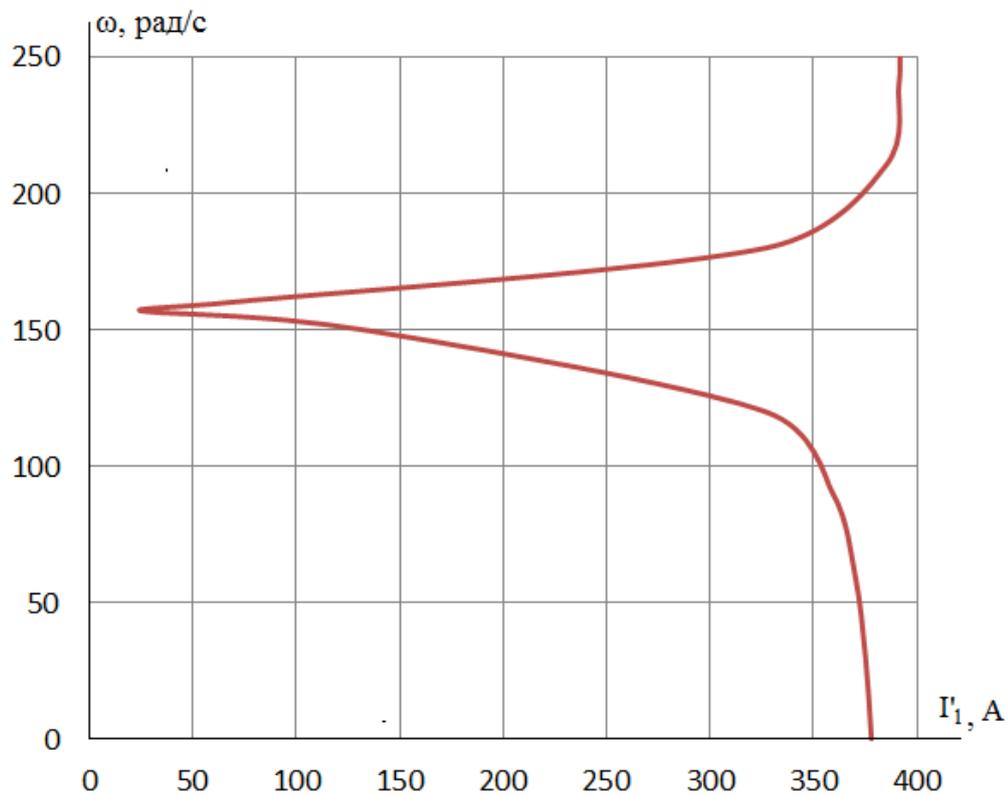


Рисунок 9 – Естественная электромеханическая характеристика $I_1=f(\omega)$

Механическая характеристика АД $M=f(\omega)$:

$$M = \frac{m_1 \cdot U_{1н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot (1 - \omega / \omega_0) \cdot [(R_1 + R_2' \cdot (1 - \omega / \omega_0)^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 0,124}{157 \cdot (1 - \omega / 157) \cdot [(0,163 + 0,124 \cdot (1 - \omega / 157)^{-1})^2 + (0,434 + 0,593)^2]}$$

Таблица 12 – $M=f(\omega)$

$\omega, \text{с}^{-1}$	250	240	210	180	160	157	150	120	90	60	30	0
M, Н·м	530,8	-589,4	-865,6	-1352	-418,1	0	858	1067	694	500,5	389,1	317,6

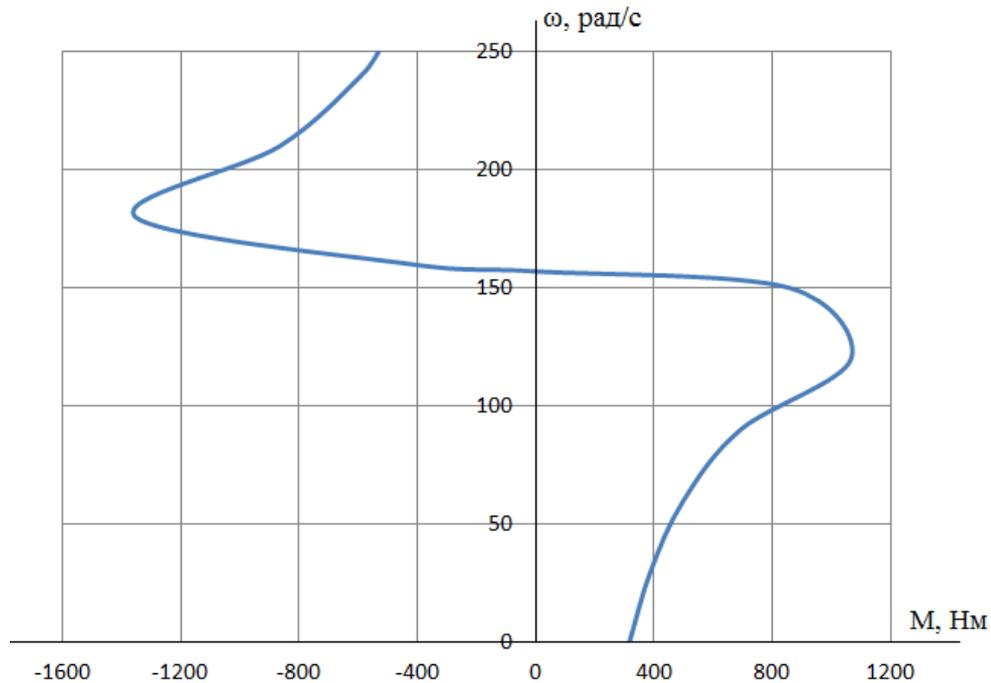


Рисунок 10 – Естественная механическая характеристика $M=f(\omega)$

2.2 Расчет искусственных (регулирующих) характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости

При частотном регулировании скорости выбираем следующий закон управления:

$$\frac{U_{1j}}{f_{1j}} = const$$

при следующих значениях частот напряжения обмотки статора:

$$f_{1n} = 50 \text{ Гц}, f_{12} = 40 \text{ Гц}, f_{13} = 30 \text{ Гц}, f_{14} = 20 \text{ Гц}, f_{15} = 10 \text{ Гц}$$

Относительное значение частоты питающей сети:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1n}} = \frac{50}{50} = 1, f_{2*} = \frac{40}{50} = 0,8, f_{3*} = \frac{30}{50} = 0,6, f_{4*} = \frac{20}{50} = 0,4, f_{5*} = \frac{10}{50} = 0,2$$

Фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя:

$$U_{11} = U_{1H} \cdot f_{1*} = 380 \cdot 1 = 380 \text{ В}, \quad U_{12} = U_{1H} \cdot f_{2*} = 380 \cdot 0,8 = 304 \text{ В},$$

$$U_{13} = U_{1H} \cdot f_{3*} = 380 \cdot 0,6 = 228 \text{ В}, \quad U_{14} = U_{1H} \cdot f_{4*} = 380 \cdot 0,4 = 152 \text{ В},$$

$$U_{15} = U_{1H} \cdot f_{5*} = 380 \cdot 0,2 = 76 \text{ В}$$

Синхронная угловая скорость:

$$\omega_{01} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с}, \quad \omega_{02} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 40}{2} = 125,6 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{03} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 30}{2} = 94,2 \text{ рад/с}, \quad \omega_{04} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{14}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 20}{2} = 62,8 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{05} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{15}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10}{2} = 31,4 \text{ рад/с}$$

где z_p – число пар полюсов.

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot (1 - \omega / \omega_{0j}) \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_{0j}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{(1 - \omega / \omega_{0j}) \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

При подстановке численных значений параметров схемы замещения асинхронного двигателя для частоты $f_{1H}=50$ Гц:

$$M = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 0,124}{157 \cdot (1 - \omega / 157) \left[1,034^2 \cdot 1^2 + \left(0,163 + \frac{0,124}{1 - \omega / 157} \right)^2 + \left(\frac{0,163 \cdot 0,124}{(1 - \omega / 157) \cdot 13,5 \cdot 1} \right)^2 \right]}$$

Таблица 13 – $M = f(\omega)$

50 Гц	$\omega, \text{с}^{-1}$	157	150	138	131	105	78,5	52	26	0
	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	788	1140	1087	760,7	552,7	429,7	351,6	297,1
40 Гц	$\omega, \text{с}^{-1}$	125,6	120	108	104	84	63	42	21	0
	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	656,3	1096	1086	849,3	643,2	510	420,5	357
30 Гц	$\omega, \text{с}^{-1}$	94,2	90	82	76	64	48	32	16	0
	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	508,4	966,1	1029	931,8	750,3	612,05	512,5	439,3
20 Гц	$\omega, \text{с}^{-1}$	62,8	60	55	50	40	30	20	10	0
	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	347	724,6	876,1	885,4	790,6	692,25	608,5	540
10 Гц	$\omega, \text{с}^{-1}$	31,4	28	24	20	16	12	8	4	0
	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	360,3	560	633	646,2	632,2	606,6	577	546

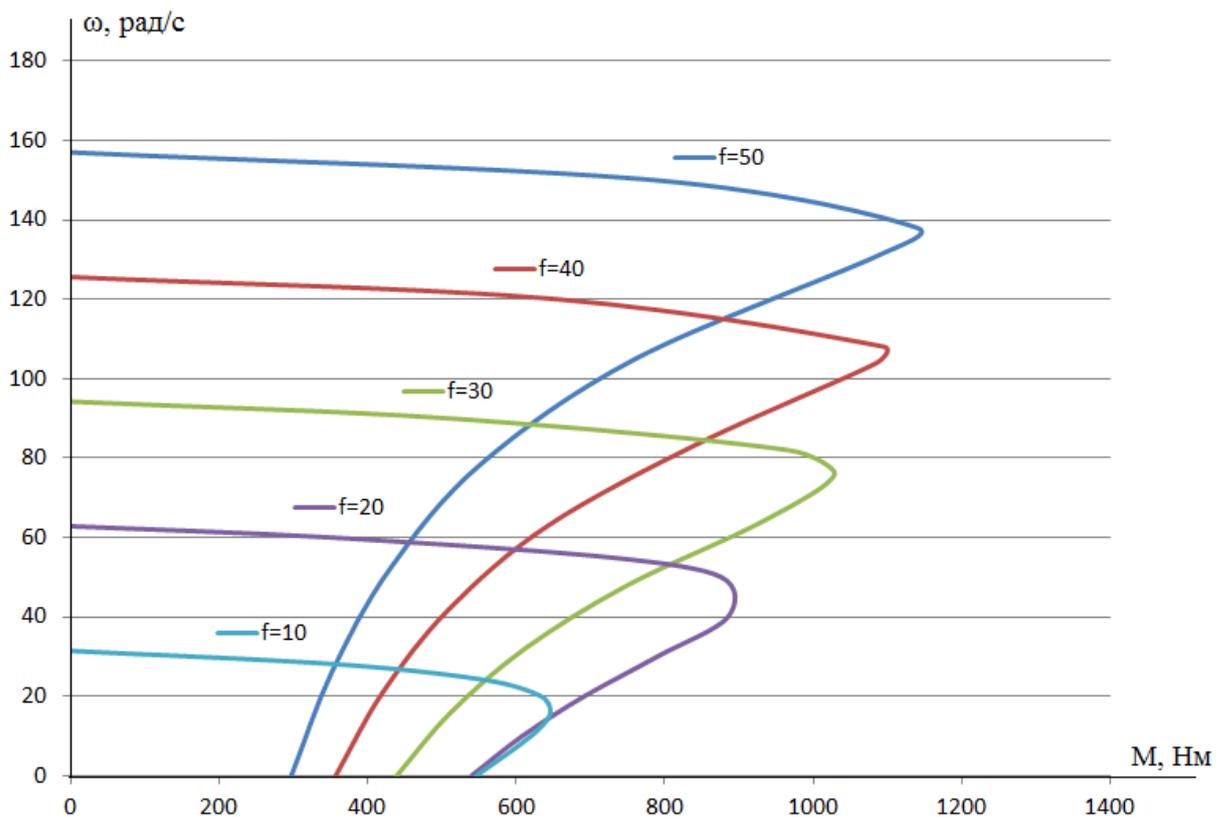


Рисунок 11 – Механические характеристики $M=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

Электромеханическая характеристика $I_2=f(\omega)$ для заданного закона регулирования:

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_{0j}}\right)^2 + X_{\text{КН}}^2 \cdot f_{j*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{(1 - \omega / \omega_{0j}) \cdot X_{\mu\text{Н}} \cdot f_{j*}}\right)^2}}$$

При подстановке численных значений параметров для частоты $f_{1\text{н}}=50\text{Гц}$:

$$I_2' = \frac{380}{\sqrt{\left(0,163 + \frac{0,124}{1 - \omega / 157}\right)^2 + 1,034^2 \cdot 1^2 + \left(\frac{0,163 \cdot 0,124}{(1 - \omega / 157) \cdot 13,5 \cdot 1}\right)^2}}$$

Таблица 14 – $I_2=f(\omega)$

50	$\omega, \text{с}^{-1}$	157	150	138	131	105	78,5	52	26	0
	Гц	$I_2, \text{А}$	0	121,8	241,3	275,6	326,1	341,5	351,9	353,8
40	$\omega, \text{с}^{-1}$	125,6	120	108	104	84	63	42	21	0
	Гц	$I_2, \text{А}$	0	99,4	227,7	251,1	308,2	329	338,5	348,8
30	$\omega, \text{с}^{-1}$	94,2	90	82	76	64	48	32	16	0
	Гц	$I_2, \text{А}$	0	75,7	178	224,3	275	305,3	320	328,2
20	$\omega, \text{с}^{-1}$	62,8	60	55	50	40	30	20	10	0
	Гц	$I_2, \text{А}$	0	51,1	123,2	173,6	233	264	282,2	293,9
10	$\omega, \text{с}^{-1}$	31,4	28	24	20	16	12	8	4	0
	Гц	$I_2, \text{А}$	0	57,3	105,5	139,3	163,6	181,6	195,3	206,3

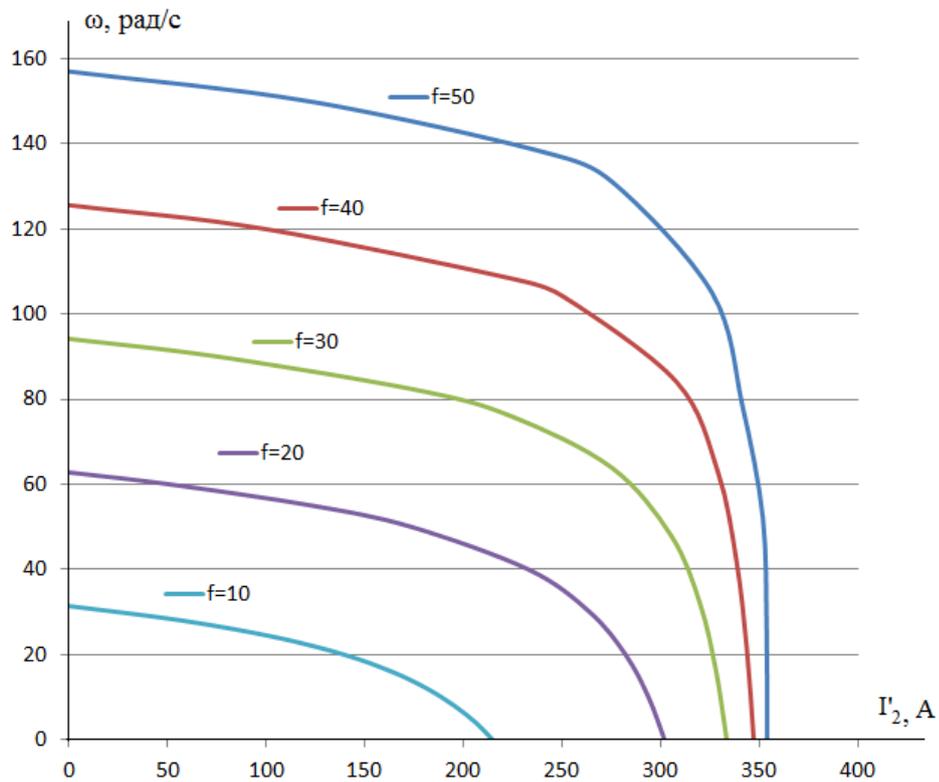


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики $I_2=f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j}=\text{const}$

Электромеханическая характеристика $I_1=f(\omega)$ при частотном управлении:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

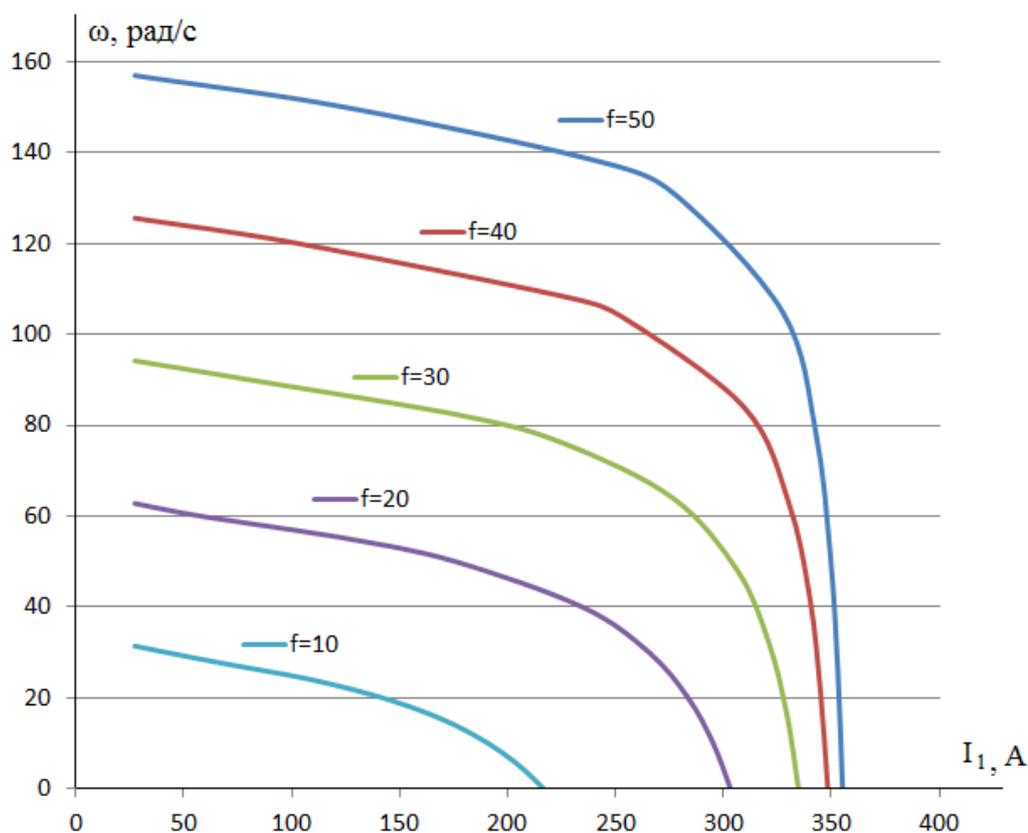
$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{X_{KH} \cdot f_{j*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{1 - \omega / \omega_0}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{j*}^2}}, \quad I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + X_{1\sigma H}^2 + X_{\mu H}^2 \cdot f_{j*}^2}}$$

При подстановке численных значений параметров схемы замещения асинхронного двигателя для частоты $f_{1H}=50$ Гц:

$$\sin \varphi_2 = \frac{1,034 \cdot 1}{\sqrt{\left(0,163 + \frac{0,124}{1 - \omega / 157}\right)^2 + 1,034^2 \cdot 1^2}}, \quad I_0 = \frac{380}{\sqrt{0,163^2 + 0,434 + 13,5^2 \cdot 1^2}}$$

Таблица 15 – $I_1 = f(\omega)$

50	$\omega, \text{с}^{-1}$	157	150	138	131	105	78,5	52	26	0
	$I_1, \text{А}$	27,27	124,9	243	277,1	327,3	342,7	349,4	353	355,2
40	$\omega, \text{с}^{-1}$	125,6	120	108	104	84	63	42	21	0
	$I_1, \text{А}$	27,27	103,1	229,4	252,6	309,5	330,2	340	345	348,3
30	$\omega, \text{с}^{-1}$	94,2	90	82	76	64	48	32	16	0
	$I_1, \text{А}$	27,27	80,6	180,2	226,1	276,5	306,5	321,1	329,5	334,7
20	$\omega, \text{с}^{-1}$	62,8	60	55	50	40	30	20	10	0
	$I_1, \text{А}$	27,26	58	126,3	175,8	234,6	265,5	283,6	295,2	303,2
10	$\omega, \text{с}^{-1}$	31,4	28	24	20	16	12	8	4	0
	$I_1, \text{А}$	27,23	63,5	109	142	166	183,7	197,3	208	216,6

Рисунок 13 – Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$ при частотном регулировании скорости с законом регулирования $U_{1j}/f_{1j} = \text{const}$

2.3. Расчет энергетических показателей электропривода

Номинальный режим:

Полная мощность

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 75000 \cdot \left(\frac{1}{0,94} - 1 \right) = 4787 \text{ Вт}$$

Переменная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{V.H} = M_{\text{ном}} (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = 483,95 \cdot (157 - 154,91) \cdot \left(1 + \frac{0,163}{0,124} \right) = 2341 \text{ Вт}$$

Постоянная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 4787 - 2341 = 2443 \text{ Вт}$$

Коэффициент потер мощности

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{2341}{2443} = 0,96$$

Активная энергия

Полезный расход энергии (механическая работа)

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 257,7 \cdot 157 \cdot 45,45 = 1,84 \cdot 10^6 \text{ Вт с}$$

где ω_C , t_C – соответственно угловая скорость и время установившегося режима.

Постоянная составляющая потери энергии

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{C.H} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_H} \right)^2 \cdot t_C = 2443 \cdot \left(\frac{157}{154,91} \right)^2 \cdot 45,45 = 1,14 \cdot 10^5 \text{ Вт с.}$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_C} \right)^2 + (X_K)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,163 + \frac{0,124}{0,027} \right)^2 + (1,034)^2}} = 45,2 \text{ А,}$$

Переменная составляющая потери энергии

$$\Delta A_V = 3 \cdot (I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (b \cdot R_1 + R_2')) \cdot t_c$$

где b – поправочный коэффициент

$$b = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_{1\phi}} = 1 + \frac{2 \cdot 24,7 \cdot 1,034}{220} = 1,23$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot (24,7^2 \cdot 0,163 + 45,2^2 \cdot (1,23 \cdot 0,163 + 0,124)) \cdot 45,45 = 10,4 \cdot 10^4 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Потребляемая из сети энергия

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 1,84 \cdot 10^6 + 1,14 \cdot 10^5 + 1,04 \cdot 10^5 = 2,058 \cdot 10^6 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии

$$\sum A_P = \sum_{i=1}^n 3 [I_0^2 \cdot (X_1 + X_{\mu}) + (I_{2i}')^2 \cdot (X_1 + X_2')] \cdot t_{c,i}$$

$$\sum A_P = 4,455 \cdot 10^6 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

где n – число установившихся режимов;

X_{μ} – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя

Энергетические показатели электропривода

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода

$$\eta_9 = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{4,33}{4,93} \cdot 100\% \approx 88\%.$$

где $\sum A_2$ – суммарный расход полезной энергии за цикл;

$\sum A_1$ – суммарное потребление энергии из сети за цикл;

Энергетический коэффициент мощности электропривода

$$\cos \varphi_9 = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_P)^2}} = \frac{4,33 \cdot 10^6}{\sqrt{(4,33 \cdot 10^6)^2 + (4,455 \cdot 10^6)^2}} = 0,742$$

2.4. Расчет электромеханических переходных характеристик $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ при пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания

Для построения динамических характеристик асинхронного электродвигателя воспользуемся программой MATLAB 7.120 (R2011a) (Simulink).

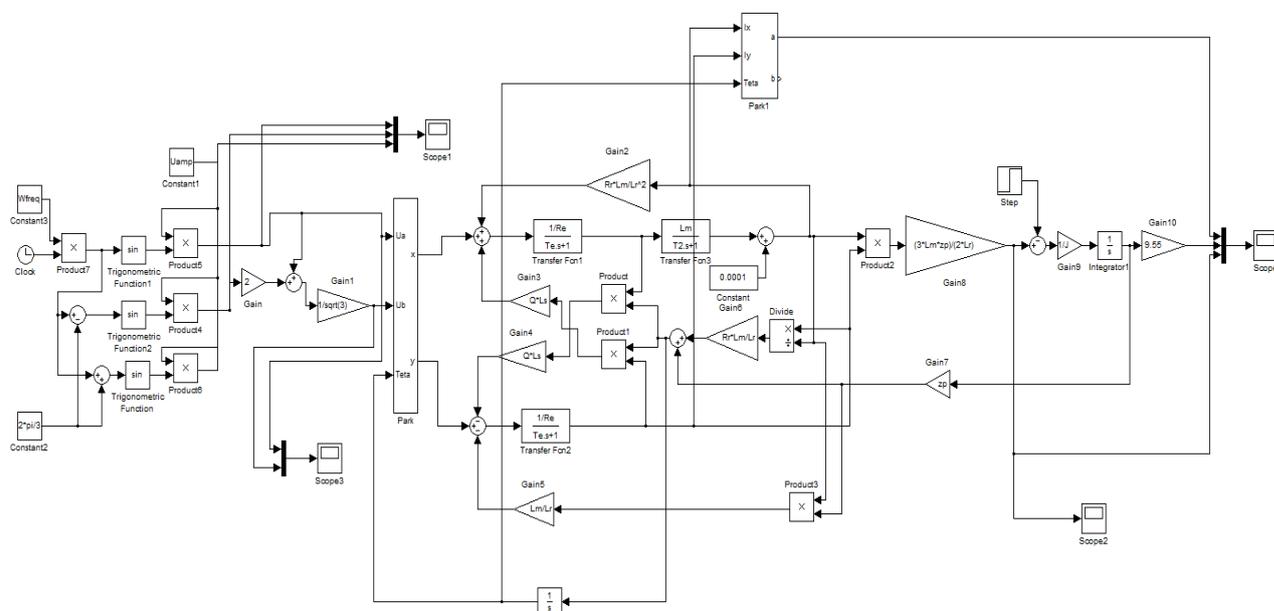


Рисунок 14 – Имитационная модель асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

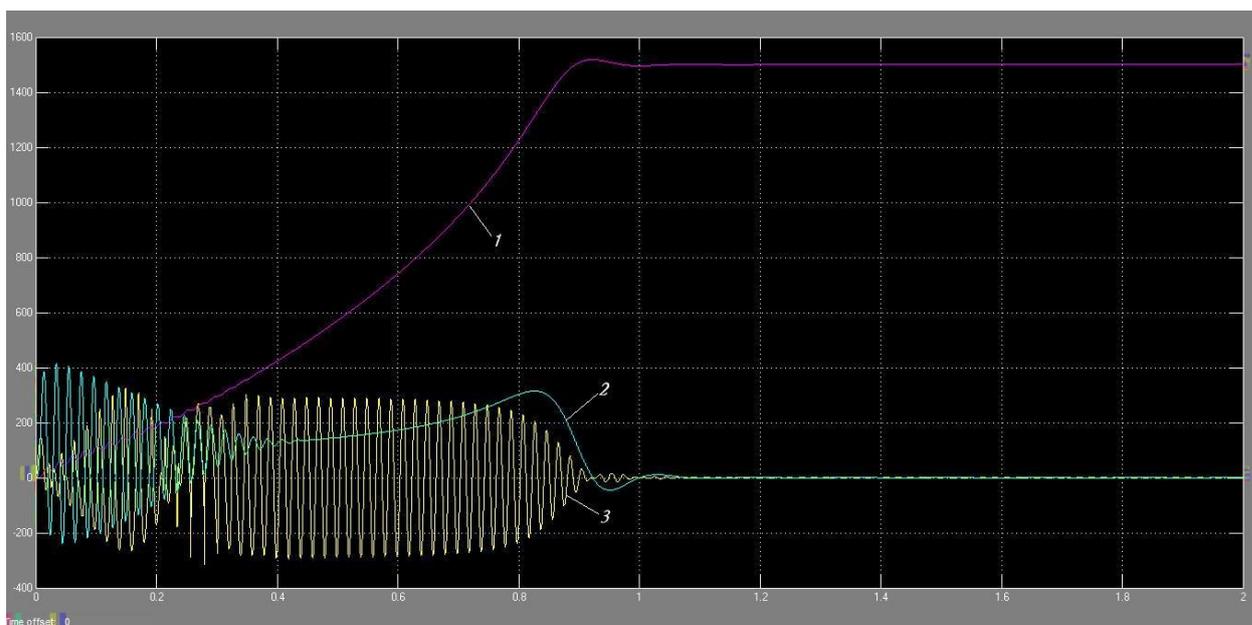


Рисунок 15 - Переходный процесс двигателя при прямом пуске 1. $\omega = f(t)$
2. $M = f(t)$ 3. $I = f(t)$

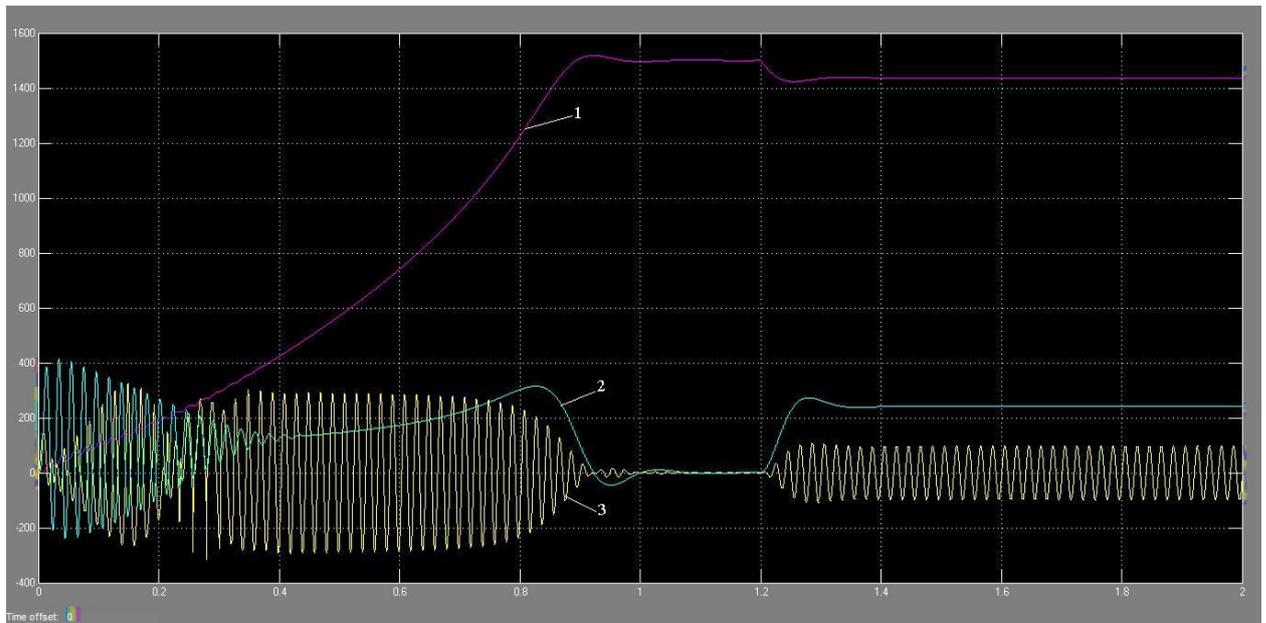


Рисунок 16 - Переходный процесс двигателя при набросе нагрузки

1. $\omega = f(t)$ 2. $M = f(t)$ 3. $I = f(t)$

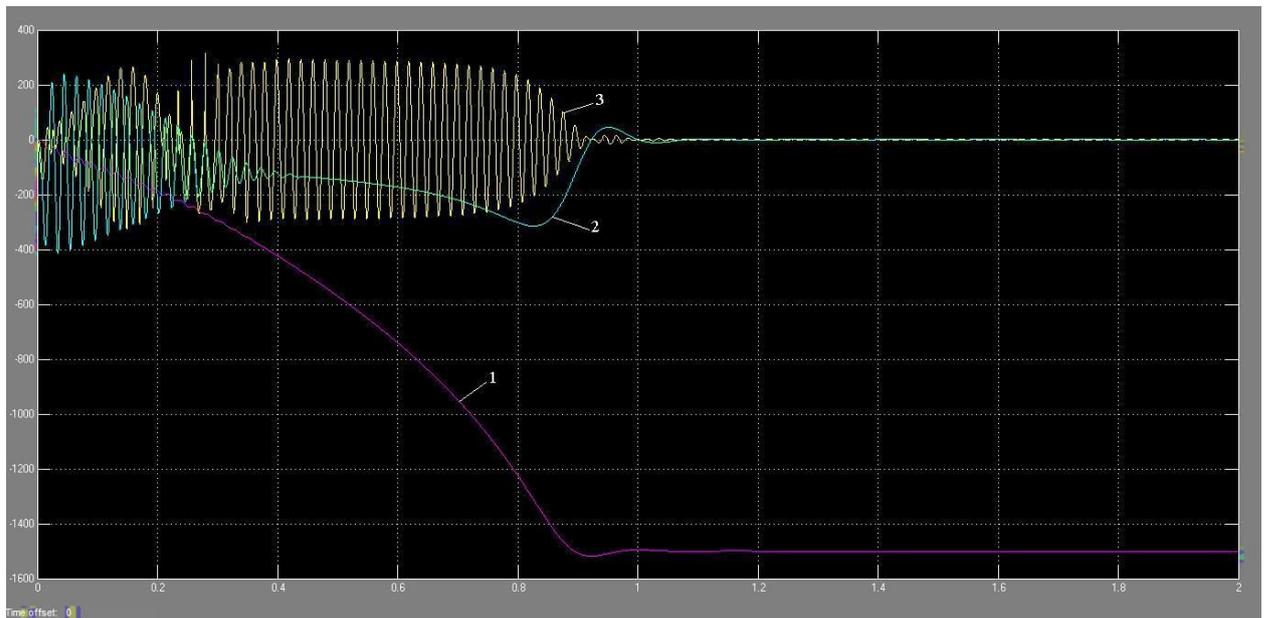


Рисунок 17 – Переходный процесс двигателя при реверсе 1. $\omega = f(t)$

2. $M = f(t)$ 3. $I = f(t)$

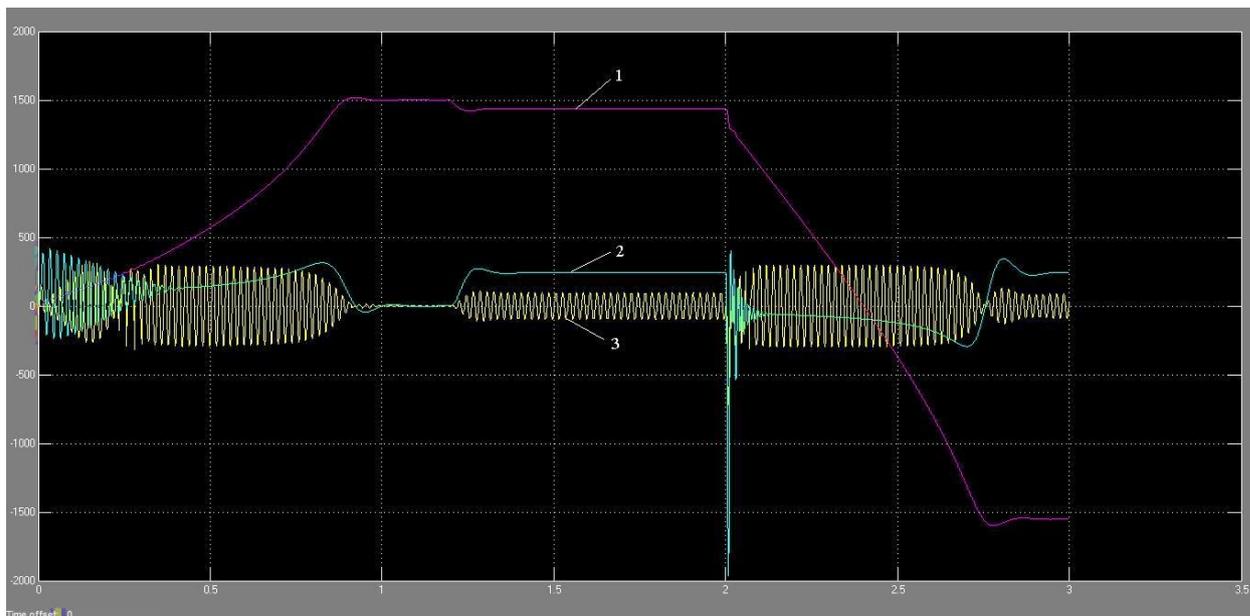


Рисунок 18 – Переходный процесс двигателя при прямом пуске с набросом нагрузки и реверсе 1. $\omega = f(t)$ 2. $M = f(t)$ 3. $I = f(t)$

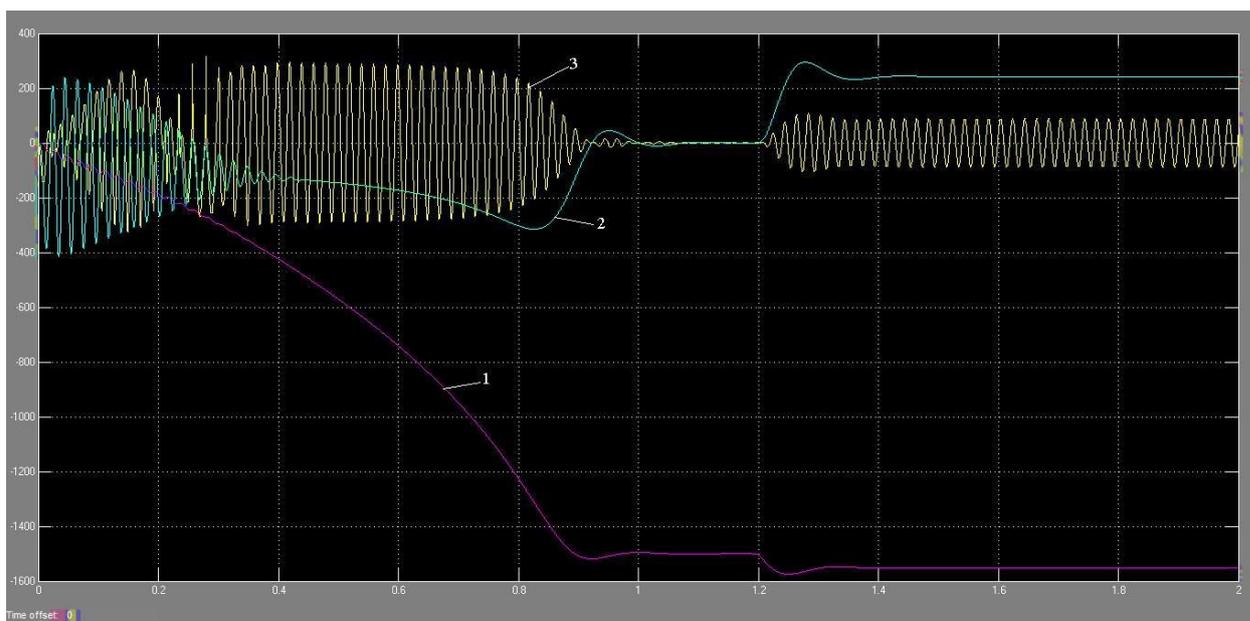


Рисунок 19 – Переходный процесс двигателя при реверсе и набросе нагрузки 1. $\omega = f(t)$ 2. $M = f(t)$ 3. $I = f(t)$

3 Расчет параметров структурной схемы

3.1 Составление структурной схемы системы регулируемого электропривода

Структурная схема частотно-регулируемого двухзонного асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис.17 [6]. На схеме приняты следующие обозначения:

$W_{\Phi_{pT}}, W_{\Phi_{p\Psi}}, W_{\Phi_{pc}}$ – передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

k_T – коэффициент обратной связи по току, В/А.

k_{Ψ} – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора, В/Вб;

k_c – коэффициент обратной связи по скорости, В·с/рад;

$T_{\mu T} = \frac{T_{cT}}{3}$ – малая постоянная времени цепи обратной связи по току, с;

$T_{cT} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} \cdot n_T$ – интервал преобразования результатов измерения тока, с;

n_T – количество периодов модуляции для измерения тока;

$T_{\mu\Psi_0} = \frac{T_{c\Psi}}{3}$ – малая постоянная времени цепи обратной связи по

потокосцеплению, с;

$T_{c\Psi} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} \right) \cdot n_{\Psi}$ – интервал расчета потокосцепления, с;

n_{Ψ} – количество периодов модуляции для измерения потокосцепления;

$T_{\mu c} = \frac{T_{cc}}{3}$ – малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости, с;

$$T_{cc} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} \right) \cdot n_c - \text{интервал расчета (измерения) скорости, с;}$$

n_c – количество периодов модуляции для измерения скорости.

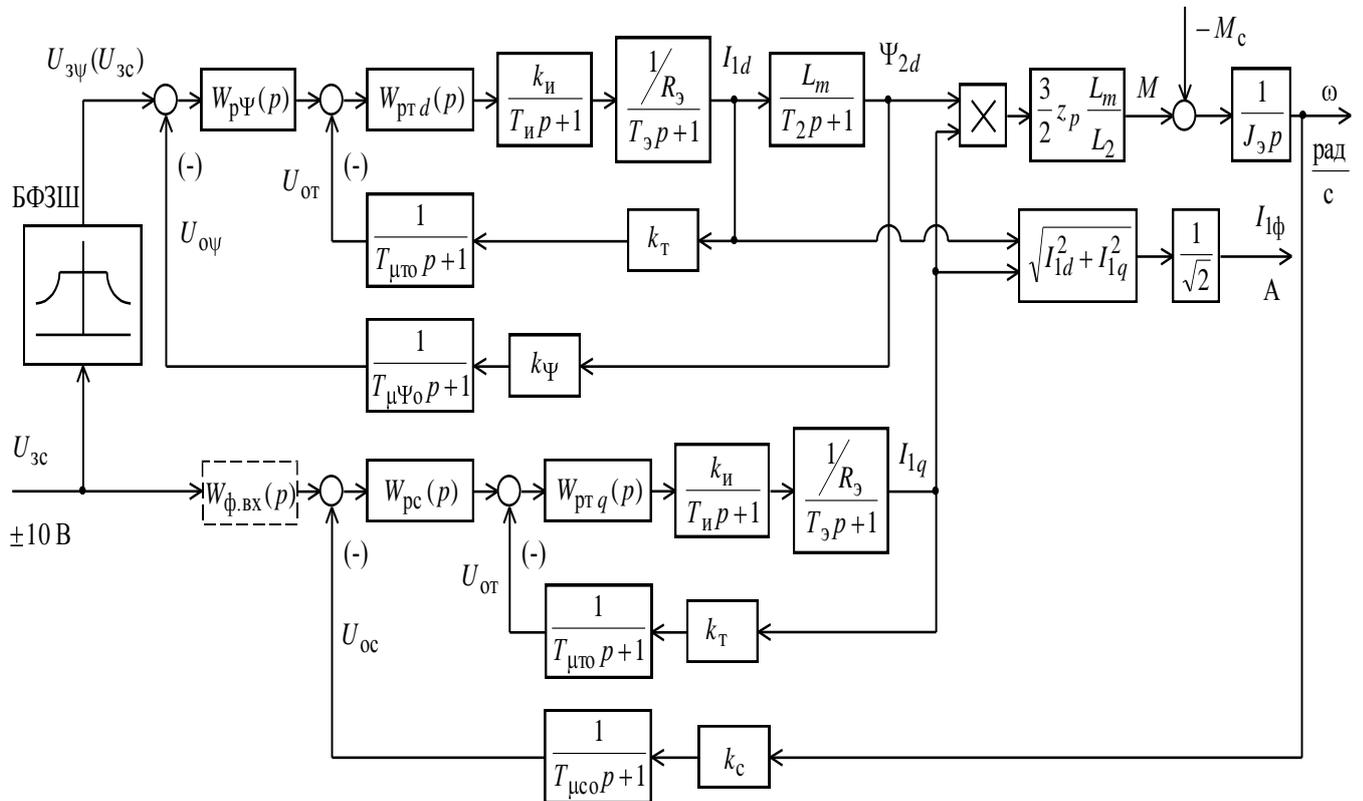


Рисунок 20 - Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

3.1.1 Модель асинхронного двигателя

Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по вектору потокосцепления ротора:

$$\left\{ \begin{aligned} U_{1d} &= R_3 \cdot T_3 \cdot p + 1 \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кск}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} &= R_3 \cdot T_3 \cdot p + 1 \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кск}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 &= T_2 \cdot p + 1 \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кск}} &= z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\text{эм}} &= \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega &= \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c) \end{aligned} \right.$$

где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\vec{\Psi}_2$, вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q ;

I_{1d}, I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q , А;

$\Psi_{2d} = |\vec{\Psi}_2|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q , Вб.

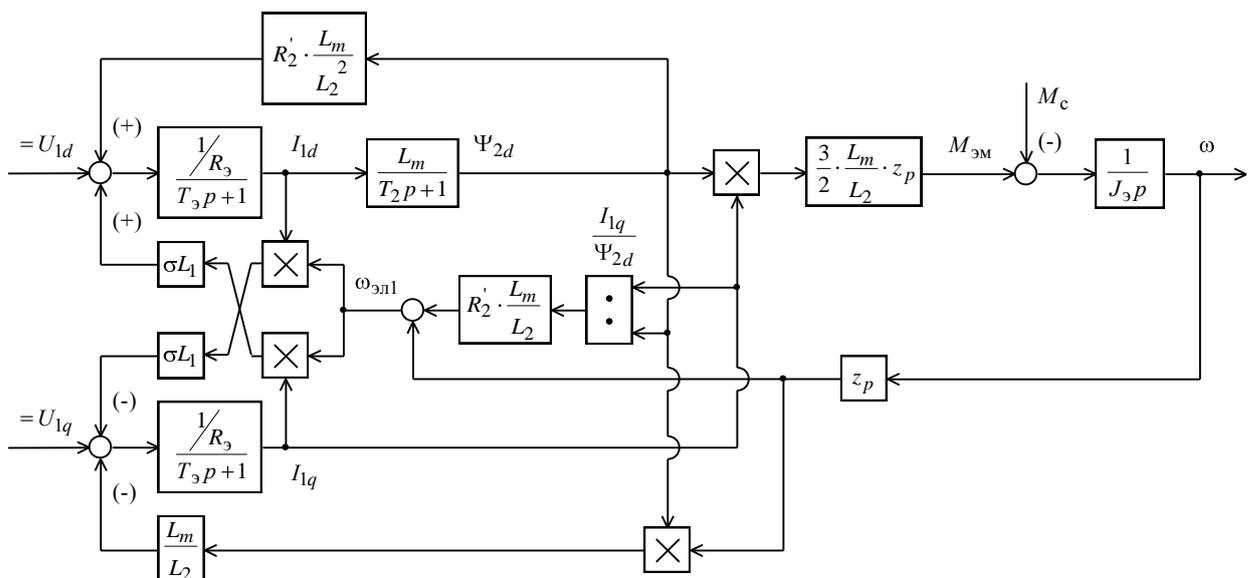


Рисунок 21 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

3.1.2 Контуры регулирования

В качестве регулятора тока принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{рт}} \approx k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}$$

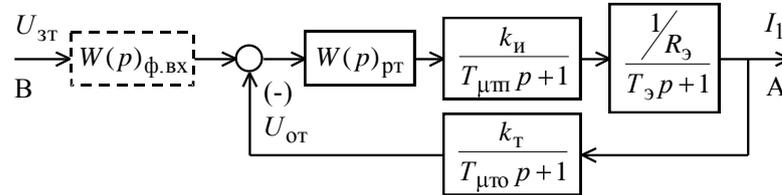


Рисунок 22 – Структурная схема контура тока

В качестве регулятора потокосцепления принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W(p)_{\text{р}\Psi} = k_{\text{р}\Psi} \cdot \frac{T_{\text{р}\Psi} \cdot p + 1}{T_{\text{р}\Psi} \cdot p}$$

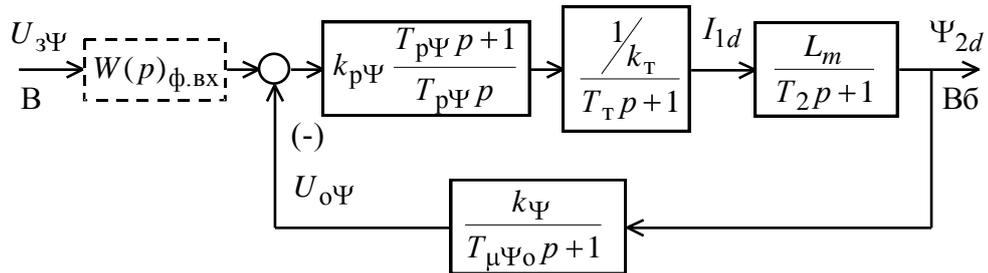


Рисунок 23 – Структурная схема контура потокосцепления

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости:

$$W(p)_{\text{р}\omega} = k_{\text{р}\omega} \cdot \frac{T_{\text{р}\omega} p + 1}{T_{\text{р}\omega} \cdot p}$$

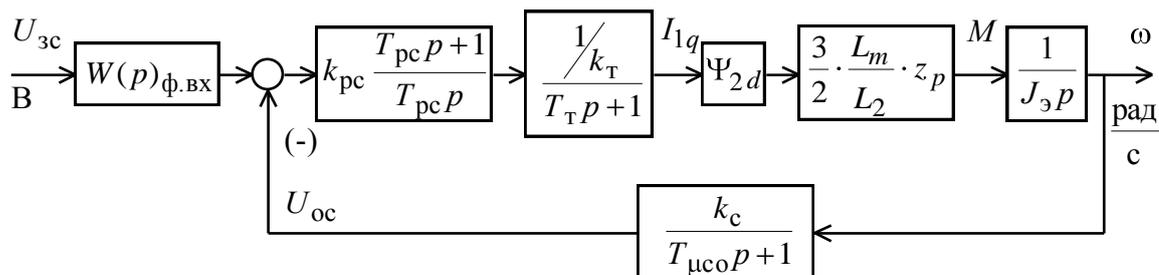


Рисунок 24 – Структурная схема контура скорости

3.2 Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени системы

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma} + X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0,434 + 13,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0443 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2 = \frac{X'_{2\sigma} + X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0,593 + 13,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,045 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,043^2}{0,0443 \cdot 0,045} = 0,072,$$

где $L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{13,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,043 \text{ Гн}$ – индуктивность, обусловленная

магнитным потоком в воздушном зазоре.

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,163 + 0,124 \cdot \frac{0,043^2}{0,045^2} = 0,276 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,072 \cdot 0,0443}{0,276} = 0,0115, \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,045}{0,124} = 0,363 \text{ с}.$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 24,7 \cdot 0,043 = 1,5 \text{ Вб}.$$

Максимальное значение тока электропривода, соответствующая требуемому максимальному моменту электропривода в пуско–тормозных режимах работы приемного устройства:

$$I_{\text{ЭП макс}} = \sqrt{\left[\frac{M_{\text{ЭП макс}}}{\sqrt{2} \cdot \Psi_{2\text{H}} \cdot \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2}} \right]^2 + I_0^2} =$$

$$= \sqrt{\left[\frac{968,304}{\sqrt{2} \cdot 1,5 \cdot \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,043}{0,045}} \right]^2 + 24,7^2} = 161,136 \text{ А.}$$

, где

$$M_{\text{ЭП макс}} = 2 \cdot \frac{P_{\text{ст.зр.под}}}{\omega_n} = 2 \cdot \frac{75000}{154,91} = 968,304 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Максимально допустимое значение тока

$$I_{1q \text{ макс}} = I_{1d \text{ макс}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{ЭП макс}}^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{161,136^2 - 24,7^2} = 255,2 \text{ А.}$$

Расчетные параметры преобразователя:

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}}}{U_{\text{уп макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,1,$$

где $U_{\text{уп макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения управления на входе преобразователя.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{и}} = \frac{0,5}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{0,5}{8000} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ с,}$$

где $f_{\text{ШИМ}} = 8 \text{ кГц}$ – принятое значение частоты заполнения инвертора

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току

$$T_{\mu\text{ТО}} = \frac{T_{\text{сГ}}}{3} = \frac{0,001}{3} = 0,00033 \text{ с,}$$

$$T_{сТ} = \frac{1}{f_{шим}} \cdot n_T = \frac{1}{8000} \cdot 8 = 0,001 \text{ с}$$

где – интервал сглаживания результатов

измерения тока; $n_T = 8$ – принятое количество периодов частоты квантования в интервале измерения тока.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{\mu\Psi_0} = \frac{T_{с\Psi}}{3} = \frac{0,008}{3} = 0,00267 \text{ с,}$$

$$T_{с\Psi} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{шим}}\right) \cdot n_{\Psi} = \left(16 \cdot \frac{1}{8000}\right) \cdot 4 = 0,008 \text{ с}$$

где – интервал расчета

потокосцепления;

$n_{\Psi} = 4$ – принятое количество периодов частоты квантования в интервале расчета потокосцепления.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{\mu\omega} = \frac{T_{с\omega}}{3} = \frac{0,008}{3} = 0,00267 \text{ с,}$$

$$T_{с\omega} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{ш и}}\right) \cdot n_{\omega} = \left(16 \cdot \frac{1}{8000}\right) \cdot 4 = 0,008 \text{ с}$$

где – период расчета

(измерения) скорости; $n_{\omega} = 4$ – принятое количество периодов частоты квантования в интервале расчета (измерения) скорости.

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора тока:

$$k_{рТ} = \frac{T_{\omega} \cdot R_{\omega}}{k_{и} \cdot k_{Т} \cdot a_{Т} \cdot T_{\muТ\omega}} = \frac{0,0115 \cdot 0,276}{31,1 \cdot 0,04 \cdot 2 \cdot 0,0004} = 3,25$$

– коэффициент усиления регулятора тока,

где $T_{\muТ\omega} = T_{\muТП} + T_{\muТ\omega} = 0,0000625 + 0,00033 = 0,0004 \text{ с}$ – эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$k_T = \frac{U_{зТ\text{ макс}}}{I_{1q\text{ макс}}} = \frac{10}{255,2} = 0,04 \frac{\text{В}}{\text{А}} \text{ – коэффициент обратной связи по току;}$$

$U_{зТ\text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура тока;

$a_T = 2$ – коэффициент оптимизации контура тока.

$T_{рТ} = T_э = 0,0115 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора тока

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления:

$T_{рΨ} = T_2 = 0,363 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора потокосцепления;

$$k_{рΨ} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi\text{э}}} = \frac{0,363 \cdot 0,04}{0,043 \cdot 6,67} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,00347} = 7,3 \text{ – коэффициент}$$

усиления регулятора потокосцепления, где

$T_{\mu\Psi\text{э}} = T_T + T_{\mu\Psi\text{о}} = 0,0008 + 0,00267 = 0,00347 \text{ с}$ – эквивалентная малая

постоянная времени оптимизированного контура;

$T_T = a_T \cdot T_{\muТ\text{э}} = 2 \cdot 0,0004 = 0,0008 \text{ с}$ – эквивалентная постоянная времени

оптимизированного контура тока, с.

$$k_{\Psi} = \frac{U_{з\Psi\text{ макс}}}{\Psi_{2н}} = \frac{10}{1,5} = 6,67 \frac{\text{В}}{\text{Вб}} \text{ – коэффициент обратной связи по}$$

потокосцеплению;

$U_{з\Psi\text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура потокосцепления;

$a_{\Psi} = 2$ – коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

$T_{р\Psi} = T_2 = 0,285 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора потокосцепления.

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости:

$$k_{pc} = \frac{J_{\varepsilon} \cdot k_T}{\Psi_{2H} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_{\mu c \varepsilon}} =$$

$$= \frac{0,89 \cdot 0,04}{1,5 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,043}{0,0456} \cdot 2 \cdot 0,064} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,00307} = 20,1;$$

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c \varepsilon} = 2 \cdot 2 \cdot 0,00307 = 0,012 \text{ с},$$

где $T_{\mu c \varepsilon} = T_T + T_{\mu c 0} = 0,0004 + 0,00267 = 0,00307 \text{ с}$ – эквивалентная малая

постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_c = \frac{U_{zс \text{ макс}}}{\omega_{\varepsilon \Pi \text{ макс}}} = \frac{10}{157} = 0,064 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \text{ – коэффициент обратной связи по скорости;}$$

$\omega_{\varepsilon \Pi \text{ макс}} = 157 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ – принятое при настройке контура значение максимальной скорости электропривода;

$U_{zс \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура скорости;

$b_c = a_c = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости.

Заключение

В различных отраслях народного хозяйства используются грузоподъемные механизмы прерывистого режима работы, служащие для поднимания и перемещения грузов различной тяжести на определенные расстояния. К числу самых распространенных механизмов относятся мостовые и башенные краны. Первые используются при необходимости перемещения грузов внутри цехового пространства. Не занимают полезной площади, так как перемещаются по специально проложенным рельсам под крышей здания. Башенные же краны нашли широкое применение при жилом домостроительстве.

В выпускной квалификационной работе был рассчитан регулируемый электропривод механизма подъема мостового крана по системе ПЧ-АД. Система ПЧ-АД позволяет повысить производительность, а также надежность производства, так как в системе используется самая простейшая электрическая машина – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В настоящее время система ПЧ-АД получает широкое распространение, так как это экономически целесообразнее, чем применение тех же двигателей постоянного тока или АД с фазным ротором. Высокая плавность регулирования скорости также является одним из основных достоинств такой системы. Кроме того использование данной системы на производстве повышает энергоэффективность за счет уменьшения потерь энергии.

Также в выпускной квалификационной работе был произведён выбор основного оборудования, используемого при проектировании данной системы. Произведен расчет механических и электромеханических характеристик для выбранного двигателя и построены графики переходных процессов при пуске, сбросе и набросе нагрузки.

Знания, полученные в ходе проектирования данной системы, позволят в дальнейшем производить эффективный выбор оборудования для решения задач по оснащению механизмов подъема мостового крана необходимыми механизмами управления и системами защиты.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Планирование научно-исследовательских работ

4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования

Структура работ составляется в рамках проведения научного исследования, произвести распределение работ исполнителей по видам работ. Структура работ приведена в таблице 16:

Таблица 26

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер совместно с научным руководителем
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер
	10	Публикация полученных результатов	Инженер

4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 8.2 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для составления графика проведения научных работ, воспользуемся диаграммой Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 17.

Таблица 17 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнитель			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожг}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технического задания	1	4	3	3	6	5	1,3	6,3	2,9	2	1	1	1,2	3,1	2,9	1,7	3,5	3,7
Подбор и изучение материалов по теме	1	4	2	3	6	5	1,3	6,1	3,6	1	2	1	1,2	3,2	3,5	1,5	3,2	4,8
Выбор направления исследований	1	5	1	3	6	3	1,7	5,8	1,7	1	1	2	2,6	2,4	1,4	2	3,8	2,1
Календарное планирование работ по теме	1	2	1	1	2	6	1,3	1,3	3,4	1	1	1	1,6	1,2	3,2	1,2	2,1	4
Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	12	3	7	13	7	5,8	11,2	5,8	2	1	1	5,7	5,4	5,7	6,5	7,4	6,5
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	27	27	9	39	39	10	31,4	31,4	9,8	2	2	2	15,2	15,2	6,1	19	19	6,5
Сопоставление результатов эксперимента с теоретическим и данными	6	8	6	8	18	8	6,8	12	6,8	1	2	1	6,1	6,5	6	8,2	6,3	8,2
Оценка эффективности и полученных результатов	2	7	3	4	10	3	2,2	9,4	2,2	2	1	1	2,1	4,7	2,6	2,7	6	2,7
Составление пояснительной записки	5	6	4	7	3	7	5,1	9,4	5,1	1	1	1	5,6	9,2	5,1	6,1	9,3	6,1
Публикация полученных результатов	2	2	2	5	5	5	3,6	3,6	3,6	1	1	1	3,5	3,5	3,5	5,1	5,1	5,1

Итого длительность работ в календарных днях при использовании:

- Первого варианта- 55,6 календарных дней.
- Второго варианта- 70,1 календарных дней.
- Третьего варианта- 43,9 календарных дней.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 18.

Таблица 18- Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				февр		март			апрель			май			июнь				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2			
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	3,5	█															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и инженер	3,2	█															
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	3,8	█															
4	Календарное планирование работ по теме	Инженер	2,1		█														
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	7,4			█													
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель и инженер	19			█	█												
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	6,3					█											
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель и инженер	6						█										
9	Составление пояснительной записки	Инженер	9,3							█									
10	Публикация полученных результатов	Инженер	5,1								█								

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 19:

Таблица 19-Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Провода	Штука	2	-	2	2000	2000	2000	2100	-	2100
Авт. Выключатель	Штука	5	5	-	132	132	132	660	660	660
Регулятор	Штука	1	1	1	10990	10990	10990	12000	12000	12000
Клапан	Штука	1	1	1	2000	2000	2000	2500	2500	2500
Датчики	Штука	3	3	-	1000	1000	1000	1100	1100	-
Итого								18360	16260	16600

4.4 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 20.

Таблица 20 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования
для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Насос	Насос	Насос	1	1	1	14000	14000	14000	14000	14000	14000
2.	Щит	Щит	Щит	1	1	-	2500	2500	2500	2500	2500	-
3.	ПЧ	ПЧ	ПЧ	1	1	1	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Итого:										24500	24500	22000

4.5 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 21.

Таблица 21 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.-дн.			Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,3	6,3	2,9	1883,24	1883,24	1883,24	2448,2	11684,41	5461,4
				Инженер							1624,18			10232,3	
2	Подбор и изучение материалов по теме			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,3	6,1	3,6	1883,24	1883,24	1883,4	2448,2	11162,8	6779,6
				Инженер							1624,18			9852,7	
3	Выбор направления исследований			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,7	5,8	1,7	1883,24	1883,24	1883,24	3201,5	10922,8	3201,5
				Инженер							1624,18			9420,2	
4	Календарное планирование работ по теме			Руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,3	1,3	3,4	987,85	1206,56	1206,56	1284,2	1563,2	3358,9
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований			Инженер	Инженер	Инженер	5,8	11,2	5,8	1883,24	1848,18	1848,18	12226,5	20699,4	12226,5
				Инженер	Научный руководитель						1206,56			13513,8	
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов			Инженер	Инженер	Инженер	31,4	31,4	9,8	1563,28	1563,28	1563,28	74104	74104	23128
				Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель				1883,24	1883,24	1883,24	69174	69174	21589
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными			Инженер	Научный руководитель	Инженер	6,8	12	6,8	1563,28	1883,24	1883,24	10628	25598,8	10628
				Инженер	Инженер						1624,18			19488,3	
8	Оценка эффективности полученных результатов			Инженер	Научный руководитель	Инженер	3,2	7,4	3,2	1563,28	1883,24	1883,24	5001,6	13935,9	5001,6
				Инженер	Инженер						1624,18			12017,6	
9	Составление пояснительной записки			Инженер	Инженер	Инженер	5,1	9,4	5,1	1563,28	1563,28	1563,28	7972,7	14694,3	7972,7
10	Публикация полученных результатов			Инженер	Инженер	Инженер	3,6	3,6	3,6	1563,28	1563,28	1563,28	2627,8	2627,8	2627,8
Итого:												191116,7	256167,4	101975	

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 22.

Таблица 22 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	35	30
- невыходы по болезни	16	12
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	257

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (11)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 23.

Таблица 23-Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	28500	0,3	0,15	1,3	57722	1883,2465	229	431261,7
Инженер	15000	0,3	0,5	1,3	28275	1563,185	226	353279
Итого								784540

4.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 24.

4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлен в таблице 24.

Таблица 24-Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	10200,4	84328,01	13455,2	1024,5	9415,2	2022,5
Инженер	9505,6	145321,4	10626,3	9989,4	18987,7	1326,7
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	26713,18					
Исполнение 2	69860,98					
Исполнение 3	16204,86					

4.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 25.

	$Z_{\text{накл}}$, руб.
Исполнение 1	22346,14
Исполнение 2	55233,17
Исполнение 3	12645,29

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 26.

Таблица 26 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	1525	1525	1360	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	18360	18360	18360	Пункт 3.4.2

3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	191116,7	256167,4	101975	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16123,5	35964,2	11236,38	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26713,18	26713,18	26713,18	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	22346,14	55233,17	12645,29	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	276184,52	393963	172290	Сумма ст. 1- 6

Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 27.

Таблица 27- Интегральный финансовый показатель

	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Исполнение 1	0,45
Исполнение 2	1
Исполнение 3	0,27

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 28.

Таблица 28-Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Повышение производительности труда пользователя	0,05	3	3	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	5

Окончание таблицы 9.13

Надежность	0,05	4	5	5
Безопасность	0,1	3	3	5
Простота эксплуатации	0,1	5	3	5
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	5
Уровень проникновения на рынок	0,2	5	3	4
Финансирование научной разработки	0,1	5	4	3
Наличие сертификации разработки	0,2	5	3	5
ИТОГО	1	39	33	42

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 29.

	I_{pi}
Исполнение 1	4,45
Исполнение 2	3,3
Исполнение 3	4,4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения

разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}}, \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.(2,3)}}; \quad \mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.(1,3)}}; \quad \mathcal{E}_{cp3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.(1,2)}}$$

В таблице 30 приведена сравнительная эффективность разработки

Таблица 30 -Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1		Исп.2		Исп.3	
		По отношению к исп.2	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,44		1		0,26	
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45		3,3		4,4	
3	Интегральный показатель эффективности	9,28		3,3		17,7	
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	По отношению к исп.2	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.2
		2,65	0,52	0,37	0,19	1,95	5,05

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Наиболее эффективным оказался вариант 2 т.к. у него самый наименьший интегральный показатель.

5 Социальная ответственность

В данном дипломном проекте рассматривается применение частотно-регулируемых электроприводов в крановом хозяйстве на металлургических предприятиях. Мостовой кран является вспомогательным механизмом в металлургическом цикле. Вопросы безопасности и экологичности проекта, будем рассматривать, применительно к мостовому крану. Особое внимание уделим рабочему месту оператора и машинному отделению - местами, где вероятность производственного травматизма наиболее велика.

Мостовой кран является вспомогательным механизмом в производственном цикле. Вопросы безопасности и экологичности проекта, будем рассматривать, применительно к мостовому крану. Особое внимание уделим рабочему месту оператора и машинному отделению - местами, где вероятность производственного травматизма наиболее велика.

5.1 Анализ вредных производственных факторов при работе мероприятия по их устранению

К вредным факторам относятся:

- неблагоприятные условия микроклимата;
- недостаточное освещение;
- повышенный уровень шума;
- повышенный уровень вибрации.

Неблагоприятные условия микроклимата

Микроклиматические условия производственной среды – сочетание температуры, давления, относительной влажности, скорости движения воздуха. Эти параметры оказывают большое влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие, здоровье и на надежность работы средств вычислительной техники.

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 31 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.

Показатели микроклимата в рабочей зоне (факт/план)

Профессия	Категория тяжести работы	Показатели условий труда в рабочей зоне, факт/норма						Теплоизлучение, Вт/м ²	Освещенность, лк	Вредные вещества на рабочем месте
		Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/с				
		Холодный период	Теплый период	Холодный период	Теплый период	Холодный период	Теплый период			
	2	3		4		5		6	7	8
Наладчик крана (механик)	Средней тяжести - Па (энергозатраты от 151 до 200 ккал/ч)	18-19/18-20	22/21-23	40-60/40-60	40-60/40-60	0,2/0,2	0,2/0,3	Незначительное излучение от электродвигателей	50/30	Отсутствуют вредные выбросы
Наладчик крана (электромонте)		18-19/18-20	22/21-23	40-60/40-60	40-60/40-60	0,2/0,2	0,2/0,3		50/30	
Профессия	Концентрация вредного вещества, мг/м ³	Энергетическое воздействие на среду		Уровень энергетического воздействия		Площадь, приходящаяся на одного работающего, м ²		Объем помещения, приходящегося на одного работающего, м ³	Класс условий труда/степень риска получения травмы	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				

Недостаточное освещение

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.

Повышенный уровень шума

Шумом называют всякий неблагоприятно действующий на человека звук. Обычно шум является сочетанием звуков различной частоты и интенсивности.

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. 33 приведены нормативные 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 32

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, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения управлений, рабочие комнаты (кабина крана)	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.

Меры, предпринимаемые для борьбы с шумом следующие:

- Использование электрических фильтров на выходе инвертора напряжения позволяет снизить уровень звукового давления до 49 дБ
- Шумное оборудование (редуктор, двигатель) размещено в отдельном помещении

При указанных мерах уровень звукового давления в машинном помещении не превышает 49 дБ, а в кабине крановщика составляет еще более меньшую величину.

Повышенный уровень вибрации

Вибрация - это колебания твердых тел (частей аппаратов, машин, оборудования, сооружений), воспринимаемые организмом человека как сотрясения. Вибрация оказывает вредное воздействие на здоровье человека. Гигиенические нормы вибрации определены ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность» Вибрация неблагоприятно воздействует на организм человека, она может быть причиной функциональных расстройств нервной и сердечнососудистой систем, а также опорно-двигательного аппарата, так как внутренние органы и отдельные части тела человека (сердце, голова и т.п.) можно рассматривать как колебательные системы с собственной частотой колебаний в диапазоне от 6 до 8 Гц. Воздействие

внешних колебаний может вызвать резонанс, что может привести к смещению или повреждению внутренних органов человека.

По характеру действия на организм человека вибрацию принято разделять на общую и локальную. Общая вибрация передается на все тело человека (сотрясение поля, площадки, сидения, на котором сидит человек), а локальная - на отдельные его части, непосредственно соприкасающиеся с участком вибрации. Возможно комбинированное действие общей и локальной вибраций.

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

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

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

Для снижения вибрации принимаются следующие меры:

- В отличие от ранее используемого электропривода на основе четырехскоростного двигателя, где не производилось ограничение рывков во время пуска, данный вариант регулируемого электропривод ограничивает ускорения и производную ускорения во время пуска. В проекте применена замкнутая система автоматического регулирования скорости, которая исключает появление ударов момента при пуске и переключениях электродвигателя, что в свою очередь практически исключает вибрацию.

- Для снижения вибрации, при превышении предельно-допустимых норм, до приемлемых значений используется виброизоляция,

т.е. упругие элементы размещаются между вибрирующих элементов. Эффективным способом борьбы с вредной вибрацией является пассивная виброизоляция - установка резиновых прокладок под опоры лебедки.

5.2 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Электробезопасность

Электробезопасность – система организационно-технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Проходя через организм человека, электроток производит следующие действия:

- термическое;
- электролитическое;
- механическое;
- биологическое.

Термическое действие тока проявляется ожогами отдельных участков тела, нагревом органов, расположенных на пути тока, вызывая в них функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока выражается в разложении органической жидкости, в том числе крови, в нарушении ее физико-химического состава.

Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови.

Биологическое действие тока проявляется раздражением и возбуждением живых тканей организма, а также нарушением внутренних биологических процессов.

Исход поражения человека электротоком зависит от многих факторов:

силы тока, времени его прохождения через организм, характеристики тока (переменный или постоянный), пути тока в теле человека, при переменном токе — от частоты колебаний. Значения предельно допустимого тока представлены в

Таблица 33

Предельно допустимые значения тока

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с										
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	U, В	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, мА	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	U, В	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I, мА											8
Постоянный	U, В	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I, мА											15
Выпрямленный двухполупериодный	$U_{ампл}$, В	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	-
	$I_{ампл}$, мА											
Выпрямленный однополупериодный	$U_{ампл}$, В	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	-
	$I_{ампл}$, мА											

Переменный ток опаснее постоянного, однако, при высоких напряжениях (более 500 В) опаснее постоянный ток. Из возможных путей протекания тока через тело человека (голова–рука, голова–ноги, рука–рука,

нога–рука, нога–нога и т.п.) наиболее опасен тот, при котором поражается головной мозг (голова–руки, голова–ноги), сердце и легкие (руки–ноги). Неблагоприятный микроклимат (повышенная температура, влажность) увеличивает опасность поражения током, так как влага (пот) понижает сопротивление кожных покровов

Привод механизма крана осуществляется от электродвигателя, питание которого осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В.

Причины поражения заключаются в основном в нарушении правил защиты людей от поражения и неисправности электрооборудования (в основном это нарушение заземления). Особо опасное помещение по поражению электрическим током.

Согласно ПУЭ (правила устройства электроустановок) принято, что напряжение силовых электрических цепей в машинных помещениях не выше 660 В, в производственных помещениях - не выше 380 В, а для цепей управления, освещения и сигнализации во всех помещениях - не выше 220 В. 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.

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:

$$R_T = \frac{\rho_{\text{грунта}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + l}{5 \cdot H - l}$$

$$= \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{5 \cdot 1,7 - 2} = 43,4 \text{ Ом}$$

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

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

Сопротивление полосы, соединяющей трубы:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{грунта}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2t_{\Pi}^2}{bH_0} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2^2}{0,05 \cdot 0,6} = 53,4 \text{ Ом}$$

Где l_{Π} - длина полосы, $l_{\Pi} = 2$ м

H_0 - ширина полосы, $H_0 = 0,6$ м

b - толщина полосы, $b = 0,05$ м

Сопротивление заземляющего контура:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{h_1}{R_{\Pi}} + \frac{h_2 \cdot n}{R_T}} = \frac{1}{\frac{0,68}{53,4} + \frac{0,57 \cdot 20}{43,4}} = 3,6 \text{ Ом,}$$

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, $h_2 = 0,57$

$$R_3 = 3,6 < 4 \text{ Ом}$$

Сопротивление такой величины удовлетворяет требованиям, предъявляемым к заземлениями электроустановки.

5.3 Чрезвычайные ситуации

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 34

Наименование ЧС	Условия возникновения аварийной ситуации	Возможное развитие последствий	Способы и средства предотвращения аварий	Меры локализации аварий
1	2	3	4	5
Столкновение крана со стеллажом	Нарушение правил эксплуатации крана	Падение груза на человека	Устройство, размыкающее цепь безопасности	Остановка крана
Пожар	Срабатывание пожарной сигнализации	Задымление и возгорание крана	Устройство пожарной безопасности	Остановка крана.

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 26

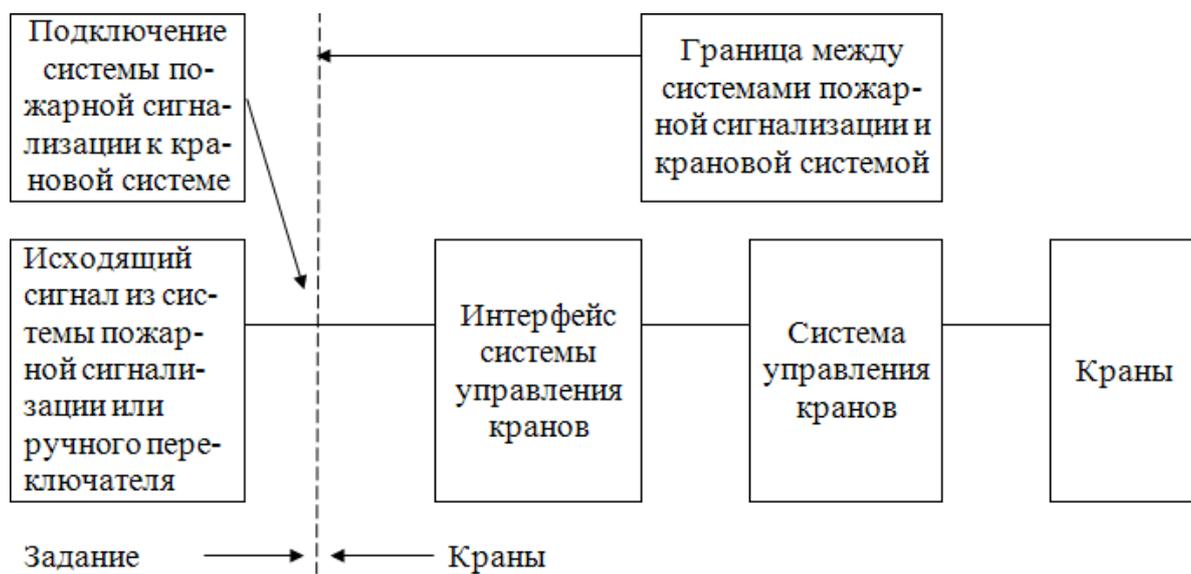


Рисунок 26 - Подключение системы пожарной сигнализации

Список использованных источников

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций.- М.: Высш. шк., 1979 г.
2. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / В.П. Шеховцов. - М. : ФОРУМ, 2010. – 352 с.: ил.
3. Электротехнический справочник: В 4-х т. Т.4 / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - М.: Изд-во МЭИ, 2002.
4. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.
5. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213с.
6. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
7. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. –476 с.
8. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению/ В.П. Шеховцов. – 2-е изд. –М.:ФОРУМ, 2011. – 136 с. – (Профессиональное образование).

9. Использование электрической энергии/ Под общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др.(гл. ред. А.И. Попов). – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 696с.
10. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/SKM100GB063D.html>.
11. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/SEMIKRON/SKKT72B12E.html>.
12. http://www.may.ru/otcomp/capacitor/combi/k75_24/
13. http://kit-e.ru/articles/powerel/2000_08_38.php
14. <http://www.aha.ru/~intech/c161u.htm>
15. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений " Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
16. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
17. Основы функционально- стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175с.
18. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.