

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

---

Институт электронного обучения  
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Электрооборудование и электропривод механизма подъёма мостового крана

УДК 621.81:62-83-52:621.874

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Синякин Никита Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

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

---

Институт электронного обучения  
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электропривода и электрооборудования

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Синякин Никита Александрович

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод механизма подъёма мостового крана		
Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.03.207г	№1655/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Техническая документация
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Общие сведения; выбор электрооборудования; расчет естественных характеристик регулируемого электропривода; расчет статических механических и электромеханических характеристик при частотном законе регулирования скорости; создание математической модели и проведение имитационного моделирования работы в MATLAB SIMULINK; социальная ответственность; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Синякин Никита Александрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Синякину Никите Александровичу

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электропривод и электрооборудования</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	«Электроэнергетика и электротехника»/ «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Электрооборудование и электропривод механизма подъема мостового крана. Мостовые краны предназначены для подъема и перемещения грузов при выполнении периодических работ. В данной работе была произведена модернизация устаревшего оборудования. Выбран асинхронный двигатель и преобразователь частоты, а также был произведен их расчет и симуляция работы в программной среде.</p>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1. Вредные производственные факторы:</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p> <p>- Шум непостоянный широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы: ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.</p> <p>-Физическая природа вредности, персонал подвергается широкополосному шуму во время обслуживания ПЧ т.к. оборудование находится на площадке крана, над машинным залом в котором источником шума являются двигателя и редуктора ленточного конвейера;</p> <p>-Вредные условия труда. Уровень воздействия шума способен вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет);</p> <p>-Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих</p>
---	---

	<p>местах следует принимать: ГОСТ 12.1.003–2014</p> <p>Умственная работы, по точному графику с инструкцией, точная категория зрительных работ дБ А 65</p> <p>-ГОСТ Р 12.4.211-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы.</p> <p>Средства и методы коллективной защиты на объекте отсутствуют.</p> <p>Средства индивидуальной защиты противошумные вкладыши противошумные наушники, встроенные в головной убор.</p> <p>1.2. Опасные производственные факторы:</p> <p>ГОСТ 12.4.283-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Комплект защитный от поражения электрическим током.</p> <p>- Электробезопасность это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества</p> <p>Механические опасности от действия тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.</p> <p>Термические опасности проявляются в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.</p> <p>- Приказ Минтруда России от 28.03.2014 N 155н "Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте"</p> <p>Правила по охране труда при работе на высоте устанавливают государственные нормативные требования по охране труда и регулируют порядок действий работодателя и работника при организации и проведении работ на высоте.</p> <p>Персонал обслуживающий ПЧ будет выполнять работы на высоте. К работам на высоте относятся работы, при которых существуют риски, связанные с возможным падением работника с высоты 1,8 м и более.</p>
--	--

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p>-Объект находится в промышленной зоне и не воздействует на жилую зону.  -Оборудование не воздействует негативно на атмосферу земли.  -Оборудование не загрязняет гидросферу земли.  -При утилизации ПЧ организация обязуется утилизировать оборудование согласно ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования.  -При выходе из строя асинхронного двигателя, у предприятия имеется свой обмоточный цех, где у двигателя перематывается обмотка статора, а старую обмотку утилизируют согласно ГОСТ 1639-2009 Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>-Поражение электрическим током, пожар, падение с высоты.  -Пожар.  -Обеспечение средствами пожаротушения на объекте и соблюдение правил пожарной безопасности.  - Действия и меры по ликвидации ЧС выполняем согласно РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятия.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul> <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017).  -ТК РФ, Статья 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.  - ТК РФ, Статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда  -ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования (Переиздание. В октябре 2001г.)</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Король И.С.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Синякин Никита Александрович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Синякину Никите Александровичу

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/Специальность</b>	«Электроэнергетика и электротехника»/ «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.</i>	<i>Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	<i>Отчисления на социальные нужды и амортизационные отчисления.</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>SWOT - анализ по разработке проекта модернизации электропривода мостового крана.</i>	
2. <i>Составление сметы проекта.</i>	
3. <i>Определение ресурсоэффективности проекта.</i>	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</b>	
1. <i>Матрица SWOT.</i>	
2. <i>Диаграмма Ганта.</i>	

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент кафедры менеджмента	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2Б1	Синякин Никита Александрович		

## Реферат

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование частотно-регулируемого электропривода подъёма мостового крана.

Выпускная квалификационная работа (ВКР) содержит 77 страниц, 32 рисунка, 15 источников, 13 таблиц.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, мостовой кран, преобразователь частоты, электромеханические и механические характеристики, переходный процесс.

Объектом исследования является электропривод подъёма мостового крана на базе системы «Преобразователь частоты – асинхронный электропривод».

Цель работы : выбрать силовую схему электропривода, рассчитать параметры электродвигателя, выбрать преобразователь частоты, смоделировать и исследовать переходные процессы регулируемого электропривода в среде Matlab Simulink.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD 15, пакет MATLAB 7.1 Simulink 6.3.



## Оглавление

<b>Введение</b> .....	11
<b>1. Технологическая часть</b> .....	13
1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса.....	13
1.2 Кинематические схемы электроприводов мостового крана....	16
<b>2. Выбор электрооборудования</b> .....	18
2.1 Выбор электродвигателя и расчёт параметров .....	18
2.2 Выбор преобразователя частоты .....	19
2.3 Определение параметров схемы замещения.....	21
2.4 Расчет естественных механических и электромеханических характеристик электродвигателя.....	24
2.5 Расчёт статических механических и электромеханических характеристик при частотном законе регулирования скорости $U/f=\text{const}$ .....	27
<b>3. Расчет динамических характеристик асинхронного двигателя</b> .....	33
3.1 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя.....	33
3.2 Моделирование прямого пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f=\text{const}$ .....	35
<b>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....	45
4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электрооборудования и электропривод механизма подъёма мостового крана .....	46
4.2 Разработка графика проведения работ технического проекта	49
4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	49
4.2.2 Разработка последовательного комплекса работ проекта.	50

4.3 Составление сметы технического проекта.....	55
4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование.....	55
4.3.2 Расчёт полной заработной платы.....	56
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	58
4.3.4 Накладные расходы.....	59
4.3.5 Формирование сметы технического проекта.....	59
4.4 Определение ресурсоэффективности проекта.....	60
<b>5. Социальная ответственность .....</b>	<b>63</b>
5.1 Описание рабочего процесса.....	63
5.2.1 Анализ выявленных вредных производственных факторов.....	64
5.2.2 Анализ опасных производственных факторов.....	66
5.3 Экологическая безопасность.....	68
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	69
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	71
<b>Заключение.....</b>	<b>74</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>76</b>

## Введение

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

Краны мостовые – грузоподъемные устройства, циклического действия, которые используют для перемещения грузов с использованием самых разнообразных устройств грузозахватного типа. Краны мостового типа делятся на два основных вида: кран мостовой электрический однобалочный, и кран мостовой электрический двухбалочный. Краны мостовые электрические однобалочные достигают грузоподъемности от 0,5 до 15 т, в то время как краны мостовые двухбалочные достигают грузоподъемности до 150 т и более. Кран мостовой двухбалочный является одним из самых востребованных кранов среди остальных кранов в промышленном производстве. Кран мостовой электрический двухбалочный опорный может быть как общепромышленного типа, так и пожаробезопасного и взрывобезопасного.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременным режимом работы, при большой частоте включений, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. [8]

Для повышения эффективности использования кранового оборудования можно выделить два основных способа: снижение энергопотребления и повышения надёжности. Использование частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяет решить обе этих задачи достаточно

невысокими затратами. И это является на сегодняшний день наиболее эффективным способом модернизации кранового оборудования.

Достоинствами применения частотно-регулируемого электропривода по сравнению с другими схемами управления двигателями являются:

- автоматическое передвижение груза по заданной программе;
- увеличение надёжности и срока службы привода и всех его механизмов;
- экономия электроэнергии;
- повышение качества и значительная модернизация системы управления;
- упрощение процесса обслуживания и др.

Целью выпускной квалификационной работы является расчёт и модернизация электропривода механизма подъёма мостового крана грузоподъёмностью 50т.

## 1. Технологическая часть

### 1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса

Мостовые краны состоят из несущих элементов, непосредственно опирающихся на крановый путь, и моста, перемещающегося по уложенным на стенах или внешних эстакадах рельсам. Общий вид мостового крана, рисунок 1.1.

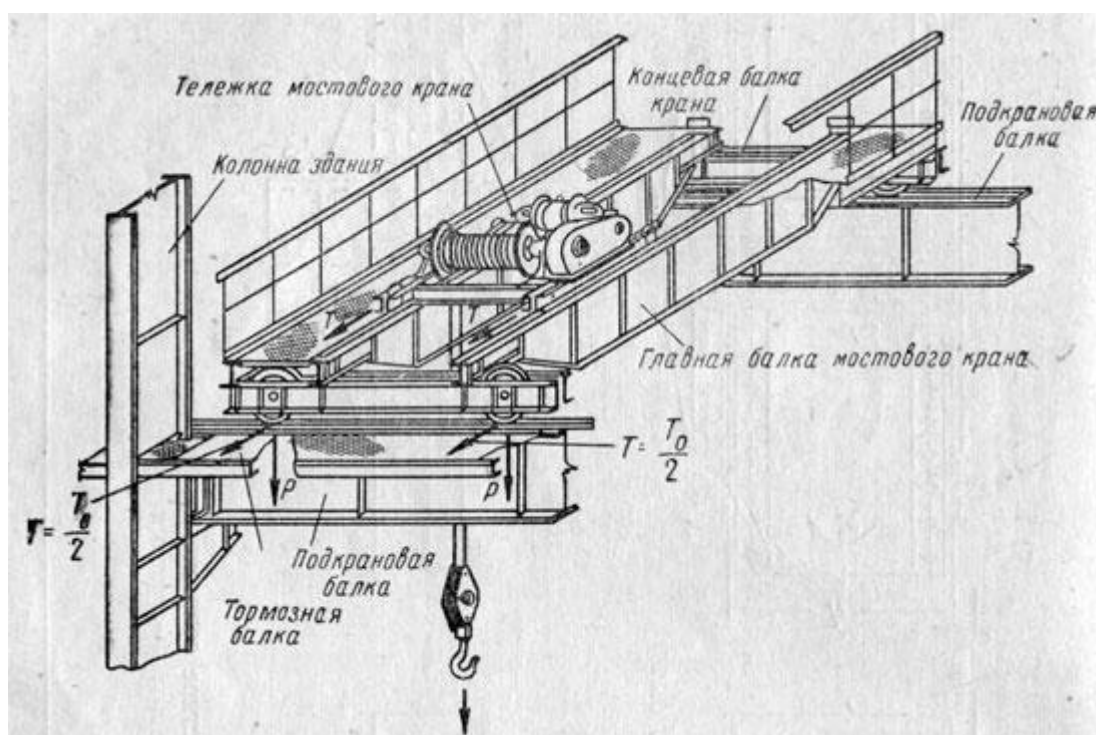
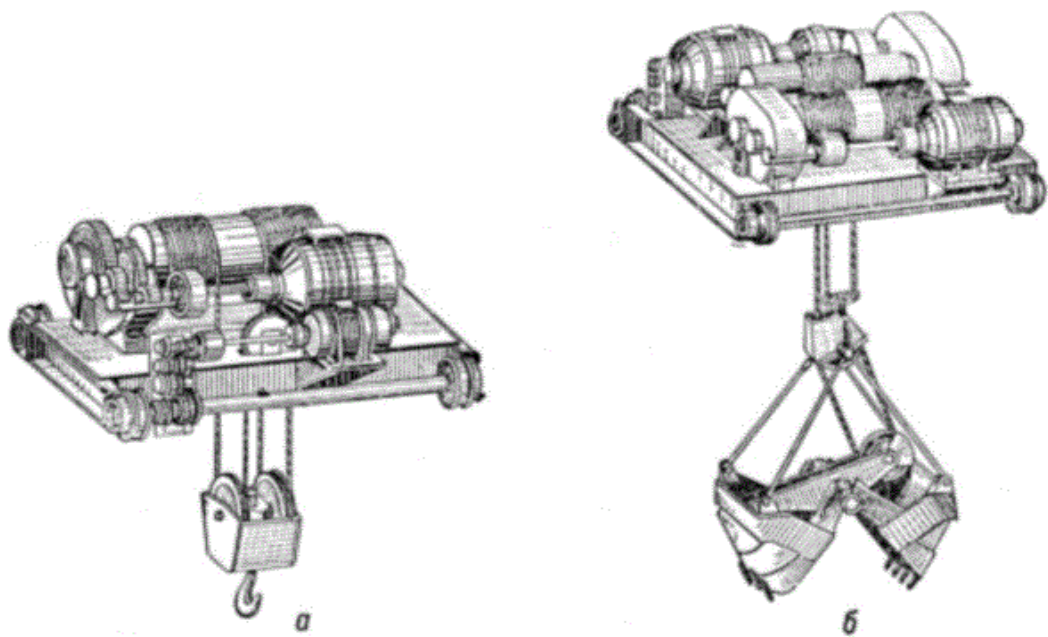


Рисунок 1.1 – Общий вид мостового электрического крана

По мосту передвигается грузовая тележка, оборудованная лебедкой с крюком или грейфером.

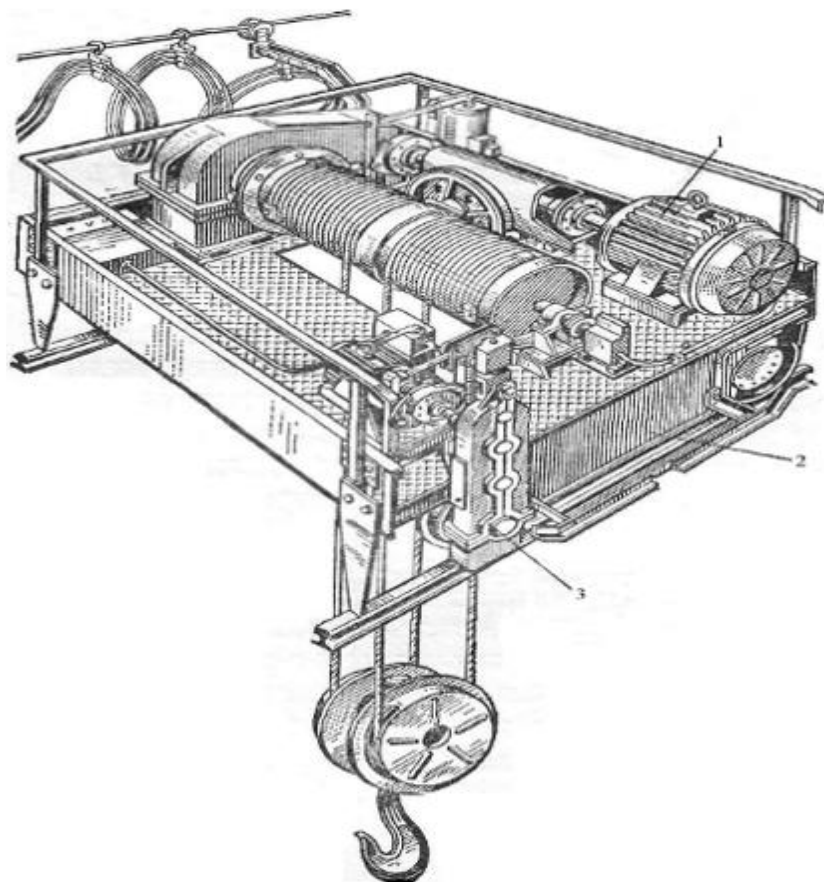
Виды грузовой тележки изображены на рисунке 1.2.



*a* — крюковая; *б* — грейферная.

Рисунок 1.2 - Виды тележки

Тележка мостового крана (рисунок 1.3), состоит из сварной металлической рамы на ходовых колесах, на которой смонтированы механизмы подъема груза и передвижения тележки.



1. Механизм подъема груза
2. Рама сварная металлическая
3. Механизм передвижения тележки

### Рисунок 1.3 - Тележка мостового крана

На раме тележки размещены механизмы главного и вспомогательного подъема и механизм передвижения тележки. Механизм главного подъема имеет электродвигатель, соединенный длинным валом-вставкой с редуктором. Полумуфта, соединяющая вал-вставку с входным валом редуктора, используется в качестве тормозного шкива колодочного тормоза, имеющего привод от электрогидравлического толкателя. Выходной вал редуктора соединен зубчатой муфтой с барабаном. Опоры верхних блоков полиспаста и уравнильные блоки расположены на верхней поверхности рамы, что облегчает их обслуживание и увеличивает возможную высоту подъема. В качестве ограничителя высоты подъема применен шпindelный выключатель, выключающий ток при достижении крюковой подвеской крайних верхнего и нижнего положений. [1]

Механизм передвижения тележки состоит из двигателя тормоза, вертикального зубчатого редуктора, двух ведущих и двух холостых ходовых колес. На раме тележки укреплен линейка, воздействующая в крайних положениях на конечный выключатель, ограничивающий путь передвижения тележки.

Рама сварена из продольных и поперечных балок из листовой стали, сверху накрыта настилом. С целью снижения массы тележки и повышения ее жесткости применяют гнутые профили.

Узлы механизмов смонтированы так, что на продольные балки опираются подшипники вала барабана, редуктор и двигатель механизма подъема.

Механизм передвижения установлен посередине между ходовыми

колесами или сбоку тележки - для удобства монтажа и замены вертикального редуктора.

Кроме того, краны мостовые комплектуются канатными или цепными талями.

## 1.2 Кинематические схемы электроприводов мостового крана

Работу основных механизмов крана рассматривают по кинематическим схемам. Все механизмы передвижения крана имеют по два холостых колеса. Так как двигатели обычно имеют угловую скорость, значительно большую, чем скорость подъемного барабана или ходовых колес моста и тележки, то движение к рабочим органам механизмов крана передается через редукторы.

Для механизмов подъема наибольшее применение получили схемы с полиспастом (рисунок 1.4), при помощи которого движение от барабана передается крюку.

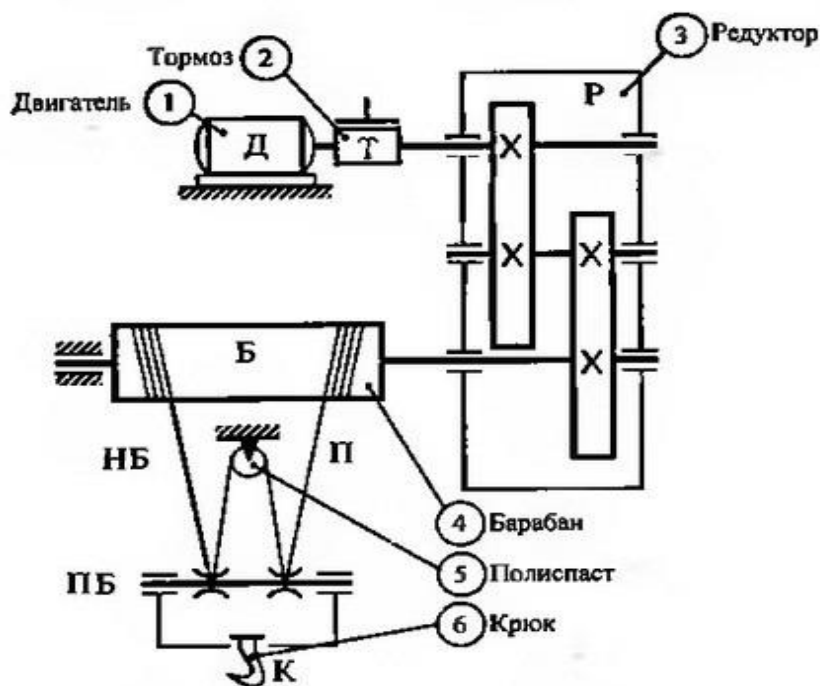


Рисунок 1.4 - Кинематическая схема механизма подъема мостового крана



Двигатель Д через редуктор Р приводит во вращение барабан лебедки, на который канат наматывается при подъеме и сматывается при опускании груза. Грузозахватное приспособление подвешивается на подвижных блоках ПБ, которые образуют с неподвижными относительно лебедки блоками НБ полиспаст.

Двигатель включается в работу после строповки груза, затем выбирается слабина каната. Далее выполняется разгон с ускорением не выше допустимого до рабочей скорости и обеспечивается подъем груза. При достижении заданной высоты двигатель тормозится, а на вал двигателя накладывается тормоз Т. Удержание груза в подвешенном состоянии осуществляется тормозом. При спуске груза выдерживается ускорение не выше допустимого, двигатель работает в тормозном режиме. При подходе груза к площадке выгрузки скорость спуска снижается, груз плавно устанавливается на площадку. Ослабляется натяжение канатов для расстроповки груза, крюк отцепляется и цикл работы повторяется.

## 2. Выбор электрооборудования

### 2.1 Выбор электродвигателя и расчёт параметров

В связи с выходом асинхронного двигателя с фазным ротором из строя, произведем его замену на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором той же мощности.

Выбираем двигатель 5A225S8K.

Таблица 2.1 Паспортные данные двигателя

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Фазное напряжение обмотки статора	$U_{1н}$	В	220
Номинальное напряжение сети	$U_{фн}$	В	380
Мощность двигателя	$P_{дв}$	кВт	18,5
Коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности	$\eta_n$	о.е.	0,90
Номинальная скорость вращения	$n_n$	об/мин	735
Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности	$\cos\varphi$	о.е.	0,76
Номинальное скольжение	$S_n$	о.е.	0,02
Кратность пускового тока	$k_i$	о.е.	6,4
Кратность пускового момента	$k_{п}$	о.е.	2
Кратность максимального момента	$k_{max}$	о.е.	2,7
Кратность минимального момента	$k_{min}$	о.е.	1,7
Число пар полюсов	$p$	о.е.	4

Примечания:

1. Технические характеристики приведены для основного режима работы S3 (ПВ = 40%)
2. Диапазон изменения частоты питания – от 5 до 50 Гц.

Рассчитаем основные параметры двигателя: [3]

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 750}{30} = 78,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 \cdot n_{ном}}{n_0} = \frac{750 - 735}{750} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{дв.н} = \frac{n_{ном}}{9,55} = \frac{735}{9,55} = 76,96 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_n}{\omega_{дв.н}} = \frac{18500}{76,96} = 240,38 \text{ Н} \times \text{м}$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{макс} = \frac{M_{макс}}{M_{дв.н}} = 2,7$$

$$m_{пуск} = \frac{M_{пуск}}{M_{дв.н}} = 2,0$$

Кратность пускового тока

$$k_{пуск} = \frac{I_{пуск}}{I_{1н}} = 6,4$$

## 2.2 Выбор преобразователя частоты

Исходя из требований к электроприводу подъёма, выбираем преобразователь частоты Altivar Process ATV900 ATV930D18N4 фирмы «Schneider Electric».

Таблица 2.2 – Технические характеристики преобразователя

Степень защиты	UL тип 1 в соответствии с UL 508С
Тип охлаждения	Принудительная конвекция
Частота сети питания	50...60 Hz (+/- 5 %)
Номинальное напряжение питания [Us]	380...480 В (- 15...10 %)
Мощность двигателя, кВт	18.5кВт
Полная мощность	24кVA в 480 В
Непрерывный выходной ток	39,2А в 4 kHz
Макс. переходной ток	47,6А в течение 60 с



Рисунок 2.1 – Преобразователь частоты Altivar Process ATV900  
ATV930D18N4

Altivar Process ATV900 это преобразователь частоты общепромышленного назначения для управления асинхронными электродвигателями переменного тока мощностью 18,5 кВт.

Преимущества:

- выходная частота привода 0.1...500 Гц;

- функция защиты STO (безопасное выключение крутящего момента) SIL 3;
- выходная частота привода 0.1...500 Гц;
- компенсация проскальзывания вала двигателя регулируется автоматически при любой нагрузке. Может подавляться;
- функции защиты двигателя;
- автоматическая подстройка двигателя;
- сигнализация: 2-кратный светодиодный индикатор состояния коммуникационного модуля, индикатор локальной диагностики, индикатор состояния встроенной связи, индикатор наличия напряжения.

### 2.3 Определение параметров схемы замещения

Определение параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным двигателя:

Ток холостого хода асинхронного двигателя находится по следующему выражению

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_{жс} \cdot I_{1н} \cdot \frac{1-s_n}{1-p_{жс} \cdot s_n})^2}{1 - (p_{жс} \cdot \frac{1-s_n}{1-p_{жс} \cdot s_n})^2}} = \sqrt{\frac{31,175^2 - (0,75 \cdot 40,98 \cdot \frac{1-0,02}{1-0,75 \cdot 0,02})^2}{1 - (0,75 \cdot \frac{1-0,02}{1-0,75 \cdot 0,02})^2}} = 9,114A$$

где  $S_n, o.e$  – номинальное скольжение;

Номинальный ток статора двигателя

$$I_{1н} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_n} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,76 \cdot 0,90} = 40,98A;$$

Ток статора двигателя при частичной загрузке

$$I_{11} = \frac{p_{жс} \cdot P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{p_{жс}} \cdot \eta_{p_{жс}}} = \frac{0,75 \cdot 18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,749 \cdot 0,90} = 31,175A;$$

где коэффициент загрузки двигателя

$$p_{жс} = \frac{P}{P_n} = \frac{13,875}{18,5} = 0,75$$

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке редко приводятся в технической литературе, а для определенного ряда серий электрических машин эти данные в справочной литературе и вовсе отсутствуют. Данные параметры определяются, исходя из следующих соображениями:

- современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что максимальный КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньше номинальной. Делается это так потому, что большинство из двигателей по причине стандартной дискретной шкалы мощностей работают с определенной недогрузкой. Поэтому КПД при частичной нагрузке практически равен КПД номинальному:

$$\eta_n \approx \eta_{pж}$$

- коэффициент мощности при той же нагрузке  $p_{ж} = 0,75$  значительной мере отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий АД с достаточной для практически точностью подчиняется зависимости, приведенной в источнике. [5]

$$\cos \varphi_{pж} = \cos \varphi \cdot 0,985 = 0,749_{о.е}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения.

$$s_k = s_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = 0,02 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,7^2 - (1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1)} = 0,112_{о.е}$$

где значение коэффициента  $\beta$  находится в диапазоне от 0,6 до 2,5. Принимаем  $\beta = 1$ ,  $k_{\max} = 2,5$ .

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_k}) \cdot C_1} = \frac{1,4}{(1 + \frac{1}{0,112}) \cdot 1,017} = 0,139_{Ом}$$

где определим коэффициенты

$$C_1 = 1 + \left( \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \frac{9,114}{2 \cdot 6,4 \cdot 40,98} = 1,017 \text{ o.e.}$$

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,02}{2 \cdot 1,017 \cdot 2,7 \cdot 18500} = 1,4 \text{ o.e.}$$

Активное сопротивление статора обмотки рассчитывается по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,017 \cdot 0,139 \cdot 1 = 1,141 \text{ Ом}$$

Индуктивного сопротивления короткого замыкания

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 8,868 \cdot 1,017 \cdot 0,139 = 1,251 \text{ Ом}$$

где  $\gamma$  находится по выражению

$$\gamma = \sqrt{\left( \frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{0,112^2} \right) - 1^2} = 8,868 \text{ o.e.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной

$$X_{2H}' = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{1,251}{1,017} = 0,713 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 1,251 = 0,525 \text{ Ом}$$

ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,76 - 0,141 \cdot 40,98)^2 + (220 \cdot 0,65 - 0,525 \cdot 40,98)^2} = 202,006 \text{ В}$$

где  $\sin \varphi = 0,65 \text{ o.e.}$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202,006}{9,11} = 22,173 \text{ Ом}$$

Для моделирования пуска асинхронного двигателя необходимо найти индуктивные параметры.

Индуктивность обмотки статора находится по формуле

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_H} = \frac{0,525}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00167 \text{ Гн}$$

Индуктивность обмотки ротора, приведенная к обмотке статора

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_H} = \frac{0,731}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0023 \text{ Гн}$$

Значение индуктивности воздушного зазора

$$L_{кн} = \frac{X_{кн}}{2 \cdot \pi \cdot f_H} = \frac{1,251}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00398 \text{ Гн}$$

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 Параметры схемы замещения электродвигателя 5A225S8K

$R_1, \text{Ом}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X_{1H}, \text{Ом}$	$L_{1\sigma}, \text{Гн}$	$X'_{2H}, \text{Ом}$	$L'_{2\sigma}, \text{Гн}$	$X_{\mu H}, \text{Ом}$	$L_{кн}, \text{Гн}$
0,141	0,139	0,525	0,00167	0,713	0,0023	22,173	0,00398

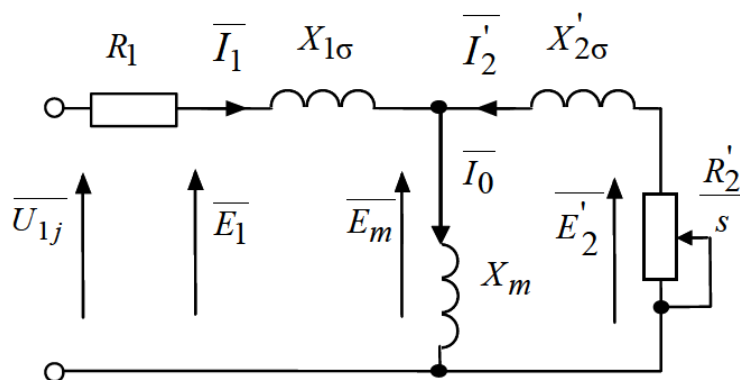


Рисунок 2.2 - Схема замещения асинхронного двигателя.

#### 2.4 Расчет естественных механических и электромеханических характеристик электродвигателя

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика  $I_1 = f(s)$ , отражающая зависимость тока статора  $I_1$  от скольжения  $s(\omega)$ . Ток статора  $I_1$  определяется путем сложения вектора тока намагничивания  $I_0$  и вектора тока ротора  $I'_2$ .



$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_2'$$

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя  $I_0$  реактивным, ток статора  $I_1$  через приведенный ток ротора  $I_2'$  можно найти по формуле

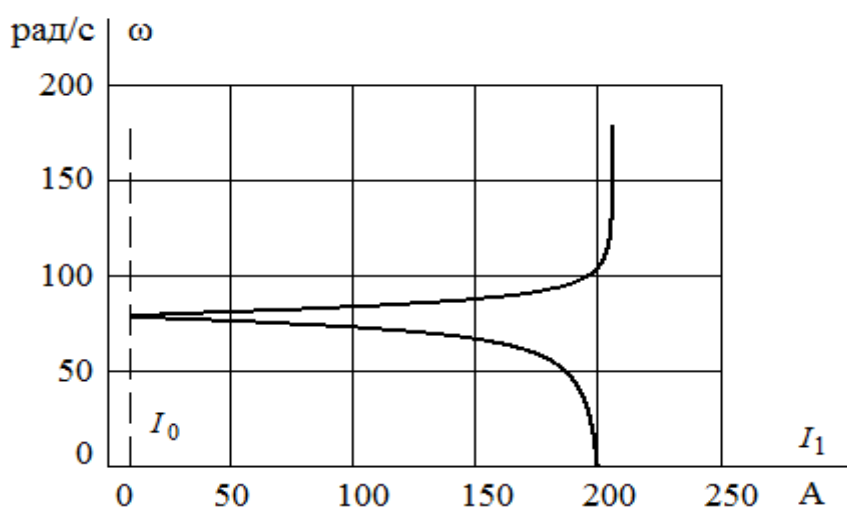
$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin\left(\frac{X_{1H} + X_{2H}'}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}}\right)}$$

где  $I_2'$  ток ротора, приведенный к обмотке статора асинхронного двигателя, определяется зависимостью, получаемой непосредственно из схемы замещения асинхронного двигателя

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}}$$

Задавая значение скольжения, рассчитывается соответствующее значение тока и воспользовавшись формулой  $\omega = \omega_0(1-s)$ , получим соответствующее значение угловой скорости. [6]

Естественные электромеханические характеристики ротора и статора короткозамкнутого асинхронного двигателя рассчитаны с помощью пакета Mathcad и представлены на рисунке 2.3.



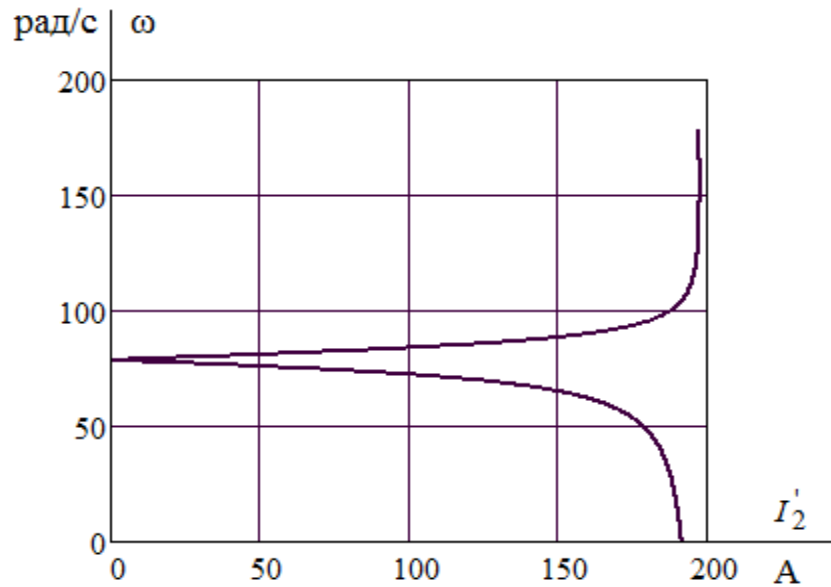


Рисунок 2.3 Естественные электромеханические характеристики асинхронного двигателя  $\omega = f(I_1), \omega = f(I_2')$

Основной выходной координатой силового привода является электромагнитный момент, значение которого для асинхронного двигателя определяется по выражению

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot ((R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{KH}^2)}$$

Задавая значение скольжения рассчитывается соответствующее значение момента и воспользовавшись формулой  $\omega = \omega_0(1 - s)$ , получим соответствующее значение угловой скорости.

Естественная механическая характеристика короткозамкнутого асинхронного двигателя рассчитана в пакете Mathcad и представлена на рисунке 2.4

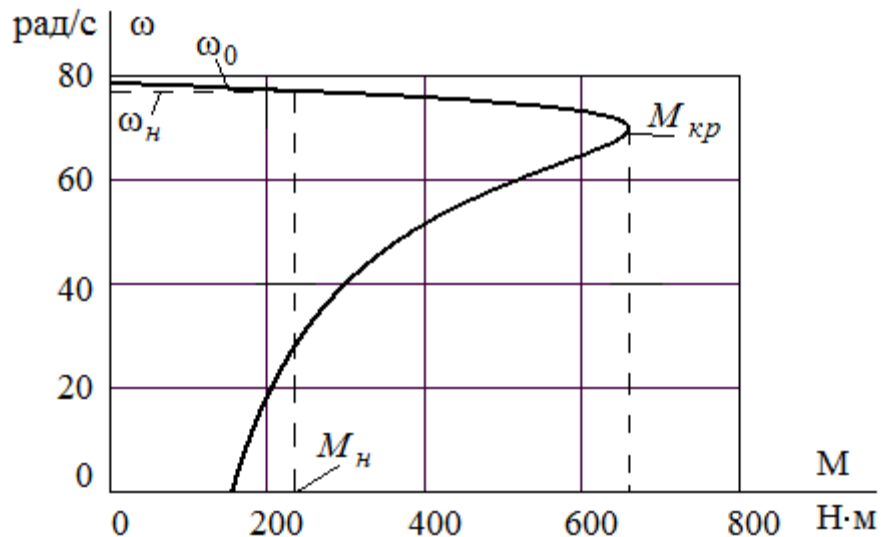


Рисунок 2.4 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя.

### 2.5 Расчёт статических механических и электромеханических характеристик при частотном законе регулирования скорости $U/f=\text{const}$

Возможность частотного регулирования скорости асинхронного двигателя – регулирование путём изменения частоты питающего напряжения – вытекает из того обстоятельства, что скорость вращения электромагнитного поля статора пропорционально частоте питающего напряжения

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{P_n}$$

Следует так же учесть, что поскольку с изменением частоты питающего напряжения изменяется и величина потока двигателя  $\Phi_1$ .

$$\Phi_1 = \frac{E_1}{kf_1} \approx \frac{U_1}{kf_1}$$

то в большинстве случаев одновременно с изменением частоты питающего напряжения необходимо регулировать и его амплитуду.

Необходимость регулирования напряжения при уменьшении частоты вниз от номинальной связана с тем, что из-за уменьшения индуктивного сопротивления обмоток АД ток намагничивания будет возрастать, что приведёт к насыщению магнитопровода двигателя и его перегреву.

Регулирование напряжения следует производить таким образом, чтобы скольжение двигателя было минимальным.

При частотном регулировании величина относительного скольжения  $S_j$  зависит как от разности скоростей вращающегося электромагнитного поля и ротора – абсолютного скольжения  $S_a = \omega_0 - \omega$  так и от относительного значения  $f_{1*}$  частоты питающего напряжения

$$\frac{f_{1j}}{f_{1H}} = f_{1*} \quad S_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$$

Здесь  $f_{1j}$ ,  $\omega_{0j}$ ,  $S_j$  – регулируемые значения частоты напряжения статора и соответствующие значения скорости вращения и скольжения;

$f_{1H}$  и  $\omega_{0H}$  – номинальные значения частоты статора и скорость поля, соответствующие паспортным данным двигателя.

$$S_j = 1 - \frac{\omega}{\omega_{0H}}$$

Для анализа электромеханических характеристик двигателя при частотном регулировании приходится учитывать, что реактивные сопротивления двигателя зависят от частоты питающего напряжения и изменяются с изменением частоты.

$$\begin{aligned} X_{1j} &= X_{1H} \cdot f_{1*} & X_{\mu j} &= X_{\mu H} \cdot f_{1*} \\ X'_2 &= X'_{2H} \cdot f_{1*} & X_k &= X_{kH} \cdot f_{1*} \end{aligned}$$

В связи с ним нужно заметить, что при номинальной частоте 50 Гц индуктивное сопротивление контура намагничивания  $X_{\mu H}$  на порядок

(для машин малой мощности) или на два порядка (для машин большой мощности) больше, чем активное сопротивление обмотки статора  $r_1$ . Поэтому при анализе и расчёте электромеханических характеристик асинхронных двигателей, работающих при постоянной номинальной частоте питающего напряжения, сопротивлением  $r_1$  обычно пренебрегают. Если же двигатель работает с переменной частотой напряжения, то при снижении частоты сопротивление  $r_1$ , становится соизмеримым с реактивным сопротивлением машины и учет сопротивления  $r_1$ , является необходимым.

Мощность скольжения, выделяемая в цепи ротора, расходуется на нагрев обмоток ротора как следует из

$$P_s = M \omega_0 s_j = 3I_2^2 r_2$$

откуда

$$M = \frac{3I_2^2 r_2}{\omega_0 s_j}$$

Из схемы замещения, учитывая, что отношение  $X_{1H}/X_{\mu H}$  и  $X_{2H}/X_{\mu H}$  гораздо меньше и ими можно пренебречь, определим значение  $I_2$

$$I_2 = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 R_2}{s X_{\mu H} f_{1*}}\right)^2}}$$

Подставляя выражение получим формулу для механических характеристик при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

$$M = \frac{3U_{1j}^2 R_2}{\omega_0 s_j \left[ X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(R_{1\text{экв}} + \frac{R_2}{s_j}\right)^2 + \left(\frac{R_{1\text{экв}} R_2}{s_j X_{\mu H} f_{1*}}\right)^2 \right]}$$

Положив  $dM/ds_j = 0$ , найдём значения максимального момента и критического скольжения

$$M_k = \frac{3U_{1j}^2}{2\omega_{0j} \left[ r_1 \pm \sqrt{\left( r_1^2 + x_{kH}^2 f_{1*}^2 \right) \left( 1 + \frac{r_1^2}{x_{\mu H}^2 f_{1*}^2} \right)} \right]}$$

$$s_{kj} = \pm r_2 \sqrt{\frac{1 + \left( r_1 / X_{\mu H} f_{1*} \right)}{r_1^2 + X_{\mu H}^2 f_{1*}^2}}$$

Знак (+) соответствует двигательному режиму, знак (-) режиму рекуперативного торможения.

Если пренебрегать величиной активного сопротивления статора ( $r_1 = 0$ ) то, для того что бы при частотном регулировании (уменьшении частоты вниз от номинальной) сохранять критический момент постоянным, нужно величину напряжения изменять пропорционально изменению частоты.

Характеристика нагрузки имеет вид:

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

Построим искусственные механические характеристики, соответствующие рассчитанным параметрам. (рисунки 2.5, 2.6, 2.7)

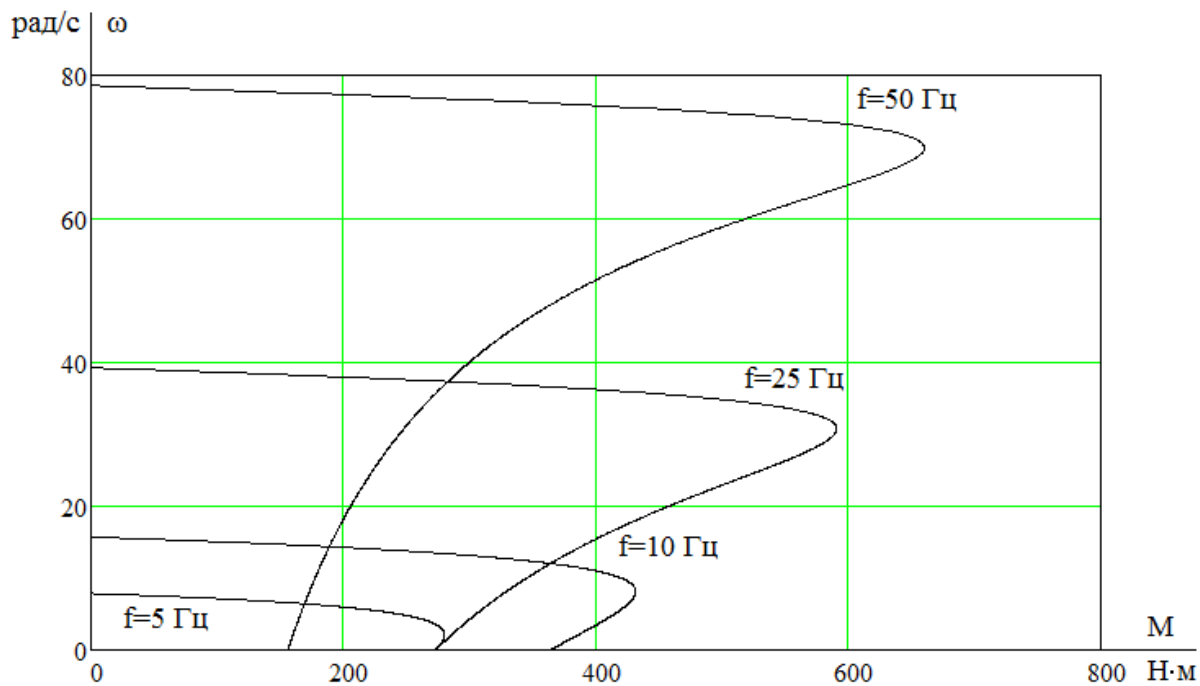


Рисунок 2.5 – Механические характеристики АД при различных частотах

Далее рассчитываем соответственно зависимости  $I_2' = f(\omega)$  и  $I_1 = f(\omega)$

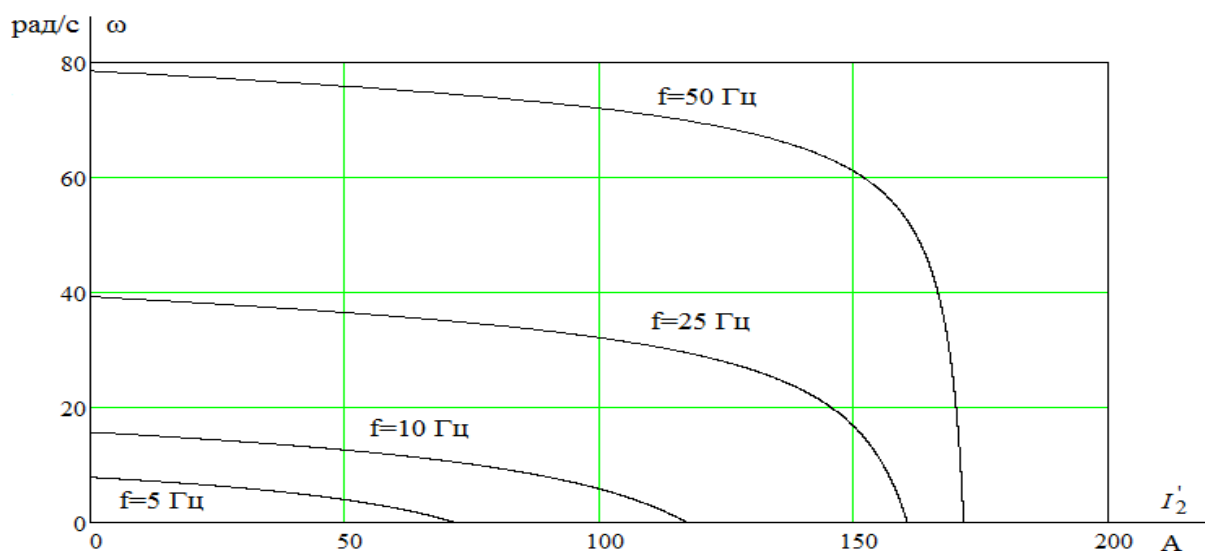


Рисунок 2.6 – Электромеханические характеристики  $I_2' = f(\omega)$  АД при различных частотах

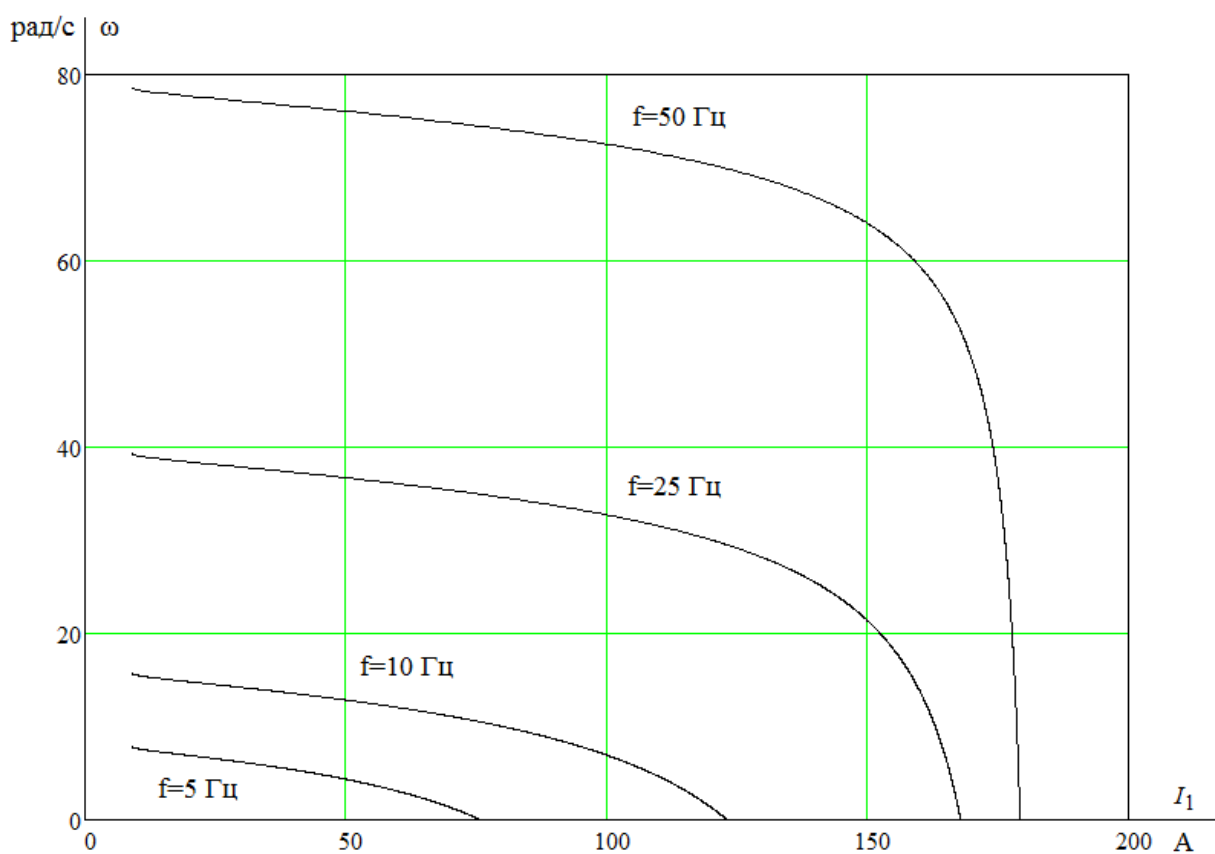


Рисунок 2.7 – Электромеханические характеристики  $I_1 = f(\omega)$  АД при различных частотах



### 3. Расчет динамических характеристик асинхронного двигателя

#### 3.1 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя

Так как параметры схемы замещения асинхронного двигателя найдены с помощью методики, допускающей определенную погрешность, то для окончательной проверки правильности их нахождения, проверим асинхронный двигатель в динамике. Моделирование асинхронного двигателя будем производить в абсолютных единицах, так как современные программные средства для численных вычислений, расчетов и математического моделирования, например, MATLAB позволяют автоматически устанавливать масштаб моделирования независимо от мощности двигателя или его параметров

Ниже представлена имитационная модель прямого пуска АД (рисунок 3.1) с помощью которой были рассчитаны переходные процессы скорости, электромагнитного момента и динамическая характеристика. (рисунки 3.2, 3.3 и 3.4)

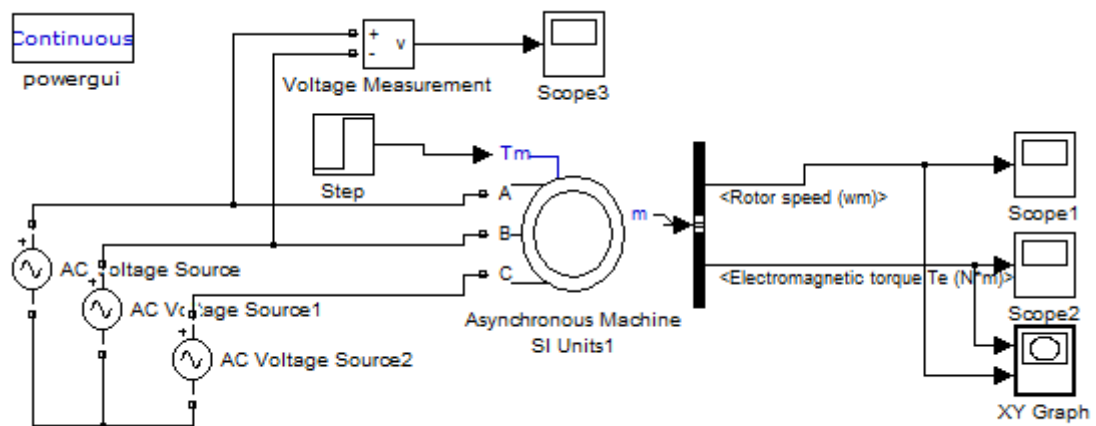


Рисунок 3.1 - Имитационная модель прямого пуска АД без нагрузки в программной среде MATLAB-Simulink.

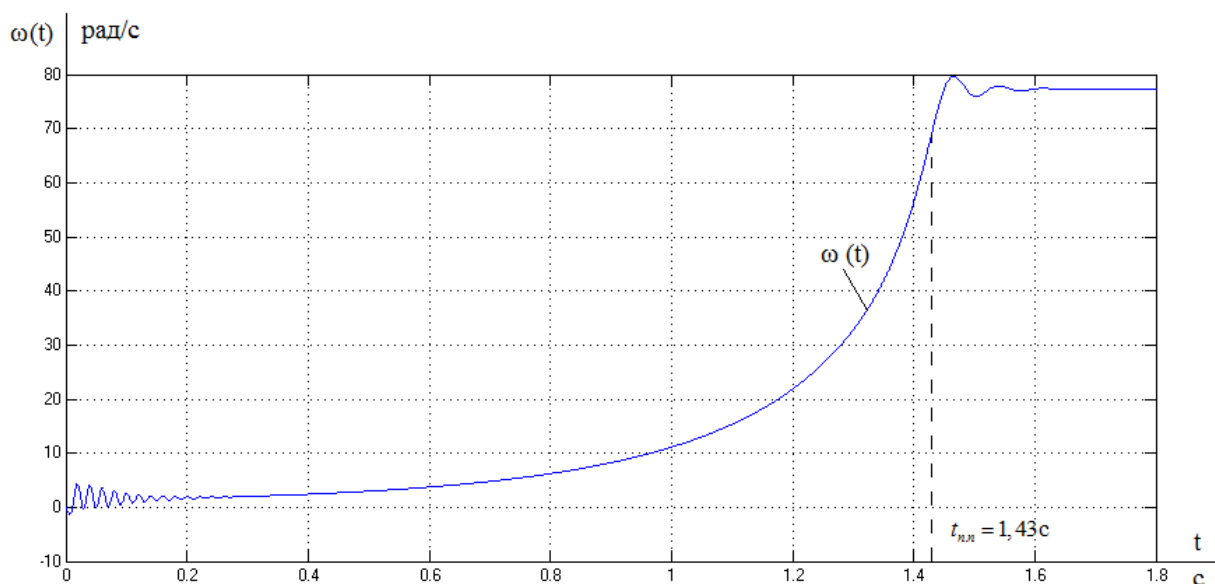


Рисунок 3.2 - .Графики переходных процессов скорости  $\omega = f(t)$

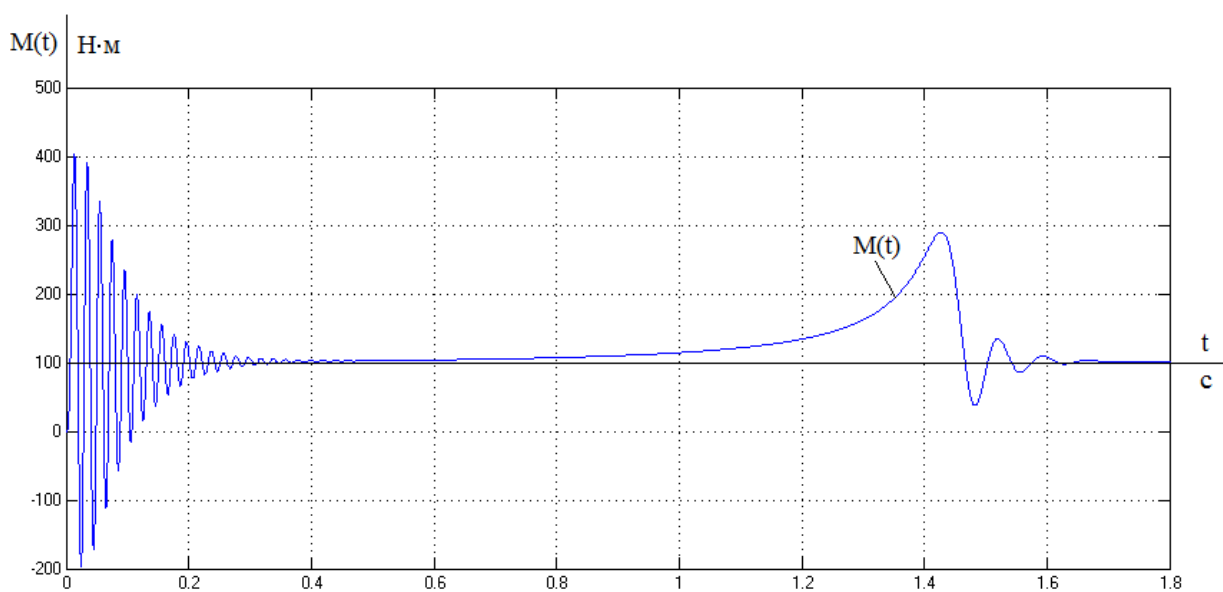


Рисунок 3.3 - Графики переходных процессов момента  $M = f(t)$ .

Установившееся значение электромагнитного момента достигает 100 Н/м за 1,8 сек.

Установившиеся значение частоты вращения достигает 77,3 рад/с за 1,7 сек.

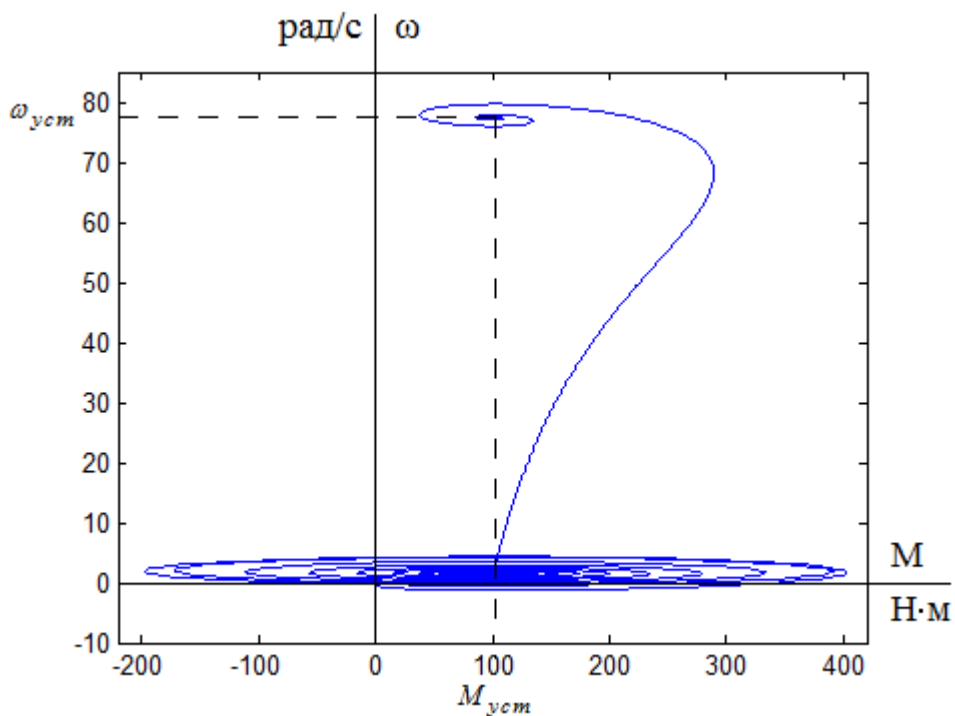


Рисунок 3.4 - Динамическая механическая характеристика короткозамкнутого АД при пуске прямым включением в сеть при моделировании во вращающейся системе координат.

Также, анализируя переходные процессы при прямом пуске можно заметить наличие значительной колебательной составляющей в кривых моментах, и затухающих по мере разгона двигателя. В итоге прямой пуск не позволяет получить удовлетворительного качества переходных процессов. Для устранения недостатков, возникающих при прямом пуске АД необходимо применять частотное регулирование.

### 3.2 Моделирование прямого пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f=\text{const}$

Имитационная модель электропривода со скалярным управлением представлена на рисунке 3.5. [4]

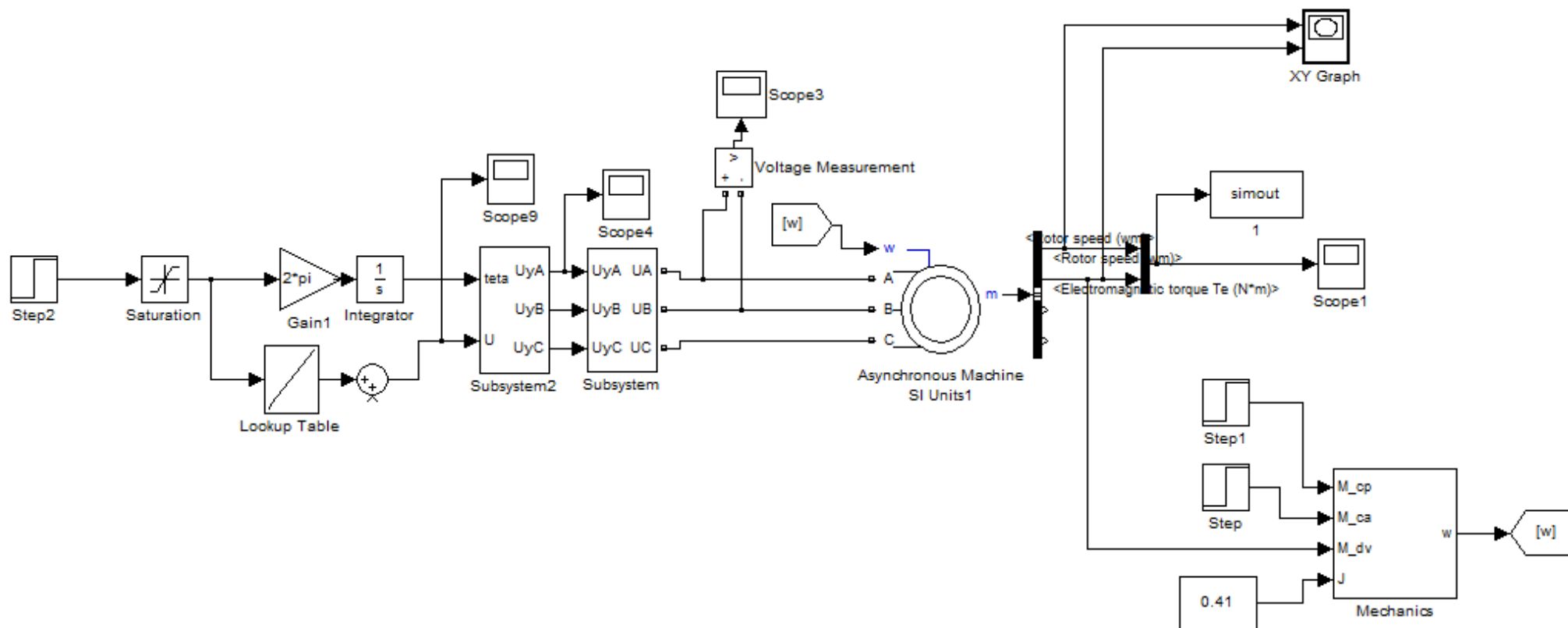


Рисунок 3.5 - Имитационная модель электропривода со скалярным управлением  $U/f=\text{const}$ .

С помощью данной модели были рассчитаны переходные процессы скорости и момента спуска и подъёма груза.

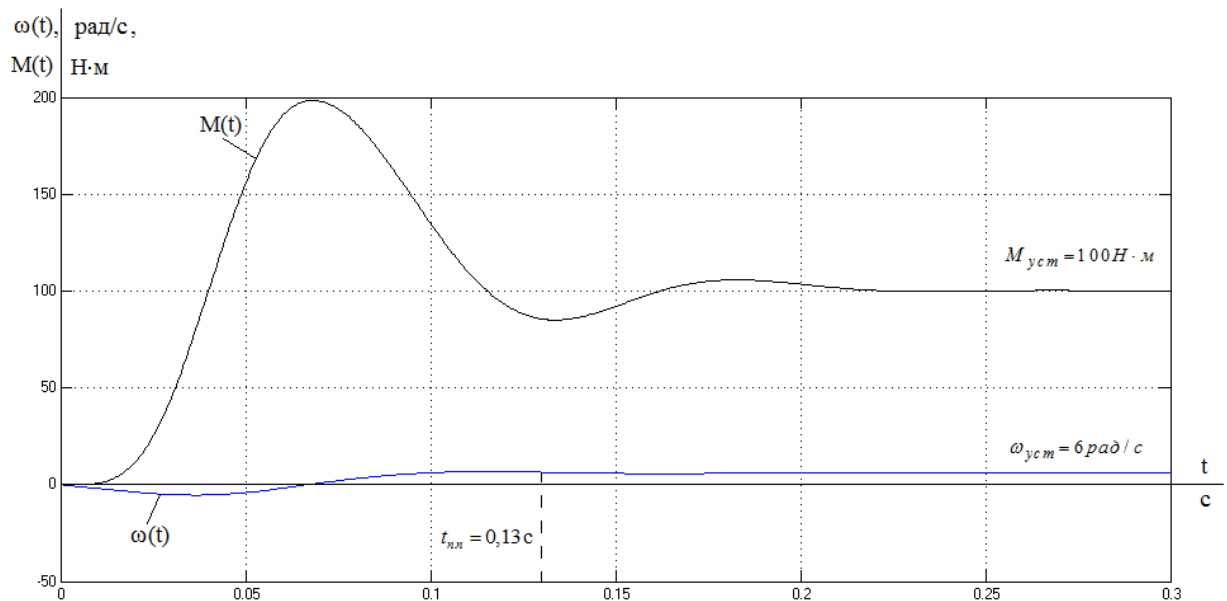


Рисунок 3.6 – Переходные процессы при спуске груза при частоте 5 Гц

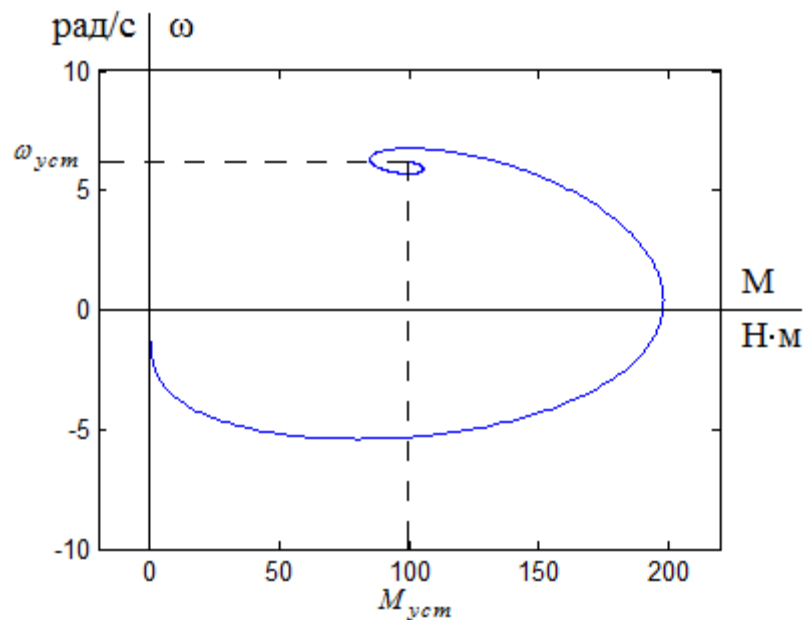


Рисунок 3.7 – Динамическая механическая характеристика при спуске груза при частоте 5 Гц

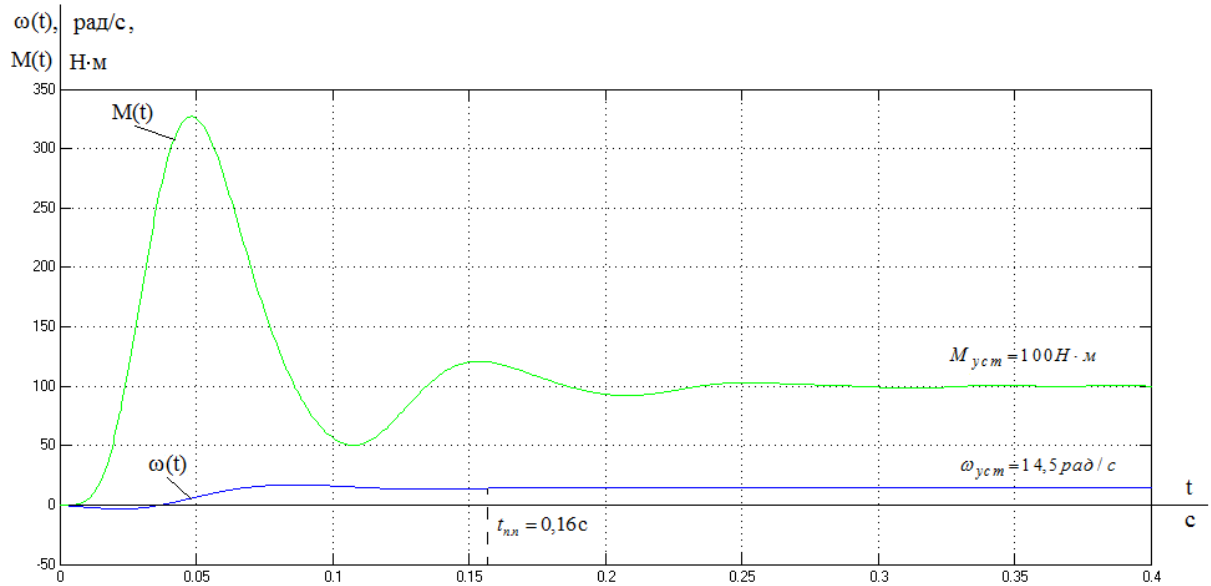


Рисунок 3.8 – Переходные процессы при спуске груза при частоте 10 Гц

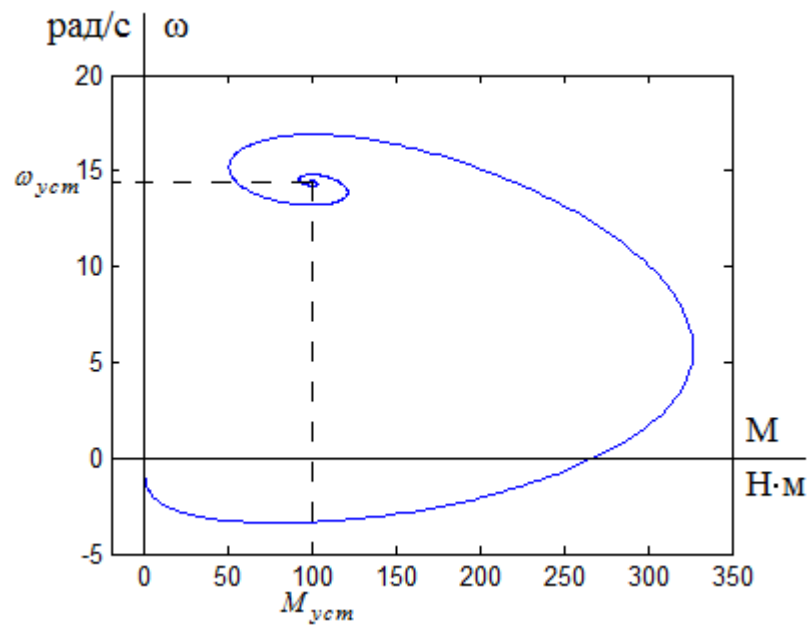


Рисунок 3.9 – Динамическая механическая характеристика при спуске груза при частоте 10 Гц

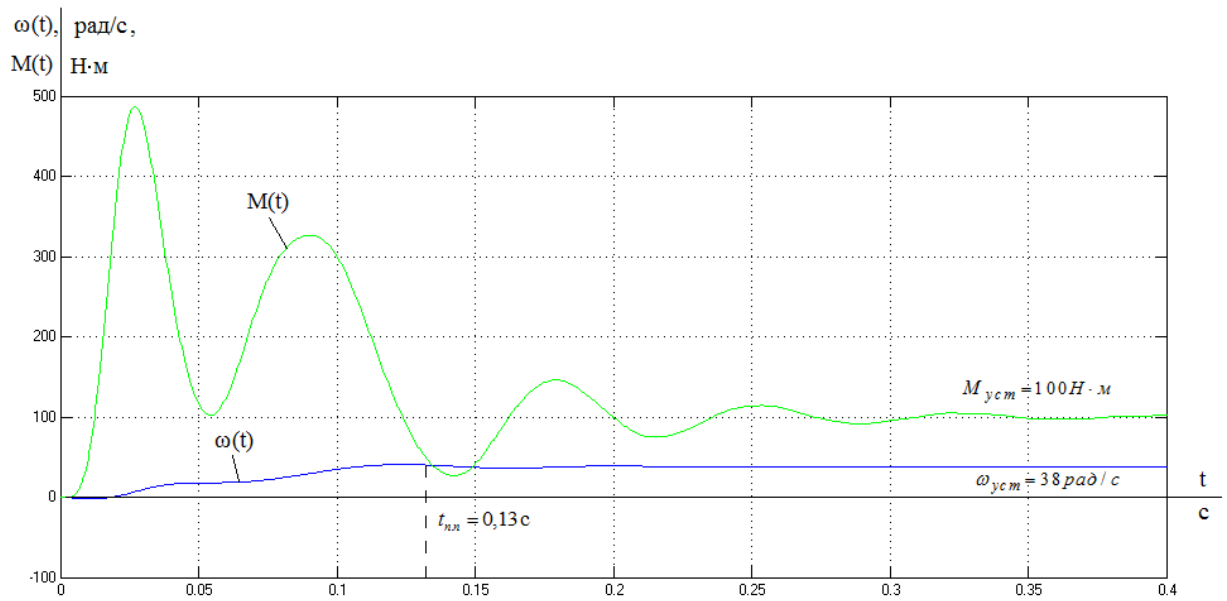


Рисунок 3.10 – Переходные процессы при спуске груза при частоте 25 Гц

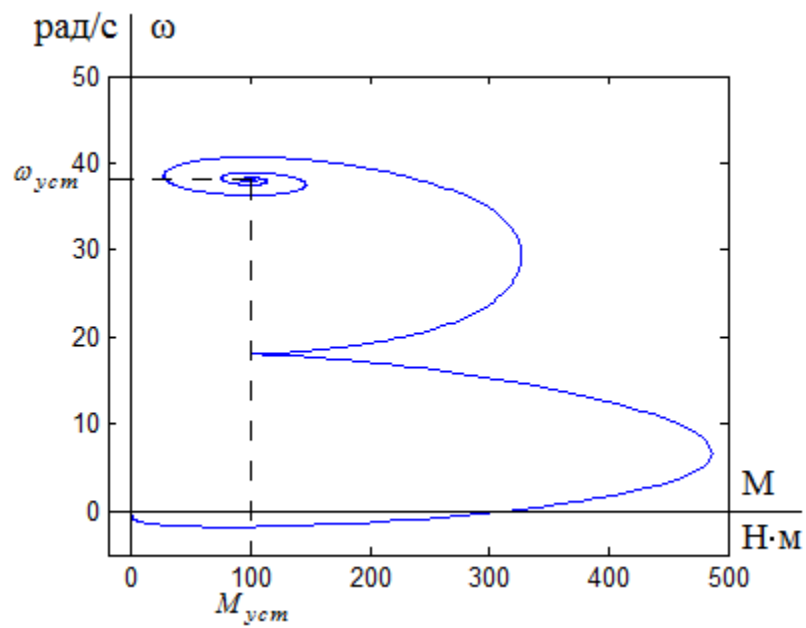


Рисунок 3.11 – Динамическая механическая характеристика при спуске груза при частоте 25 Гц

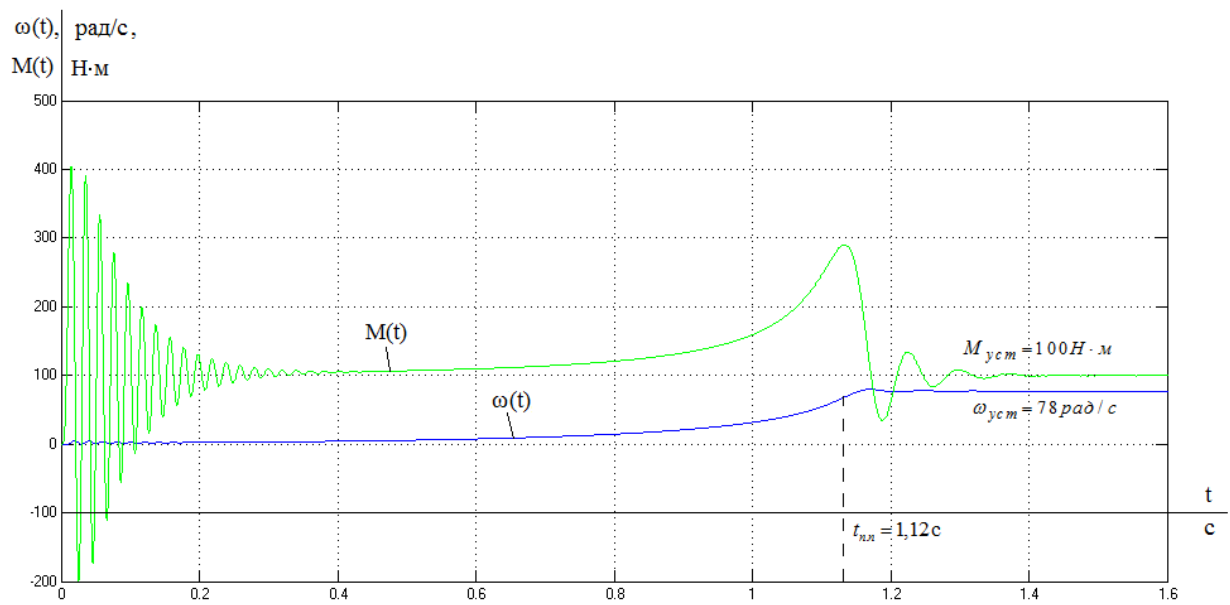


Рисунок 3.12 – Переходные процессы при спуске груза при частоте 50 Гц

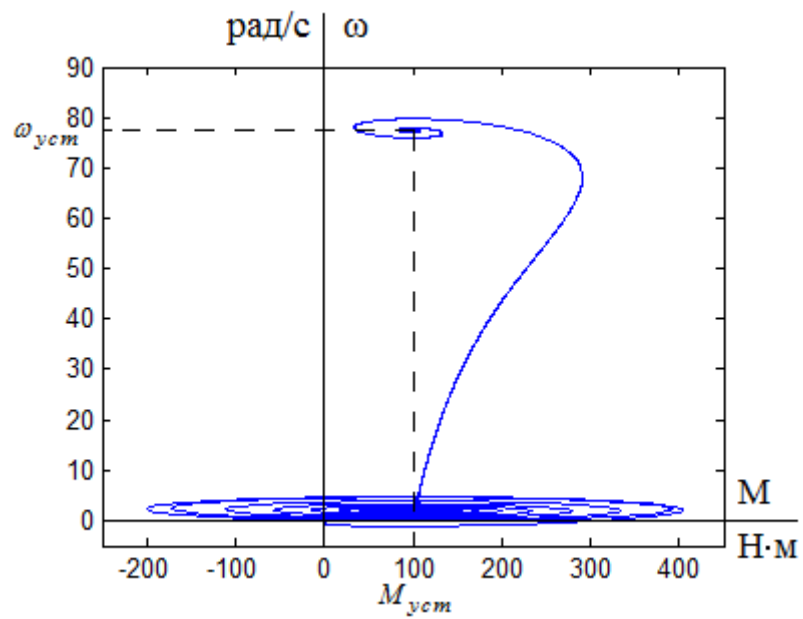


Рисунок 3.13 – Динамическая механическая характеристика при спуске груза при частоте 50 Гц



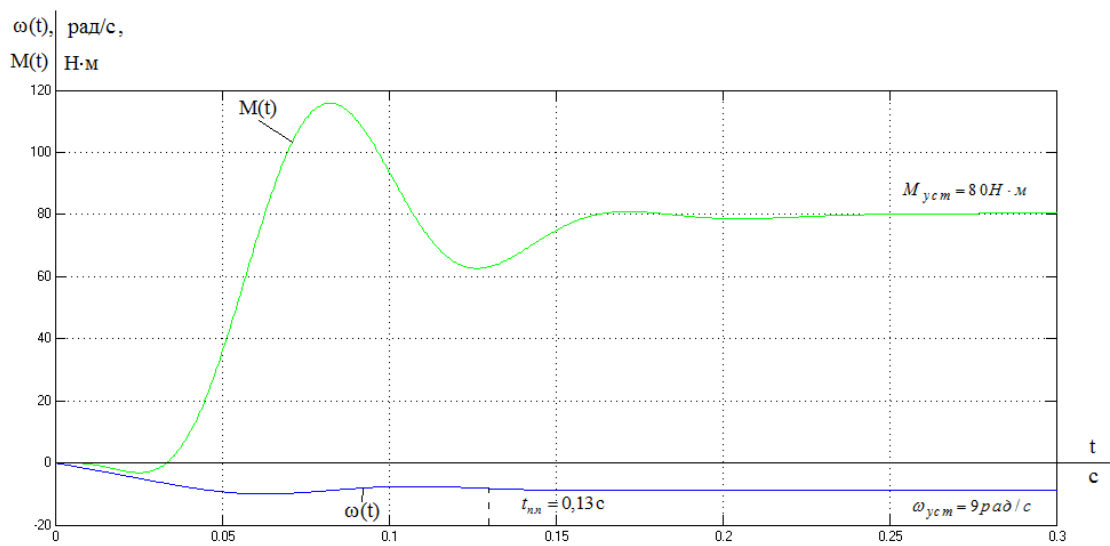


Рисунок 3.14 – Переходные процессы при подъёме груза при частоте 5 Гц

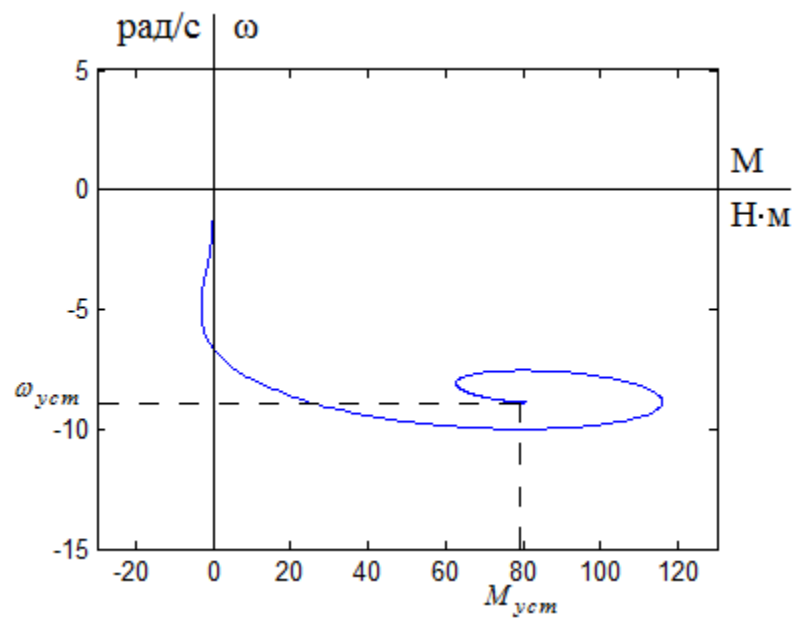


Рисунок 3.15 – Динамическая механическая характеристика при подъёме груза при частоте 5 Гц

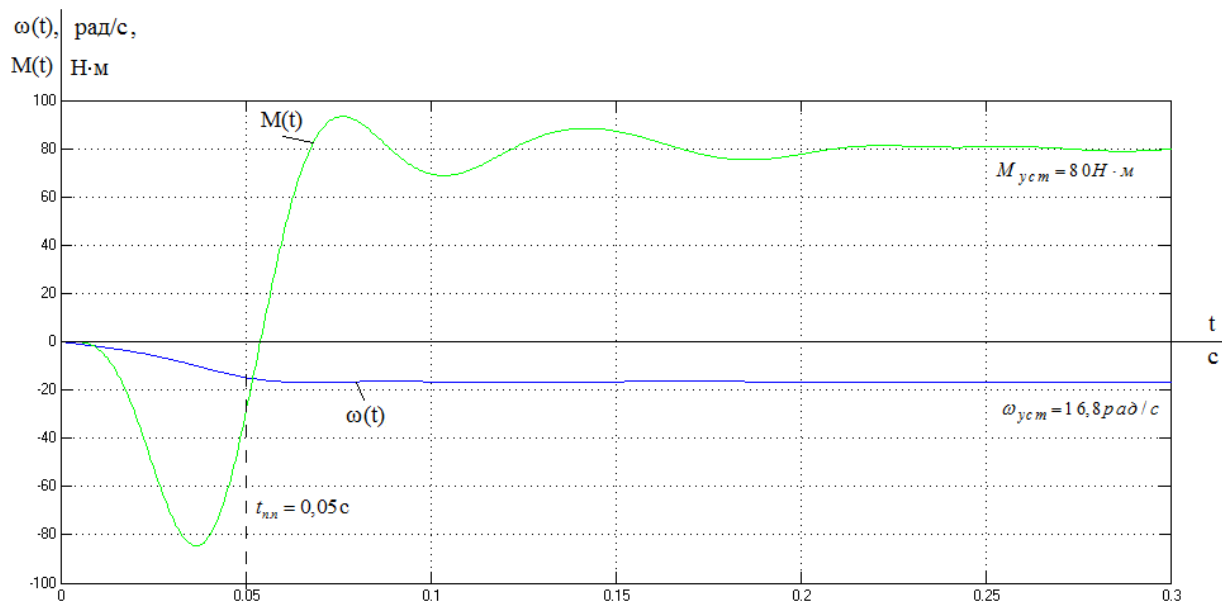


Рисунок 3.16 – Переходные процессы при подъёме груза при частоте 10 Гц

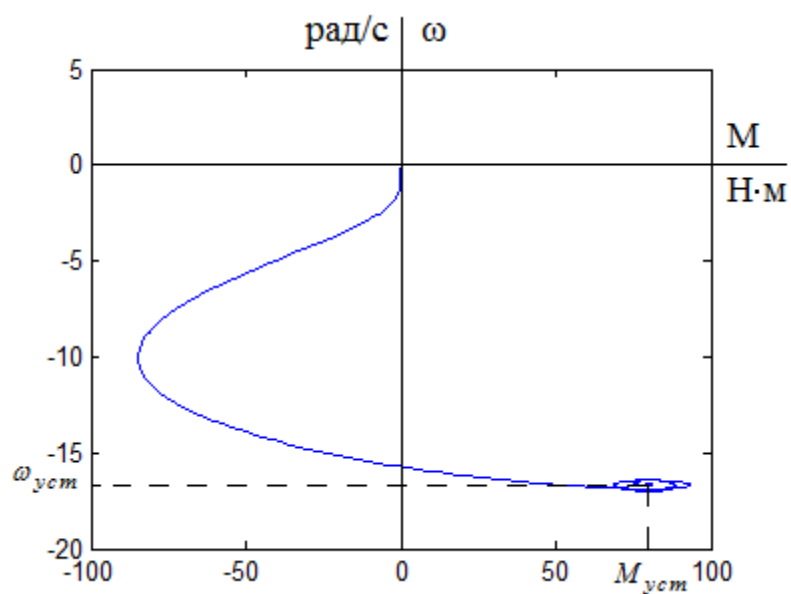


Рисунок 3.17 – Динамическая механическая характеристика при подъёме груза при частоте 10 Гц

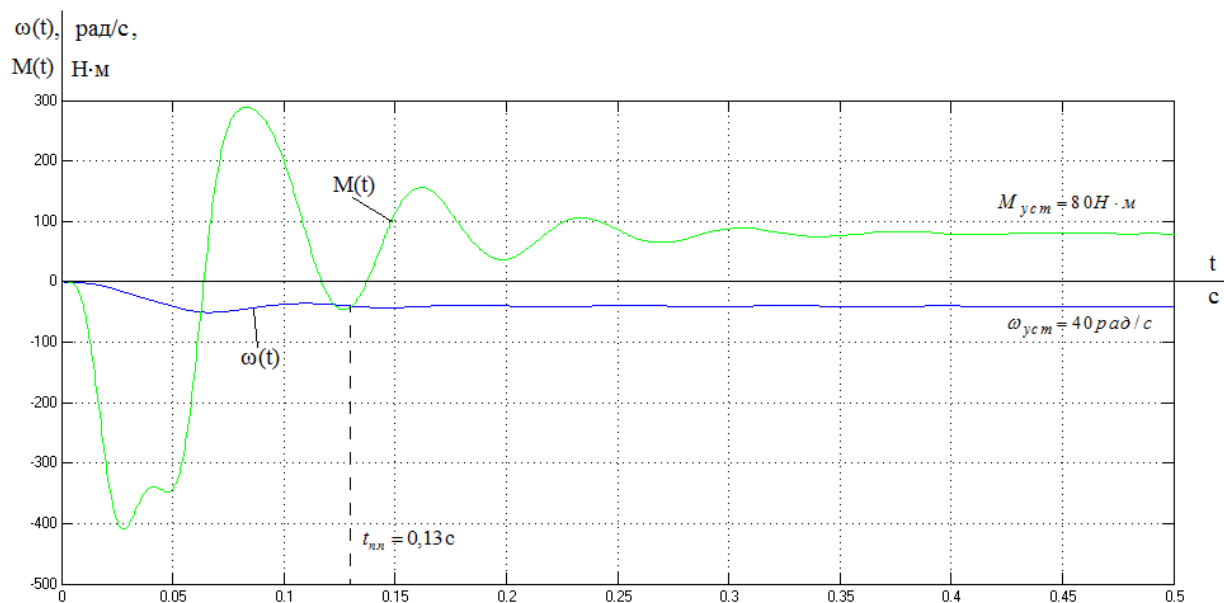


Рисунок 3.18 – Переходные процессы при подъёме груза при частоте 25 Гц

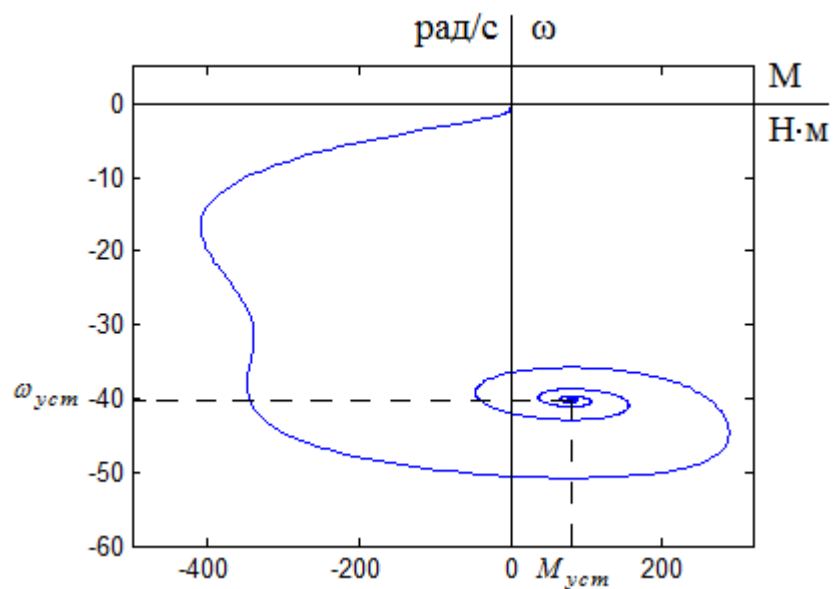


Рисунок 3.19 – Динамическая механическая характеристика при подъёме груза при частоте 25 Гц

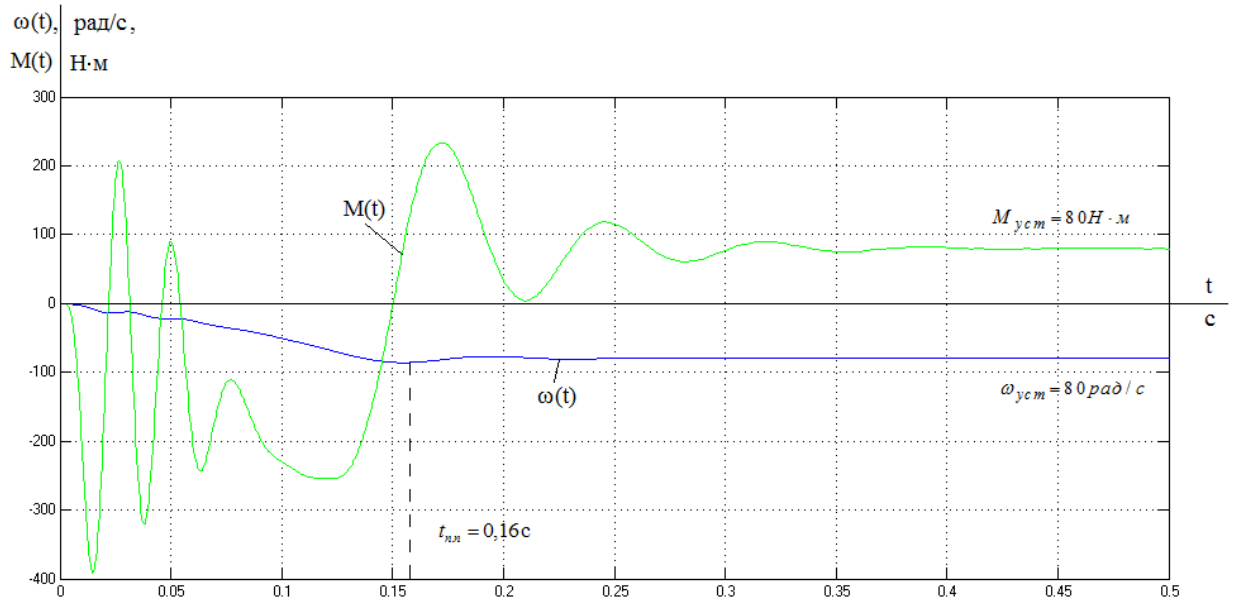


Рисунок 3.20 – Переходные процессы при подъёме груза при частоте 50 Гц

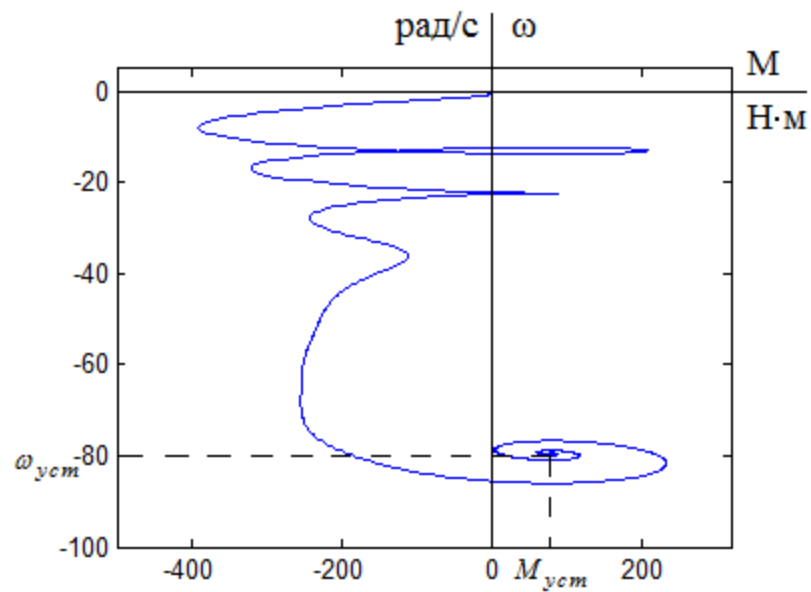


Рисунок 3.21 – Динамическая механическая характеристика при подъёме груза при частоте 50 Гц

Таким образом из динамических характеристик видно что при спуске момента равен - 100 Н/м, а при подъёме - 80 Н/м. Это связано с тем что при подъёме реактивная нагрузка действует с противоположным знаком.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность технического проектирования определяется не столько масштабом проекта, оценить который на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для выполнения технологического проекта и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы будущего проекта.

Высокий уровень механизации и автоматизации производства, повышенные требования к электроприводу и к продукции увеличивают объем наладочных работ и выделяют их в самостоятельный вид деятельности. От качества проведения пусконаладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования.

Таким образом, целью данного раздела является обоснование целесообразности выпускной квалификационной работы, которая отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

#### **4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электрообудования и электропривод механизма подъёма мостового крана**

SWOT – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проекту по разработке электропривода мостового крана, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT будем использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1 На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, и надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц применяются следующие обозначения:

- «2» – сильное соответствие; «1» – слабое соответствие;
- «0» – нет соответствия.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 4.2 и 4.3

Таблица - 4.1 Матрица SWOT

<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>С1. Надежность и простота электродвигателя  С2. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя  С3. Замена устаревшего оборудования  С4. Плавность и точность подъёма</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Высокая стоимость оборудования  Сл2. Большие затраты на ремонт оборудования  Сл3. Необходимость обучения персонала новому оборудованию  Сл4. Большое количество времени на ремонт преобразователя частоты, в случае выхода его из строя</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование такой же системы на другом крановом оборудовании  В2. Установка дистанционного управления</p>	<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Ошибочные действия персонала при работе и ремонте</p>

Таблица 4.2 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	В1	2	2	1	1
	В2	1	1	1	2
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	1	1	1	1
	В2	1	0	1	1

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4
	У1	1	1	1	1
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	1	1	2	2

Таблица – 4.4 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
	<p>С1. Надежность и простота электродвигателя</p> <p>С2. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя</p> <p>С3. Замена устаревшего оборудования</p> <p>С4. Плавность и точность подъёма</p>	<p>Сл1. Высокая стоимость оборудования</p> <p>Сл2. Большие затраты на ремонт оборудования</p> <p>Сл3. Необходимость обучение персонала новому оборудованию</p> <p>Сл4. Большое количество времени на ремонт преобразователя частоты, в случае выхода его из строя</p>
<b>Возможности:</b>		
<p>В1. Использование такой же системы на другом крановом оборудовании</p> <p>В2. Установка дистанционного управления</p>	<p>В1 С1 С2</p> <p>В2 С4</p>	
<b>Угрозы:</b>		
<p>У1. Ошибочные действия персонала при работе и ремонте</p>		<p>У1 Сл3 Сл4</p>

В1С1 – В связи с надёжностью и простотой электродвигателя имеет смысл применять такую же систему на другом крановом оборудовании.

В1С2 – При использовании частотного преобразователя происходит значительная экономия электроэнергии, поэтому для



предприятия будет выгодно применять такую же систему на другом крановом оборудовании.

В2С4 – При использовании дистанционного управления рабочий может выполнять операции с большей точностью т.к. будет находиться ближе к месту погрузки (разгрузки).

У1Сл3 – При эксплуатации нового оборудования возможны поломки и неисправности. Для их предотвращения необходимо обучение персонала.

У1Сл4 – При ошибочных действиях персонала при работе с преобразователем частоты возможны поломки или неисправности. Поэтому на ремонт может потребоваться большое время, т.к. для их устранения требуется квалифицированный наладчик.

## **4.2 Разработка графика проведения работ технического проекта**

Для выполнения проектных и пуско-наладочных работ формируется рабочая группа, в состав которой входят:

1. руководитель;
2. бакалавр-проектировщик;
3. инженер – программист;
4. инженер-наладчик.

Необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения технического проекта и ПНР, провести распределение исполнителей по видам работ.

### **4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ**

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в таблице 4.5.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

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

Результаты расчетов приведены в таблице 4.5.

#### **4.2.2 Разработка последовательного комплекса работ проекта**

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

В приведенной ниже таблице 4.6 номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – разработка технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – электрические схемы соединения; параметры двигателя и др. нагрузки;

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет параметров схем замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов заключается в выявлении имеющихся в программе ошибок. Цель отладки состоит в выявлении и устранении причин ошибок;

№6 – выбор оборудования – выбрать приводной асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода подъема мостового крана и частотный преобразователь;

№ 7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATHCAD, построение переходных процессов в среде MATLAB;

№ 8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – Расчет и построение семейства механических  $\omega(M_{эм})$  и электромеханических  $\omega(I_1)$  характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATHCAD;

№ 9 – пуско-наладочные работы – настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения, снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта;

№ 10 – оформление пояснительной записки – включает в себя: сведения о проекте, основание для разработки, цели, назначение и область использования системы, технические и организационные

мероприятия, окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником;

№ 11 – сдача проекта – подготовка к защите и защита проекта.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 4.6.

Таблица 4.5 – Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\min}$ , чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\max}$ , чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$ , чел.-дн.	Продолжительность одной работы, $T_p$ , раб.дн.
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	7	12	9	9
3	Сбор исходных данных	Дипломник	4	6	4,8	5
4	Подготовка данных для ввода в базу	Дипломник	4	6	4,8	5
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	8	12	9,6	10
6	Выбор оборудования	Дипломник	7	11	8,6	10
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	8	12	9,6	11
		Руководитель	1	1	1	1
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	Дипломник	8	12	9,6	11
		Руководитель	1	1	1	1
9	Пуско-наладочные работы	Инженер - наладчик	16	19	17,2	17
		Инженер - программист	16	19	17,2	17
10	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	9,6	10
11	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1	1
		Руководитель	1	1	1	1

Таблица 4.6 – Диаграмма Ганта

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители*	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам											
				Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление ТЗ	Р	1	-											
2	Сбор и изучение литературы	Д	9	■											
3	Сбор исходных данных	Д	5		■										
4	Подготовка данных для ввода в базу	Д	5		■										
5	Отладка данных и проведение расчетов	Д	10			■									
6	Выбор оборудования	Д	10				■								
		Р	1					■							
7	Расчёт и проверка модели АД	Д	11					■							
		Р	1						■						
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	Д	11						■						
		Р	1							■					
9	Пуско-наладочные работы	ИН	17							■	■	■			
		ИП	17							■	■	■			
10	Оформление пояснительной записки	Д	10										■		
11	Сдача проекта	Р	1											■	
		Д	1											■	

\* « Д » – дипломник, « Р » – руководитель, « ИН » – Инженер -наладчик, « ИП » – Инженер - программист

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы: руководитель 5 дней, ПНР 17 дней, дипломник 72 день.

### 4.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты ТП;
- затраты на специальное оборудование;
- полная заработная плата исполнителей разработки ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как соединительные провода, шлейфы и т.д. укомплектованы вместе с оборудованием.

#### 4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование

Стоимость специального оборудования приведена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Стоимость специального оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, тыс. руб.
Электродвигатель 5A225S8K (18,5кВт)	1	62
Преобразователь частоты Schneider Electric ATV930 (18,5кВт)	1	86
Итого		148

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{об} = Ц \cdot k$$

где  $Ц$  – сумма затрат на специальное оборудование;

$k$  – Коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы равный 1,20 .

$$C_{об} = 148 \cdot 1,20 = 177,6 \text{ тыс. руб.}$$

#### 4.3.2 Расчёт полной заработной платы

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 5.5).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{допл} + З_{р.к.}}{F_d},$$

где  $З_{тс}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$З_{допл}$  – доплаты и надбавки ( коэффициент премии ), руб.( 50%);

$З_{р.к.}$  – районная доплата, руб.(30%);

$F_d$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.



Значения расчётов основной заработной платы приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Основная заработная плата исполнителей

Работники	Заработная плата по окладу руб.	Доплаты и надбавки, руб. (коэффициент премии)	Районная доплата, руб. (30%)	Зарплата месячная, руб.	Средняя заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	23000	11500	6900	41400	1882	5	9410
Инженер - программист	18000	9000	5400	32400	1472	28	41216
Инженер - наладчик	20000	10000	6000	36000	1636	28	45808
Дипломник	7800	-	2359	10159	462	72	33264
Итого $Z_{осн}$ , руб.							129698

Расчет дополнительной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника.

Значения расчётов дополнительной и полной заработной платы приведены в таблице 4.9. [14]

Таблица 4.9 – Дополнительная и полная заработная плата

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	9410	1411	10821
Дипломник	0,12	33264	3991	37255
Инженер - программист	0,12	41216	4945	46161
Инженер - наладчик	0,12	45808	5496	51304
Итого		129698	15843	145541

#### 4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органами государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$k_{\text{внеб}} = 30,2\%$$

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 145541 = 43,9 \text{ тыс.руб.}$$

#### 4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

#### 4.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная выше величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. [15]

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	-	-
2. Затраты на специальное оборудование	148	37,8
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	145,5	37,2
4. Отчисления во внебюджетные фонды	43,9	11,2
5. Накладные расходы	54	13,8
<b>Итого</b>	<b>391,4</b>	<b>100,0</b>

#### 4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию привода подъёма мостового крана рассмотрены следующие критерии:

- надежность – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях электросетей, не гарантирующих стабильного напряжения),

- энергосбережение – это экономия электрической энергии. Она достигается за счет использования частотного преобразователя;

- помехоустойчивость – это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех), достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости;

- удобство в эксплуатации;

- рост производительности труда пользователя – это показатель, характеризующий результативность труда, осуществляется в проекте благодаря повышению уровня автоматизации, что способствует росту производительности труда.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристики проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,20	5
3. Материалоемкость	0,15	4
4. Помехоустойчивость	0,15	4
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителю)	0,15	5
6. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
<b>Итого:</b>	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

- По итогам проведенного SWOT – анализа сформулированы предложения по внедрению разработки в производство.
- Разработан график реализации исследований, составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

- Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которые составили 391,4 тыс.руб.

- Определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 ( по 5- балльной шкале).

## **5. Социальная ответственность**

### **5.1 Описание рабочего процесса**

В данном дипломном проекте рассматривается применение частотно-регулируемого электропривода мостового крана в машинном зале цеха по транспортировке угля. Мостовой кран является вспомогательным механизмом в производственном цикле.

Вопросы безопасности и экологичности проекта, будем рассматривать, применительно к оборудованию преобразователя частоты (ПЧ) и асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Краном мостового типа называется кран с грузозахватным устройством, подвешенным к грузовой тележке, которая перемещается по подвижной стальной конструкции (мосту).

Мостовой кран передвигается по поднятой системе рельс вдоль территории и обеспечивает три оси движения крюка. Подъемник перемещает груз вверх и вниз, тележка перемещает груз влево и вправо и мост крана продвигает груз вперед и назад. И однобалочные и двухбалочные схемы опорного мостового крана позволяют достигать очень точного расположения крюка и плавное перемещение груза.

Грузовая тележка состоит из рамы, на которой из унифицированных узлов собраны механизмы подъема груза и передвижения тележки. Рама выполнена из опирающихся на ходовые колёса двух продольных балок, соединённых поперечными балками и покрытых сверху листом настила. На тележке предусмотрены ограничители высоты подъема крюковой обоймы, линейка для выключателей её крайних положений на мосту крана, буфера и перила ограждения.

## 5.2.1 Анализ выявленных вредных производственных факторов

При обслуживании системы АД-ПЧ работник подвергается действию вредных производственных факторов, таких как шум.

### *Повышенный уровень шума*

Шум непостоянный широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.

Шумом называют всякий неблагоприятно действующий на человека звук. Персонал обслуживающей преобразователь частоты подвергается широкополосному шуму на рабочем месте, так как оборудование находится на площадке крана, над машинным залом в котором источником шума являются двигателя и редуктора ленточного конвейера.

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.

При эксплуатации и наладке ПЧ можно выделить умственную работу с инструкцией, точные зрительные работы. Для этой трудовой деятельности уровень допустимого шума составляет 65 дБ. Ниже в таблице 5.1 представлены уровни шума для различных видов трудовой деятельности с учетом степени напряженности труда.



Таблица 5.1 – Уровни шума для различных видов трудовой деятельности с учетом степени напряженности труда.

Вид трудовой деятельности	Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ А
Работа по выработке концепций, новых программ; творчество; преподавание	40
Труд высших производственных руководителей, связанных с контролем группы людей, выполняющих преимущественно умственную работу	50
Высококвалифицированная умственная работа, требующая сосредоточенности; труд, связанный исключительно с разговорами по средствам связи	55
Умственная работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного* слухового контроля; высокоточная категория зрительных работ**	60
Умственная работа, по точному графику с инструкцией (операторская), точная категория зрительных работ	65
Физическая работа, связанная с точностью, сосредоточенностью или периодическим слуховым контролем	80

Средства и методы коллективной защиты на объекте отсутствуют.

- ГОСТ Р 12.4.211-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Средства индивидуальной защиты противошумные вкладыши противошумные наушники, встроенные в головной убор.

- ГОСТ Р 12.4.209-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Средства индивидуальной защиты органа слуха. Вкладыши. Общие технические требования. Методы испытаний.

- ГОСТ Р 12.4.208-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Средства индивидуальной защиты органа слуха. Наушники. Общие технические требования. Методы испытаний.

## 5.2.2 Анализ опасных производственных факторов

При работе с электрооборудованием присутствуют опасные факторы, такие как:

### *Поражение электрическим током*

ГОСТ 12.4.283-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Комплект защитный от поражения электрическим током.

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 таблице 5.2

Таблица 5.2 – Предельно допустимые значения тока

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока $t$ , с											
		0,01-0,08	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	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	$I$ , мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	$U$ , В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	$I$ , мА												8
Постоянный	$U$ , В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	$I$ , мА												15
Выпрямленный двухполупериодный	$U_{ампл}$ , В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	-
	$I_{ампл}$ , мА												
Выпрямленный однополупериодный	$U_{ампл}$ , В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	-
	$I_{ампл}$ , мА												

Примечание - Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при продолжительности воздействия более 1 с, приведенные в таблице, соответствуют отпускающим (переменным) и неболевым (постоянным) токам.

Коллективная электробезопасность должна обеспечиваться: конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность.

Оборудование преобразователя частоты, находящиеся на площадке крана, должно быть заземлено согласно ПУЭ: Глава 5.4. Электрооборудование кранов.

Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции. Защитное заземление следует выполнять преднамеренным электрическим соединением металлических частей электроустановок с "землей" или ее эквивалентом. ГОСТ Р 50571.5.54-2011

Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов.

Средства индивидуальной защиты при выполнении работ с преобразователем частоты: изолированный инструмент, указатели напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокола кабеля, плакаты и знаки безопасности и прочие средства защиты, изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ под напряжением до 1000 В ГОСТ 12.4.283-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Комплект защитный от поражения электрическим током.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоёмы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного.

-Объект исследования находится в промышленной зоне и никакого воздействия на жилую зону он не имеет.

-Оборудование не воздействует на атмосферу.

-Оборудование не загрязняет гидросферу.

При утилизации ПЧ, в случае поломки и не ремонтпригодности, организация обязуется утилизировать оборудование согласно ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования.

При выходе из строя асинхронного двигателя, у предприятия имеется свой обмоточный цех, где у двигателя перематывается обмотка статора, а старую обмотку утилизируют согласно ГОСТ 1639-2009 Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия.

## 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При разработке и эксплуатации проекта возможны следующие ЧС: Поражение электрическим током, пожар и падение с высоты. Наиболее типичной ЧС для моего проекта является пожар.

Причины возникновения пожара:

- Короткое замыкание в аппаратуре ПЧ
- Возгорание, плавление изоляции и клемников из за неправильного монтажа
- Не соблюдение правил пожарной безопасности персоналом

Рассмотрим следующие превентивные меры по предупреждению ЧС согласно РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятия.

- регулярные проверки уровня пожарной безопасности всего объекта, а также отдельных его участков, проводимые согласно с установленной законом периодичностью.

- организация занятий и инструктажей среди сотрудников и рабочих объекта, посвященных вопросам пожарной безопасности (ПБ)

Подготовка ИТР, рабочих и служащих по пожарной безопасности состоит в из следующих основных положений:

- вводного инструктажа по пожарной безопасности;
- проводимых в структурных подразделениях регулярных инструктажей (первичного, периодического, внепланового и целевого), в тематику которых обязательно включаются вопросы пожарной безопасности;
- специальной подготовки персонала;
- занятий по пожарно-техническому минимуму для соответствующих категорий персонала;
- проведения противопожарных тренировок;

- повышения знаний (квалификации) в учебных центрах, а также при проведении семинаров и целевых совещаний (конференций) по противопожарной защите;
- изучения и проверки знаний правил пожарной безопасности. Проверка знаний и инструкций по пожарной безопасности и конкретные требования по работе с персоналом определяются «Правилами организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства».

Обеспечение рабочих мест средствами пожаротушения и обеспечение их исправности и правильных условий содержания .

Для тушения пожара на кране применяют сухой огнетушитель типа ОУ-2, снабженный стальным баллоном с углекислым газом, сжатым до 17 МПа.

Для приведения в действие ручного углекислотного огнетушителя ОУ-2 необходимо взять его левой рукой за рукоятку, а правой повернуть снегообразователь в сторону очага горения, затем поворотом маховичка открыть вентиль до отказа по часовой стрелке и направить струю углекислого снега на горящий предмет.

Кроме огнетушителей типа ОУ-2 можно применять огнетушители ОУ-5 и ОУ-8 с вместимостью баллона 5 и 8 л, которые по конструкции и принципу действия не отличаются от ОУ-2.

При возникновении пожара и ликвидации ее последствий придерживаемся ГОСТ РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности предприятий.

-При обнаружении возгорания, необходимо, по возможности, попытаться его потушить, используя специально предназначенный для этого огнетушитель. Небольшие очаги возгорания всегда можно накрыть плотной тканью, чтобы перекрыть доступ воздуха.

-прежде чем пытаться потушить пламя, возникшее на проводах, необходимо отключить электричество;

-когда начинается пожар, необходимо обязательно сообщить об этом в службу пожарной охраны. Потребуется назвать точный адрес предприятия, свою фамилию и по приезду пожарной бригады по возможности организовать доступ к месту возгорания, расчистив для них проезд;

-в случае, если огонь перекинулся на одежду, не рекомендуется бежать. В таких ситуациях необходимо попытаться лечь на землю и последовательно переворачиваться со спины на живот, потушить пламя землей, водой или снегом;

-когда приезжает пожарная охрана, руководитель предприятия должен ввести в курс дела старшего сотрудника бригады о выполненной эвакуации персонала, локализации возгорания, выполненных действиях с целью ликвидации огня.

## **5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Для персонала обслуживающего электрооборудование ПЧ на угольном предприятии, у которого класс вредности 3.2 предусмотрены следующие правовые нормы законодательства:

1.Статья 147 ТК РФ. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда.

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

(часть первая в ред. Федерального закона от 28.12.2013 N 421-ФЗ)

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

(часть вторая в ред. Федерального закона от 28.12.2013 N 421-ФЗ)

Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 настоящего Кодекса для принятия локальных нормативных актов, либо коллективным договором, трудовым договором.

(в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ)

2. Дополнительный отпуск к основному ст 117 ТК РФ. Для работников занятым на работах с вредными или опасными условиями труда.

Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени либо опасным условиям труда.

Минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам, указанным в части первой настоящей статьи, составляет 7 календарных дней.

Продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда.

Организационные мероприятия при компоновки рабочей зоны:

Для безопасной и комфортной работы обслуживающего персонала электрооборудования ПЧ должны быть выполнены организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования. (Переиздание. В октябре 2001г.)

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя или в положениях и сидя, и стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:



- Физическую тяжесть работ;
- Размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- Технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.).

Рабочее место при выполнении работ в положении сидя, должно соответствовать требованиям - ГОСТ12.2.032-78. (Переиздание. Апрель 2001г.)

Рабочее место при выполнении работ в положении стоя, должно соответствовать требованиям - ГОСТ12.2.033-78. (Переиздание. Апрель 2001г.)

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

Были выявлены вредные и опасные производственные факторы в процессе эксплуатации исследуемого оборудования. А так же предложены меры по уменьшению воздействия их на организм человека.

Было уделено внимание о влияние исследуемого объекта на селитебную зону, гидросферу, атмосферу и литосферу. Был предложен ряд мер по уменьшению воздействия на перечисленные зоны.

Было уделено внимание порядку действий при возникновении ЧС на объекте и мерам по её ликвидации. Разработаны превентивные меры по предупреждению ЧС. А так же были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на объекте.

## Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был спроектирован подъём мостового крана с частотным регулированием. Система ПЧ-АД позволяет повысить производительность, а так же надёжность 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 так же является одним из основных достоинств такой системы.

Был произведён выбор двигателя 5A225S8K. Затем был произведён выбор преобразователя частоты, способный обеспечить управление двигателем, ATV930 фирмы «Schneider Electric». После выбора преобразователя были определены параметры основных силовых элементов электропривода. Рассчитаны статические динамические характеристики для разомкнутой системы регулируемого электропривода. Была составлена имитационная модель САУ асинхронного электропривода со скалярным управлением, обеспечивающее регулирование скорости в заданном диапазоне регулирования.

В экономической части рассмотрены вопросы планирования, проведения пуско-наладочных работ электропривода мостового крана. Составлена смета на проведение пуско-наладочных работ и построен график выполнения работ и занятости исполнителей, а так же доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода.

В разделе социальной ответственности проекта, были освещены вопросы производственной и экологической безопасности. Были выявлены вредные и опасные производственные факторы в процессе

эксплуатации исследуемого оборудования. Рассмотрены вероятные чрезвычайные ситуации при работе мостового крана и разработаны превентивные меры по предупреждению ЧС.

## Список литературы

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.
3. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/А.В. Кабышев, С.Г. Обухов.– Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 334 с.
9. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.

10. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175с
11. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений " Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
12. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
13. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
14. ГОСТ Р 12.4.211-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы.
15. ГОСТ 12.4.283-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Комплект защитный от поражения электрическим током.
16. ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования.
17. ГОСТ 1639-2009 Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия.
18. РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятия.
19. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017).
20. ТК РФ, Статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда

21.ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Оборудование производственное. Общие эргономические  
требования (Переиздание. В октябре 2001г.)