



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод крана механизма подъема</b>

УДК 62-83:621.873.875

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Якубович Сергей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Иващутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Якубовичу Сергею Владимировичу

Тема работы:

<b>Электропривод крана механизма подъема</b>
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>	<p>Кран , режим работы – циклический.          Требования к механизму подъема: диапазон регулирования <math>D=1:100</math>, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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>Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма передвижения; исследование работы мостового крана с помощью имитационной модели.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода подъема мостового крана Графики переходных процессов подъема</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Мелик-Гайказян Мария Вигеновна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Сотникова Анна Александровна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Заключение</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>05.04.2019г.</p>
--	---------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Якубович Сергей Владимирович		05.04.2018г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)  
 Отделение Электроэнергетики и электротехники  
 Профиль Электропривод и автоматика  
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

**Бакалаврская работа**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

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

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 85 с., 22 рис., 15 табл., 7 источников, приложение

Асинхронный частотно-регулируемый электропривод с векторным управлением, система автоматического управления, квантование сигналов по уровню и по времени, оптимизация контуров регулирования, имитационное моделирование.

Цель проекта – разработать цифровой регулируемый электропривод производственного механизма, удовлетворяющий требованиям технического задания.

В ходе проекта был разработан электропривод, отвечающий требованиям технического задания.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Word* 2016, графическом редакторе *Microsoft Office Visio* 2013. Расчеты производились с помощью пакета прикладных программ *MathCAD* 15. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ *Matlab R2017b*.

## Оглавление

1. Введение.....	9
1.1 Конструкции кранов.....	10
2. Обоснование принципа реализации электропривода.....	18
2.1. Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением.....	18
3. Механическая система механизма.....	26
3.1. Кинематическая схема механизма, параметры.....	26
3.2. Выбор электродвигателя по мощности и скорости.....	27
3.3. Структурная схема механической системы и её параметры.....	28
4. Силовая цепь электрической системы электропривода.....	29
4.1. Расчёт параметров электродвигателя.....	29
4.2. Выбор преобразователя.....	33
4.3. Определение параметров силовой цепи.....	35
4.4. Расчёт механических и электромеханических характеристик привода... ..	35
4.5. Определение области работы и проверка выбора двигателя и преобразователя.....	38
4.6. Структурная схема силового канала электропривода. Параметры звеньев.....	42
5. Выбор функциональной и структурной схем, настройка контуров регулирования.....	46
5.1. Выбор и обоснование функциональной схемы электропривода.....	46
5.2. Структурная схема СУ электропривода.....	48
5.3. Определение настроек СУ электропривода.....	49
6. Разработка имитационных моделей и исследование электропривода.....	53
6.1. Имитационная модель электропривода.....	53
6.2. Программа исследований электропривода в типовых режимах работы..	53
6.3. Исследования и результаты исследований.....	54
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	56
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и.....	57
ресурсосбережение.....	57
7.1 SWOT-Анализ работы асинхронного электропривода крана механизма подъёма.....	57
7.2. Планирование технического проекта.....	60
7.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования.....	61
7.2.2 Структура работ в рамках технического проектирования.....	61
7.3 Составление сметы технического проекта.....	65
7.3.1 Полная заработная плата исполнителей ВКР.....	65
7.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
7.3.3 Накладные расходы.....	67
7.3.4 Формирование сметы технического проекта.....	67
7.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	69

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	72
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	74
8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74
8.2. Производственная безопасность.....	75
8.2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды .....	76
8.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов .....	78
8.3. Экологическая безопасность.....	80
8.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
Заключение .....	83
Список литературы .....	85



## 1. Введение

Современный электропривод представляет собой конструктивное единство электрического, электромеханического (электродвигателя) и механического преобразователей энергии и устройства управления. Он обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую в соответствии с алгоритмом работы технологической установки. Сфера применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется. В настоящее время более 60% всей вырабатываемой в мире электрической энергии потребляется электрическими двигателями. Современный этап развития электропривода характеризуется массовым переходом от нерегулируемого привода к регулируемому на основе достижений в области силовой и управляющей электроники.

Мостовыми называются краны, у которых грузоподъемный механизм расположен на тележке, перемещающейся по подвижной пролетной конструкции — мосту, а мост передвигается по рельсам, расположенным на подкрановых балках, опирающихся на консоли колонн здания или колонн специальной эстакады. Мостовые краны используются практически во всех сферах промышленной деятельности человека. Монтажные схемы мостовых кранов допускают их использование, как в закрытых помещениях, так и на открытых местностях при любых условиях окружающей среды. Это обстоятельство способствует тому, что они широко используются на складах, заводах различного профиля и таможенных терминалах. Их недостатком является то, что они привязаны к зданию или эстакаде и не могут работать без пути, поднятого над обслуживаемой поверхностью; положительно в их конструкции то, что они используют строительную высоту здания.

## 1.1 Конструкции кранов

Конструкция крана включает в себя:

- несущий элемент;
- грузоподъемное устройство, состоящее из гибкого подъемного органа (стального каната или цепи) и грузовой лебедки. Для обеспечения безопасности в работе грузоподъемный механизм оснащается различными ограничителями (грузоподъемности, грузового момента, хода грузозахватного органа); грузозахватный орган, который может быть неавтоматического действия (крюк) (грейфер,)или автоматического действия (электромагнит)



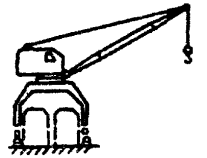
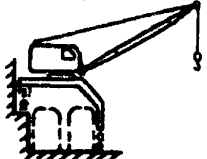
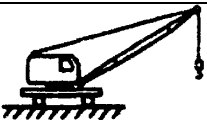
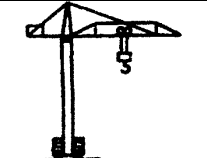
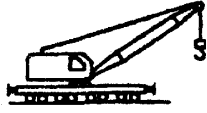
По конструктивным особенностям несущего элемента краны делятся на три основные группы: краны стрелового типа, краны мостового типа, краны кабельного типа.

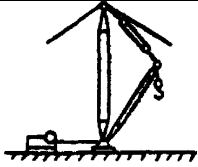
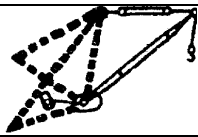
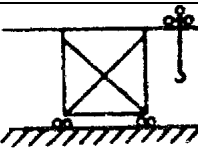
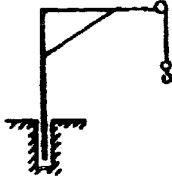
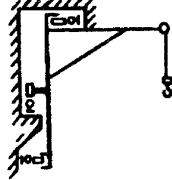
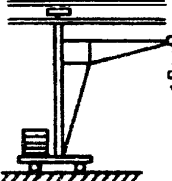
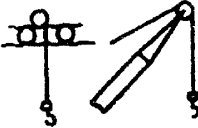
- Кран стрелового типа: несущим элементом крана стрелового типа является стрела. Грузозахватный орган крана стрелового типа подвешен непосредственно к стреле либо к перемещающейся по стреле грузовой тележке. Разновидности крана стрелового типа: кран стреловой самоходный, кран порталный, кран мачтовый, кран консольный, кран башенный, кран плавучий, кран велосипедный.
- Кран мостового типа: несущим элементом крана мостового типа является балка, выполненная в виде моста. Грузозахватный орган крана мостового типа подвешен к перемещающейся по мосту грузовой тележке или тали. Разновидности крана мостового типа: кран мостовой опорный, кран мостовой подвесной, кран козловой.
- Кран кабельного типа: несущим элементом крана кабельного типа являются закрепленные на двух опорах канаты. Грузозахватный орган крана кабельного типа подвешен к перемещающейся по канатам грузо-

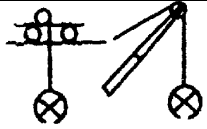
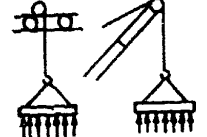





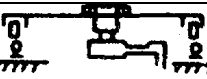
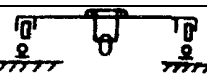


вой тележке. Опоры крана кабельного типа могут быть стационарными или передвижными.

*ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ*

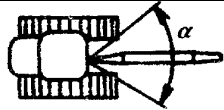
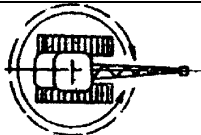

№ п/п	Термин	Определение	Схема
—	Машина грузоподъемная	Техническое устройство циклического действия для подъема и перемещения груза	—
<b>1. ТИПЫ КРАНОВ</b>			
1.0	Кран грузоподъемный	Грузоподъемная машина, оснащенная стационарно установленными грузоподъемными механизмами	—
<b>Классификация грузоподъемных кранов по конструкции</b>			
1.1	Кран мостового типа	Кран, у которого грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке, тали или крану стрелового типа, перемещающимся по мосту	—
1.1.1	Кран мостовой опорный	Кран, у которого мост опирается непосредственно на крановый путь, размещаемый на подкрановых строительных конструкциях	
1.1.2	Кран мостовой подвешенной	Кран, у которого мост подвешен к нижним полкам наземного кранового пути	
1.1.3	Кран-штабелер мостовой	Кран мостовой, оборудованный вертикальной колонной с грузоподъемником (устройством) для штабелирования груза	
1.1.4	Кран козловой	Кран, у которого мост опирается на крановый путь при помощи двух опорных стоек	
1.1.5	Кран полукозловой	Кран, у которого мост опирается на крановый путь с одной стороны непосредственно, а с другой стороны — при помощи опорной стойки	

1.2	Кран кабельного типа	Кран, у которого грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке, перемещающейся по несущим канатам	—
1.2.1	Кран кабельный	Кран, у которого несущими элементами являются канаты, закрепленные в верхней части опорных мачт (башен)	
1.2.2	Кран кабельный мостовой	Кран, у которого несущими элементами являются канаты, закрепленные на концах моста	
1.3	Кран стрелового типа	Кран, у которого грузозахватный орган подвешен к стреле или тележке, перемещающейся по стреле	—
1.3.1	Кран порталный	Кран поворотный на портале, предназначенном для пропуска железнодорожного или автомобильного транспорта	
1.3.2	Кран полупортальный	Кран поворотный на полупортале, предназначенном для пропуска железнодорожного или автомобильного транспорта	
1.3.3	Кран стреловой	Кран поворотный, у которого стрела или башенно-стреловое оборудование закреплены на поворотной платформе, размещенной непосредственно на ходовом устройстве (автомобильный, пневмоколесный, на специальном шасси, гусеничный, тракторный)	
1.3.4	Кран башенный	Кран поворотный со стрелой, закрепленной в верхней части вертикально расположенной башни	
1.3.5	Кран железнодорожный	Кран, смонтированный на платформе, передвигающейся по железнодорожному пути	
1.3.6	Кран мачтовый	Кран поворотный со стрелой, закрепленной шарнирно на мачте, имеющей нижнюю и верхнюю опоры	—

1.3.6.1	Кран мачтовый вантовый	Кран мачтовый с закреплением верха мачты посредством канатных оттяжек — вантов	
1.3.6.2	Кран мачтовый жестконогий	Кран мачтовый с закреплением верха мачты посредством жестких тяг	
1.3.7	Кран консольный	Кран стрелового типа, грузозахватный орган которого подвешен к жестко закрепленной консоли (стреле) или к тележке, перемещающейся по консоли (стреле)	—
1.3.7.1	Кран-перегрузатель причальный	Кран с одной или двумя консолями, опирающийся на крановый путь при помощи портала	
1.3.7.2	Кран консольный на колонне	Кран, имеющий возможность вращаться на колонне, основание которой прикреплено к фундаменту, либо прикрепленный к колонне, которая может вращаться в подпятнике, размещенном в фундаменте	
1.3.7.3	Кран настенный	Кран, прикрепленный к стене либо перемещающийся по крановому пути, закрепленному на стене или несущей конструкции	
1.3.7.4	Кран велосипедный	Кран, перемещающийся по наземному крановому пути и удерживаемый верхней направляющей	
<b>Классификация кранов по виду грузозахватного органа</b>			
1.4	Кран крюковой	Кран, оборудованный грузозахватным органом в виде крюка	

1.5	Кран грейферный	Кран, оборудованный грузозахватным органом в виде грейфера	
1.6	Кран магнитный	Кран, оборудованный грузозахватным органом в виде электромагнита	
1.7	Кран мультиманнитный	Кран мостовой, оборудованный грузозахватным органом в виде электромагнита и приспособлением для перемещения мультиманнитных	
1.8	Кран мультиманнитный грейферный	Кран мостовой, оборудованный грузозахватным органом в виде грейфера и приспособлением для перемещения мультиманнитных	
1.9	Кран мультиманнитный завалочный	Кран мостовой, оборудованный хоботом для захвата мультиманнитных	
1.10	Кран штыревой	Кран мостовой, оборудованный захватом для извлечения штырей из электролизеров	
1.11	Кран литейный	Кран мостовой, оборудованный механизмами подъема и опрокидывания литейного ковша	
1.12	Кран посадочный	Кран мостовой, оборудованный вращающейся колонной с горизонтальными клещами в нижней ее части для захвата и посадки в печь заготовок	
1.13	Кран ковочный	Кран мостовой, оборудованный приспособлением для подъема, перемещения и поворота поковок	
1.14	Кран для раздевания слитков (стрипперный)	Кран мостовой, оборудованный клещевым захватом и предназначенный для выталкивания слитков из изложниц	
1.15	Кран колодецкий	Кран мостовой, оборудованный клещевым захватом и предназначенный для обслуживания колодецких печей	
1.16	Кран с траверсой	Кран мостовой, оборудованный траверсой, предназначенной для	—

		транспортировки длинномерных грузов	
<b>Классификация кранов по способу установки</b>			
1.17	Кран стационарный	Кран, закрепленный на фундаменте или на другом неподвижном основании	
1.18	Кран самоподъемный	Кран, установленный на конструкциях возводимого сооружения и перемещающийся вверх при помощи собственных механизмов по мере возведения сооружения	
1.19	Кран переставной	Кран, установленный на основании, который может быть перемещаемым с места на место вручную или при помощи других грузоподъемных средств	
1.20	Кран радиальный	Кран, имеющий возможность перемещения при работе относительно одной стационарной опоры	
1.21	Кран передвижной	Кран, имеющий возможность передвижения при работе	—
1.21.1	Кран прицепной	Кран передвижной, не оборудованный механизмом для передвижения и перемещаемый в прицепе за тягачом (буксиром)	
<b>Классификация кранов во виду ходового устройства</b>			
1.22	Кран на гусеничном ходу	Кран, снабженный для передвижения гусеницами	—
1.23	Кран на колесном ходу	Кран, снабженный для передвижения колесами	—
1.23.1	Кран автомобильный	Кран, установленный на автомобильном шасси	—
1.23.2	Кран на специаль-	Кран, установленный на специальном шасси автомобильного	—

	ном шасси	типа	
1.23.3	Кран пневмоколесный	Кран, установленный на пневмоколесном шасси	—
1.23.4	Кран короткобазовый	Кран, установленный на короткобазовом шасси	—
1.23.5	Кран рельсовый	Кран, передвигающийся по рельсовому крановому пути	—
1.24	Кран катковый	Кран, установленный на стальных или литых резиновых катках	—
<b>Классификация кранов по виду привода</b>			
1.25	Кран электрический	Кран с электрическим приводом механизмов	—
1.26	Кран механический	Кран с механическим приводом механизмов	—
1.27	Кран гидравлический	Кран с гидравлическим приводом механизмов	—
<b>Классификация кранов по степени поворота</b>			
1.28	Кран поворотный	Кран, имеющий возможность вращения (в плане) поворотной части вместе с грузом относительно опорной части крана	—
1.28.1	Кран неполноповоротный	Кран поворотный, имеющий возможность вращения поворотной части от одного крайнего положения до другого на угол менее $360^\circ$	
1.28.2	Кран полноповоротный	Кран поворотный, имеющий возможность вращения поворотной части от одного крайнего положения до другого на угол $360^\circ$ и более	
1.29	Кран неповоротный	Кран, не имеющий возможности вращения груза (в плане) относительно опорной части	



Асинхронные двигатели наиболее часто применяются в промышленности и на транспорте из-за своей простоты и надёжности. Однако, эффективное управление ими представляет собой довольно сложную задачу и требует создания специальных систем управления. Преимущества асинхронного двигателя наиболее полно реализуются при частотном регулировании, которое обеспечивается преобразователями частоты.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъемно-транспортного оборудования является эффективным методом повышения технологичности производства. Использование таких приводов позволяет:

1. Значительно (до 40%) снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при постоянно растущих тарифах на энергоносители;
2. Осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по желаемому закону от времени, при варьировании временем разгона и торможения от долей секунды до десятков минут;
3. Повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов;
4. Защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепях питания двигателей;
5. Снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счет значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи;
6. Изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

## 2. Обоснование принципа реализации электропривода

Под частотным управлением понимается управление электродвигателем переменного тока путем изменения амплитуды и частоты питающего напряжения. Частотное управление асинхронными электродвигателями осуществляется двумя основными способами (методами):

- скалярный (вольт–частотный) в соответствии с функциональной характеристикой, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя ( $\frac{U}{f} = const$  – линейный закон управления,  $\frac{U}{f^2} = const$  – квадратичный закон управления);
- векторный.

Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы используют блочно-модульные принципы комплектования и реализуются по структурам скалярного и векторного частотного управления. Выбор структуры реализации и закона скалярного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода для конкретного производственного механизма определяется требованиями к статическим (в первую очередь к диапазону регулирования скорости) и динамическим характеристикам электропривода.

### 2.1. Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

Системы векторного частотного управления асинхронным двигателем базируются на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули, так и положение в пространстве. Основой для реализации системы управления частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема силового канала, приведённая на рис. 3, составленная на основе двухфазной модели асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору

потокосцепления ротора  $\bar{\Psi}_2$ , и структурная схема, приведенная на рис. 2, с компенсированными внутренними связями. В соответствии со структурными схемами рис. 1 и 2 при частотно-векторном управлении имеется два управляющих воздействия силовой частью системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель:

– напряжение управления постоянного тока преобразователем  $U_{1d}$ , которое формирует ток  $I_{1d}$ , являющийся проекцией вектора тока статора  $\vec{I}_1$  на ось  $d$ , которая совпадает с направлением вектора потокосцепления ротора  $\bar{\Psi}_2$ ;

– напряжение управления постоянного тока преобразователем  $U_{1q}$ , которое формирует ток  $I_{1q}$ , являющийся проекцией вектора тока статора  $\vec{I}_1$  на ось  $q$  координатной системы  $d, q$ . Изменением напряжения  $U_{1d}$  можно управлять значением потокосцепления ротора, поддерживая его на заданном уровне  $|\bar{\Psi}_2| = \text{const}$  или изменяя в соответствии с заданной зависимостью

$|\bar{\Psi}_2| = f(\omega)$  напряжением  $U_{1q}$  можно управлять значением тока  $I_{1q}$ , которое

при постоянстве потокосцепления ротора  $|\bar{\Psi}_2| = \text{const}$  однозначно определяет

электромагнитный момент двигателя  $M_{эм}$ , поддерживая равенство

$M_{эм} = M_c$  в установившихся режимах и  $M_{эм} = M_{эп макс}$  в пуско-тормозных

режимах. Таким образом, при векторном управлении имеется два независимых канала управления двухфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, что обеспечивает полную аналогию управляемости асинхронного электропривода электроприводу постоянного тока с двигателем независимого возбуждения. Это значит, что принципиально может быть реализована система управления асинхронным электроприводом, совершенно аналогичная системе управления двухзонного электропривода постоянного тока

и содержащая две взаимосвязанных, но независимо управляемых системы регулирования:

– САР скорости с внешним контуром регулирования скорости двигателя  $\omega$  и внутренним подчиненным контуром регулирования тока  $I_{1q}$  (электромагнитного момента);

– САР потокосцепления ротора с внешним контуром регулирования потокосцепления ротора  $\Psi_{2d}$  и внутренним подчиненным контуром регулирования тока  $I_{1d}$

$$\sqrt{I_{1d}^2 + I_{1q}^2} = \text{mod } \vec{I}_1 = I_{1m} = \sqrt{2} \cdot I_1,$$

где  $I_1$  – действующее значение фазного тока статора.

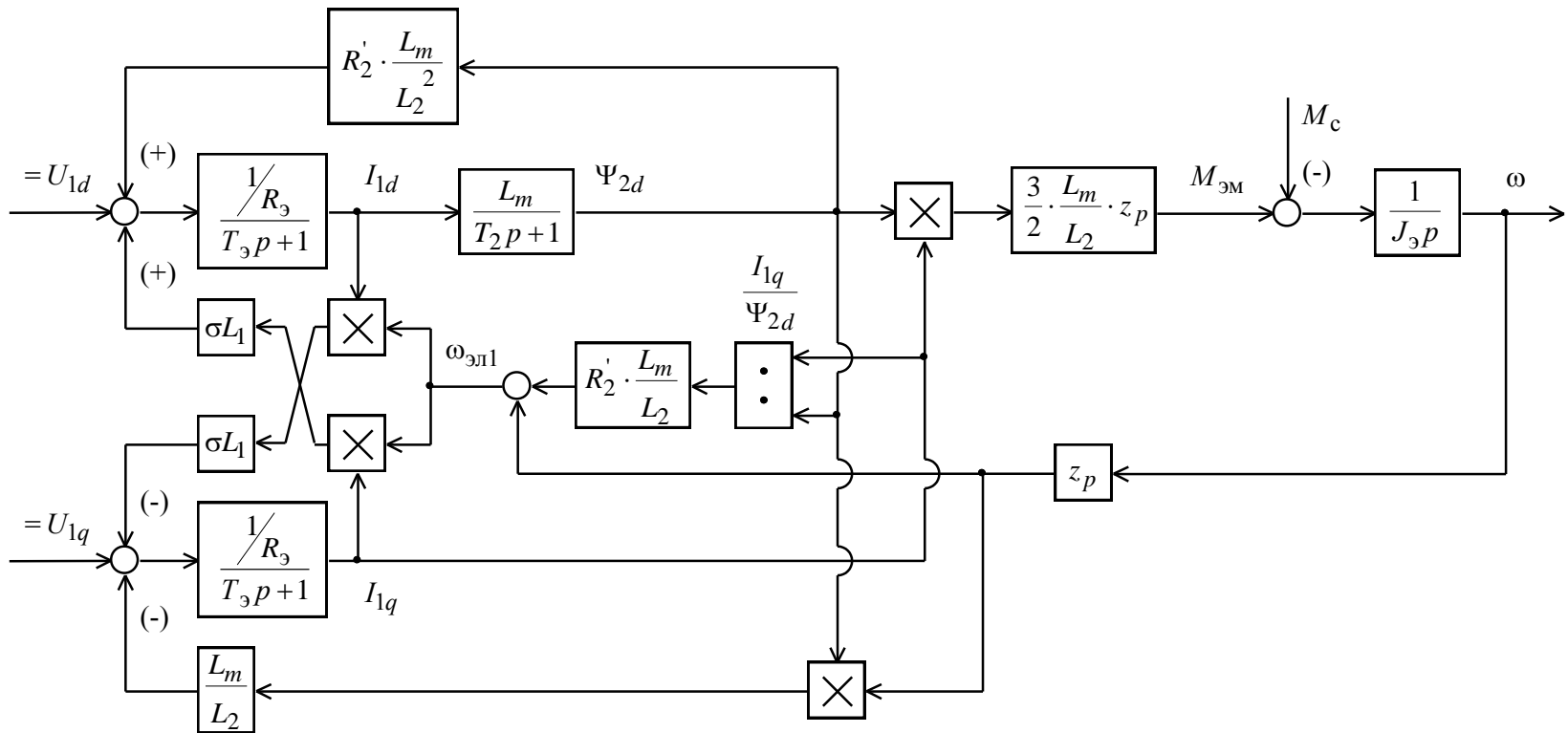


Рисунок 1 - Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат  $d, q$ , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

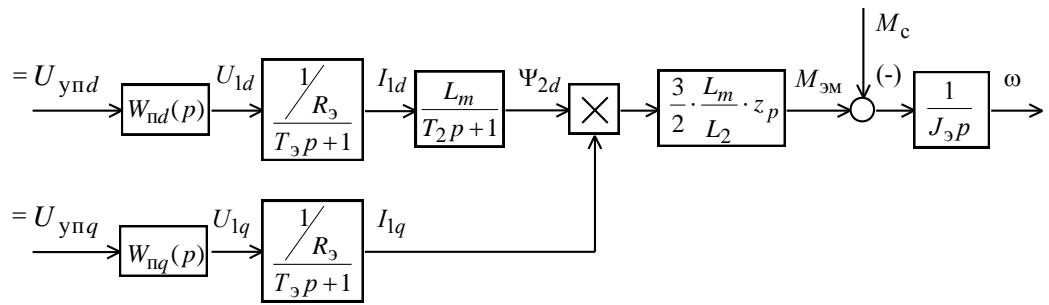


Рисунок 2 - Структурная схема силового канала преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся системе координат  $d, q$ , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, и компенсацией внутренних обратных связей

Поскольку система векторного частотного управления асинхронного электропривода предусматривает регулирование переменных двухфазной машины, то для практической реализации эквивалентного управления физическими переменными трехфазного двигателя в составе системы управления электропривода должны быть устройства, осуществляющие преобразование переменных трехфазного двигателя в переменные двухфазного и наоборот.

Таким образом, управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором ведётся с помощью одной статорной (чаще всего трёхфазной) обмотки, ток которой формирует и магнитное поле и определяет вращающий момент. Как показано выше, управлять необходимо модулем и положением вектора тока статора относительно вектора потокосцепления ротора. Это сводится к управлению амплитудой и фазой токов статорных обмоток. Для организации такого управления необходимо иметь информацию о модуле и положении вектора потокосцепления ротора и моменте нагрузки на валу двигателя. Это требует применения специальных электродвигателей, оснащенных датчиками потока, установленными в воздушном зазоре машины, и датчиком скорости вращения на валу двигателя. В такой конфигурации асинхронный электропривод с векторным управлением становится сопоставим с приводом постоянного тока. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рис. 3.

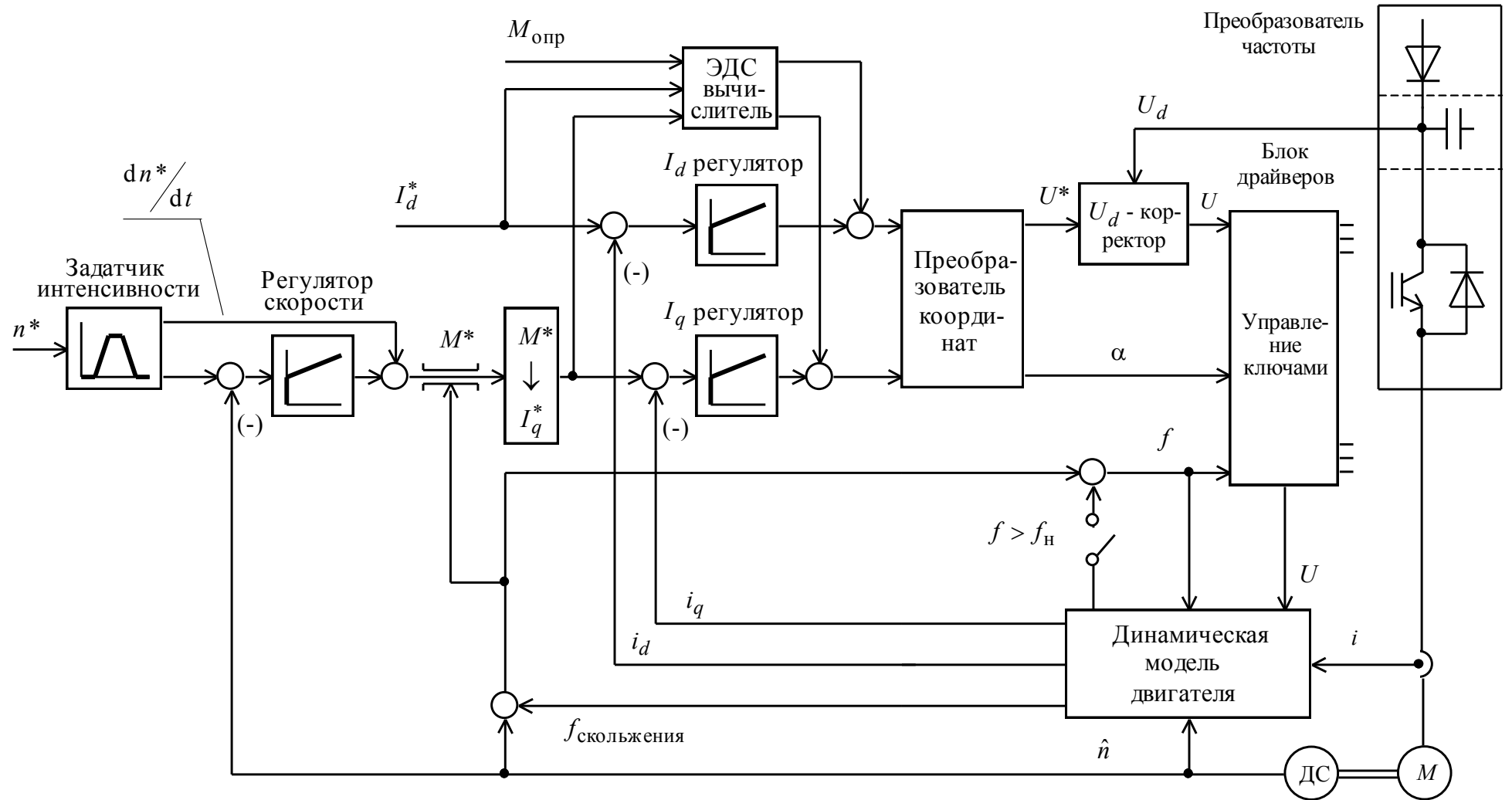


Рис. 3 – Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным частотным управлением с датчиком скорости

На схеме символом \* обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

– РС, РΨ, РТ – регуляторы скорости, потокосцепления и составляющих тока статора  $I_{1d}$  и  $I_{1q}$ ;

– УПК1, УПК2 – устройства преобразования координат, соответственно, прямого и обратного.

Обратные связи по потокосцеплению и скорости могут быть выполнены с датчиками потока и скорости.

Датчики фазных токов двигателя (практически достаточно двух) аналогового типа, поэтому в измерительной цепи устанавливаются сглаживающие фильтры и АЦП. Полоса пропускания фильтров должна быть больше максимальной частоты питающего напряжения двигателя  $f_{1\text{макс}}$ . Наличие фильтров в цепях измерения токов электродвигателя определяет инерционность обратных связей по току САУ электропривода. Преобразование аналогового сигнала в цифровой происходит с несущей частотой инвертора  $f_{\text{ШИМ}}$  и дополнительного запаздывания в контуры регулирования токов не вносит. Однако АЦП вносит квантование сигналов обратной связи по уровню, которое определяется разрядностью преобразователя.

Информация о потокосцеплении  $\bar{\Psi}_2$  может быть получена путем измерения магнитного потока  $\bar{\Psi}_m$  в воздушном зазоре машины с помощью встроенных датчиков магнитного потока (например, датчиков Холла), размещенных по осям  $\alpha, \beta$  неподвижной системы координат, и фазных токов обмотки статора  $i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}$ . Связь между  $\bar{\Psi}_m$  и  $\bar{\Psi}_2$  устанавливается путем совместного решения уравнения

$$\bar{\Psi}_1 = \bar{\Psi}_m + L_{1\sigma} \cdot \vec{I}_1$$

и уравнений для потокосцеплений (1.7) и (1.8)

$$\bar{\Psi}_2 = \frac{L_2}{L_m} \cdot \bar{\Psi}_m - L_{2\sigma} \cdot \vec{I}_1.$$



Составляющие вектора  $\vec{\Psi}_2$  по осям неподвижной статорной системы координат:

$$\Psi_{2\alpha} = \frac{L_2}{L_m} \cdot \Psi_{m\alpha} - L_{2\sigma} \cdot I_{1\alpha},$$
$$\Psi_{2\beta} = \frac{L_2}{L_m} \cdot \Psi_{m\beta} - L_{2\sigma} \cdot I_{1\beta}.$$

где  $I_{1\alpha}, I_{1\beta}$  – токи, в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$

Модуль и угловое положение вектора потокосцепления ротора находятся по выражениям:

$$|\vec{\Psi}_2| = \sqrt{\Psi_{2\alpha}^2 + \Psi_{2\beta}^2};$$
$$\sin \varphi_{\text{кв}} = \frac{\Psi_{2\beta}}{|\vec{\Psi}_2|}; \quad \cos \varphi_{\text{кв}} = \frac{\Psi_{2\alpha}}{|\vec{\Psi}_2|}.$$

### 3. Механическая система механизма

Работу основных устройств крана оценивают по кинематическим схемам, потому что двигатели обычно имеют угловую скорость, существенно превышающую скорость вращения подъемного барабана, ходовых колёс моста или телеги, вследствие чего перемещение к рабочим органам устройств крана передается через редукторы.

#### 3.1. Кинематическая схема механизма, параметры

Для мостовых кранов распространенное использование возытели схемы с полиспастом, с помощью которого перемещение от барабана Б передается крюку. Кинематическая схема механизма подъёма представлена на рис. 4.

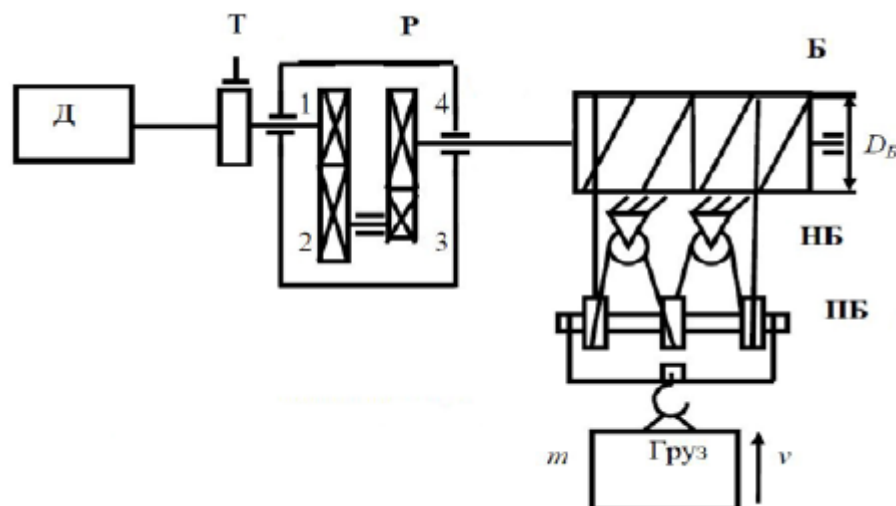


Рис.4. Кинематическая схема механизма подъёма

Двигатель Д через редуктор Р приводит во вращение барабан лебедки Б, на который наматывается канат при подъёме и сматывается при опускании груза  $m$ . Грузозахватывающий механизм подвешивается на подвижных блоках ПБ, которые опразуют с неподвижными НБ полиспаст.

Двигатель включается в работу после закрепления груза, после чего выбирается слабина каната. После включения двигателя происходит разгон с ускорением, не превышающем разрешенную величину, до рабочей скорости и поддерживается подъём груза. При достижении необходимой высоты двигатель переходит в режим торможения, на вал двигателя надевается тормоз Т. Удержание груза в подвешенном состоянии происходит за счёт тормоза.

При опускании груза также выдерживается ускорение, не превышающее допустимой величины, двигатель работает в тормозном режиме. При опускании багажа к площадке выгрузки скорость двигателя понижается, груз плавно устанавливается на площадку. Натяжение канатов ослабляется для снятия груза. При необходимости этот цикл повторяется требуемое количество раз.

### 3.2. Выбор электродвигателя по мощности и скорости

Расчёт предварительной мощности двигателя производится по формуле:

$$P \geq \frac{P_c}{k_T},$$

где  $P$  – мощность двигателя, Вт;

$P_c$  – статическая мощность электродвигателя, Вт;

$k_T=1$  – коэффициент, учитывающий режим работы механизма, вид управляющего устройства и электропривода.

Статическая мощность электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$P_c = \frac{F_r \cdot V}{\eta_m} = \frac{122500 \cdot 0.166}{0.9} = 22594 \text{ Вт},$$

где  $F_r$  – грузоподъёмная сила, Н;

$\eta_m=0.9$  – значение КПМ механизма подъёма.

Грузоподъёмная сила рассчитывается по формуле:

$$F_r = m_r \cdot g = 1000 \cdot 12.5 \cdot 9.8 = 122500 \text{ Н},$$

где  $m_r$  – номинальная масса груза, кг;

$g=9.81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

По рассчитанному значению  $P_c$  выбирается крановый двигатель МТКН 412-6, паспортные параметры которого занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры двигателя

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Масса, кг	Номинальный ток, А При U=380В	Кратность пускового максимального тока, момента			Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности, о.е.	Момент инерции ротора, $J_p$
					$I_p/I_n$	$M_p/M_n$	$M_{\text{макс}}/M_n$			
МТКН 412-6	30	945	279	61	7.4	3.3	3.3	87.5	0.85	0.63

### 3.3. Структурная схема механической системы и её параметры

В данном проекте рассматривается одномассовая механическая система (ОМС). Одномассовая механическая система регулируемого электропривода приведена на рисунке 5 [1].

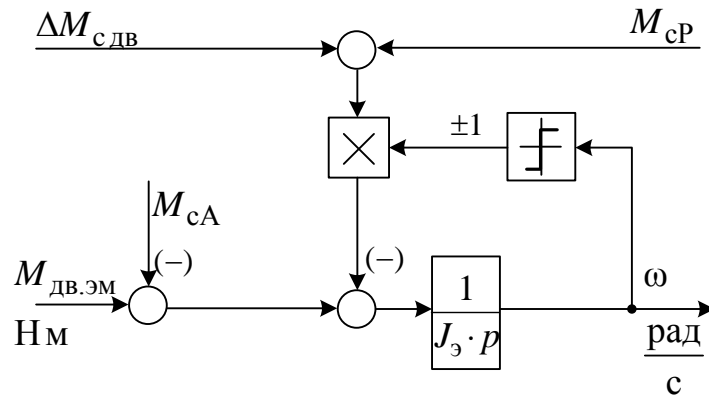


Рис. 5 – Структурная схема одномассовой механической системы

Параметры одномассовой механической системы:

– суммарный эквивалентный момент инерции, приведенный к валу двигателя

$$J_{\text{э}} = 1.1 \cdot J_{\text{дв}} + 1.1 \cdot J_{\text{м}} = 1,2427 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

– момент сопротивления от сил трения

$$\Delta M_{\text{с}} = \Delta M_{\text{сдв}} + \Delta M_{\text{с мех}} = 27,16 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $\Delta M_{\text{сдв}} = M_{\text{эм.н}}^* - M_{\text{дв.н}} = 9,66 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – момент сил трения собственно двигателя.

## 4. Силовая цепь электрической системы электропривода

### 4.1. Расчёт параметров электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.712 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная скорость вращения двигателя

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{n_{\text{дв.н}}}{9.55} = \frac{945}{9.55} = 98,953 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = 303,17 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора. Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Соединение обмоток неизвестно, принимаем соединение Y.

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = 61,115 \text{ А}.$$

Примечание:  $I_{1\text{лн}}$  – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = I_{1\text{лн}} \cdot K_{i\text{дв}} = 61,115 \cdot 7.4 = 452,254 \text{ А}.$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 3.3 \cdot 303,17 = 1000,474 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 3,3 \cdot 303,17 = 1000,474 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 6 [2].

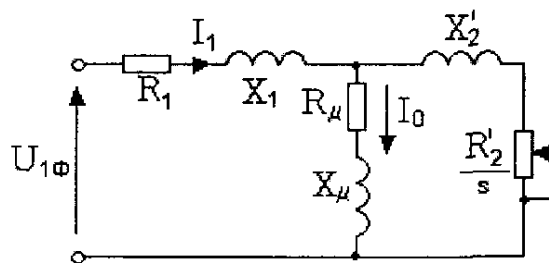


Рис. 6 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ток фазы статора при частичной нагрузке

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = 46,336 \text{ А},$$

где  $\cos \varphi_{p^*} = 0.841$  – коэффициент мощности при частичной нагрузке [2];

$\eta_{p^*} = 0.875$  – КПД при частичной нагрузке [2];

$p^* = 0.75$  – коэффициент загрузки двигателя [2].

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = I_{1H} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p*}}{I_{1H}}\right)^2 \cdot \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}} = 15,277 \text{ A}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{(m_k)^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0.477,$$

где  $\beta$  – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, принимаем  $\beta = 1$ .

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k}\right)} = 0.217 \text{ Ом},$$

где  $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{i\text{дв}} \cdot I_{1\text{дв}}} = 1,017$  – коэффициент, характеризующий соотно-

шение  $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$ ;

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,22 \text{ Ом}.$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{\text{кн}}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = 1,84,$$

тогда, индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0,405 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{кн} = 0,1701 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = 0,541 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,230 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = 0,735 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1н})^2} = 203,087 \text{ В,}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания



$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = 13,294 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0,042 \text{ Гн.}$$

Таблица 2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1$ , Ом	$X_{1\delta}$ , Ом	$L_{1\delta}$ , Гн	$X_{\mu}$ , Ом	$L_{\mu}$ , Гн	$R_2'$ , Ом	$X_{2\delta}'$ , Ом	$L_{2\delta}'$ , Гн	$X_{кн}$ , Ом
0,22	0,17	$0,541 \cdot 10^{-3}$	13,294	0,042	0,217	0,23	$0,735 \cdot 10^{-3}$	1,344

#### 4.2. Выбор преобразователя

При выборе преобразователя частоты для трехфазного асинхронного двигателя с номинальным напряжением фазных обмоток 220 В и соединением обмоток по схеме Y следует руководствоваться приведёнными ниже рекомендациям [1].

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц.
2. Выходные параметры преобразователя частоты:

- 3 фазы;
- максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В;
- максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{элп.макс}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_k)} = 96 \text{ Гц.}$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.мин} < 50 \cdot \frac{\omega_{эп.мин}}{\omega_0} = 5 \text{ Гц} .$$

3. Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току  $I_{и.н}$  и максимальному (кратковременно допустимому) току  $I_{и.макс} = I_{и.н} \cdot k_{иИ} = 196 \text{ А}$ , где  $k_{иИ}$  – коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:

- в однозонном электроприводе

$$I_{и.н} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 122,23 \text{ А} ;$$

$$I_{и.макс} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{эп.макс}}{M_{дв.н}} \geq I_{1лн} \cdot \frac{2 \cdot M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} .$$

Принимаем способ управления – векторное с датчиком скорости. Согласно выбранному способу управления выбираем преобразователь с возможностью векторного управления [1].

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{и}$ , В	Выходная частота $f_{н}$ , Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность $P_2$ , Вт
	$U_{1л}$ , В	$f_c$ , Гц			$I_{VLT.н}$ , А	$I_{VLT.макс}$ , А	
Schneider Electric ATV71HD 30M3X	3×(380÷440)	50		(0.1-599)	124	110% в течении 60 сек	30

Выбор несущей частоты инвертора  $f_{\text{ШИМ}}$  осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки

Принимаем несущую частоту инвертора  $f_{\text{ШИМ}} = 10 \text{ кГц}$ .

### 4.3. Определение параметров силовой цепи

### 4.4. Расчёт механических и электромеханических характеристик привода

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [1].

#### Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика  $M=f(s)$  асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты  $f_{\text{и}}=f_{1\text{н}}=50 \text{ Гц}$  по выражению

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ (X_{\text{кн}})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

Задаемся скольжением в пределах  $s = 0.01, 0.02, \dots, 1$  и рассчитываем характеристику  $M=f(s)$  (рисунок 7), где  $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ .

Также рассчитываются значения электромагнитного момента  $M_{\text{эм.н}}$ :

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[ (X_{\text{кн}})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 312.836 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.н}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{\omega_0 \cdot s_k \cdot \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_\mu}\right)^2} \right]} = 1017 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

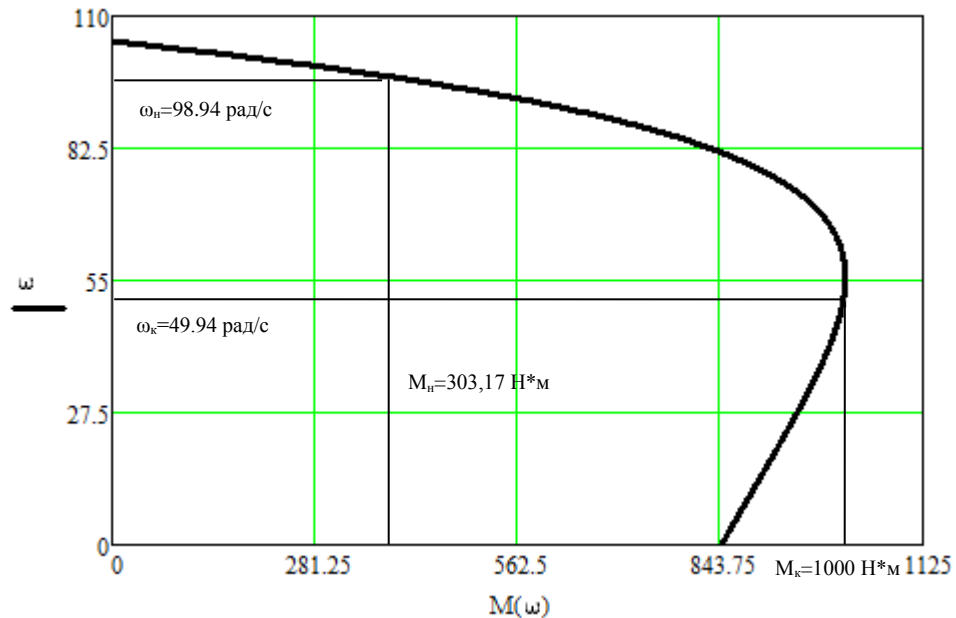


Рис. 7 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

### Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика  $I_1(s)$  электродвигателя рассчитывается для значения частоты  $f_{\text{н}}=f_{1\text{н}}=50$  Гц по выражению

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

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\text{кн}})^2}}$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений  $s = s_{\text{н}}$  и  $s \rightarrow 0$  рассчитываются значения тока статора  $I_1$  и  $I_0$ :

$$I_0 = 15,277 \text{ А ,}$$

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = 56,227 \text{ А ,}$$

По результатам расчета строится естественная электромеханическая характеристика  $I_1 = f(\omega)$ . Электромеханическая характеристика приведена на рисунке 8.

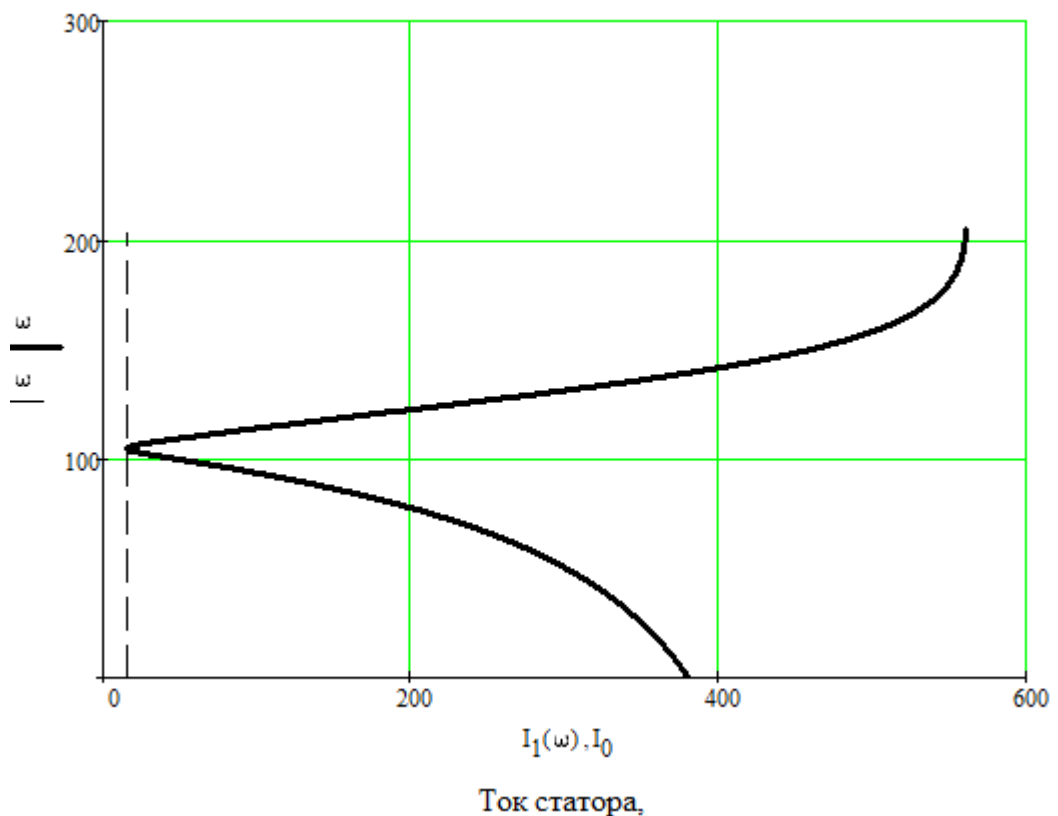


Рис. 8 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного электродвигателя

#### 4.5. Определение области работы и проверка выбора двигателя и преобразователя

Максимальный момент электропривода:

$$M_{\text{эп.макс}} = (1,5 \div 2) \cdot M_{\text{дв.н}} = 616 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$k$  – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя при неподвижном роторе принимаем равным  $k=0,9$ .

Длительно-допустимый момент электропривода:

$$M_{\text{дл.доп.}} = M_{\text{н}} \cdot \left( k \cdot (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega_{\text{М}}}{\omega_{\text{н}}} \right) \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статический момент нагрузки электропривода:

$$M_{\text{с1}} = 0,75 \cdot M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{с.дв}} = 237,037 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Минимальная нагрузка электропривода:

$$M_{\text{мин}} = 0,1 \cdot M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{с.дв}} = 39,977 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунке 9 представлена естественная механическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок.

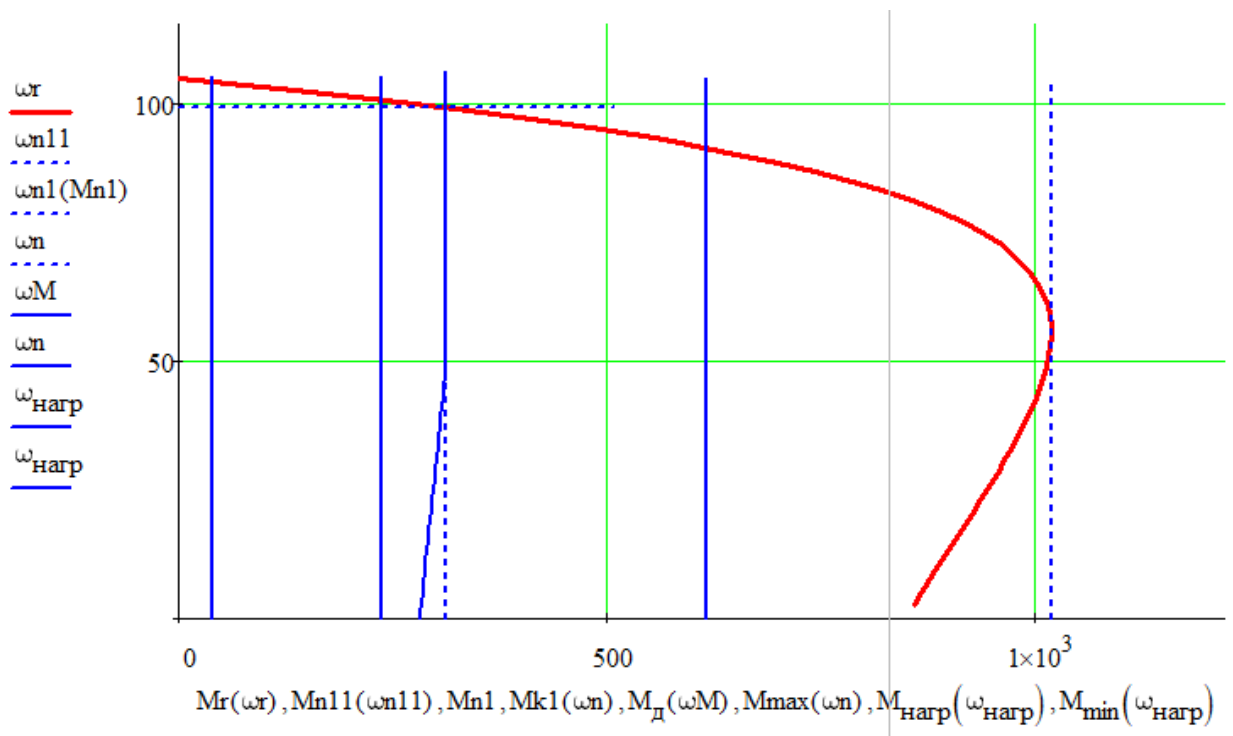


Рис. 9 – Естественная механическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок

Длительно-допустимый ток электропривода:

$$I_{\text{дл.доп.}} = I_H \cdot \left( k \cdot (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega I}{\omega_H} \right) A$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{эпм}} = \sqrt{\left[ \frac{M_{\text{эм.макс}}}{\left( \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \right) \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2}} \right]^2} + I_0^2 = 102,799 \text{ A.}$$

Ток при минимальной нагрузке электропривода:

$$I_{\text{мин}} = \sqrt{\left[ \frac{M_{\text{мин}}}{\left( \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \right) \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2}} \right]^2} + I_0^2 = 17,615 \text{ A.}$$

Ток при максимальной нагрузке электропривода:

$$I_{\text{макс}} = \sqrt{\left[ \frac{M_{\text{с1}}}{\left( \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \right) \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2}} \right]^2} + I_0^2 = 42,344 \text{ A.}$$

На рисунке 10 представлена естественная электромеханическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок.

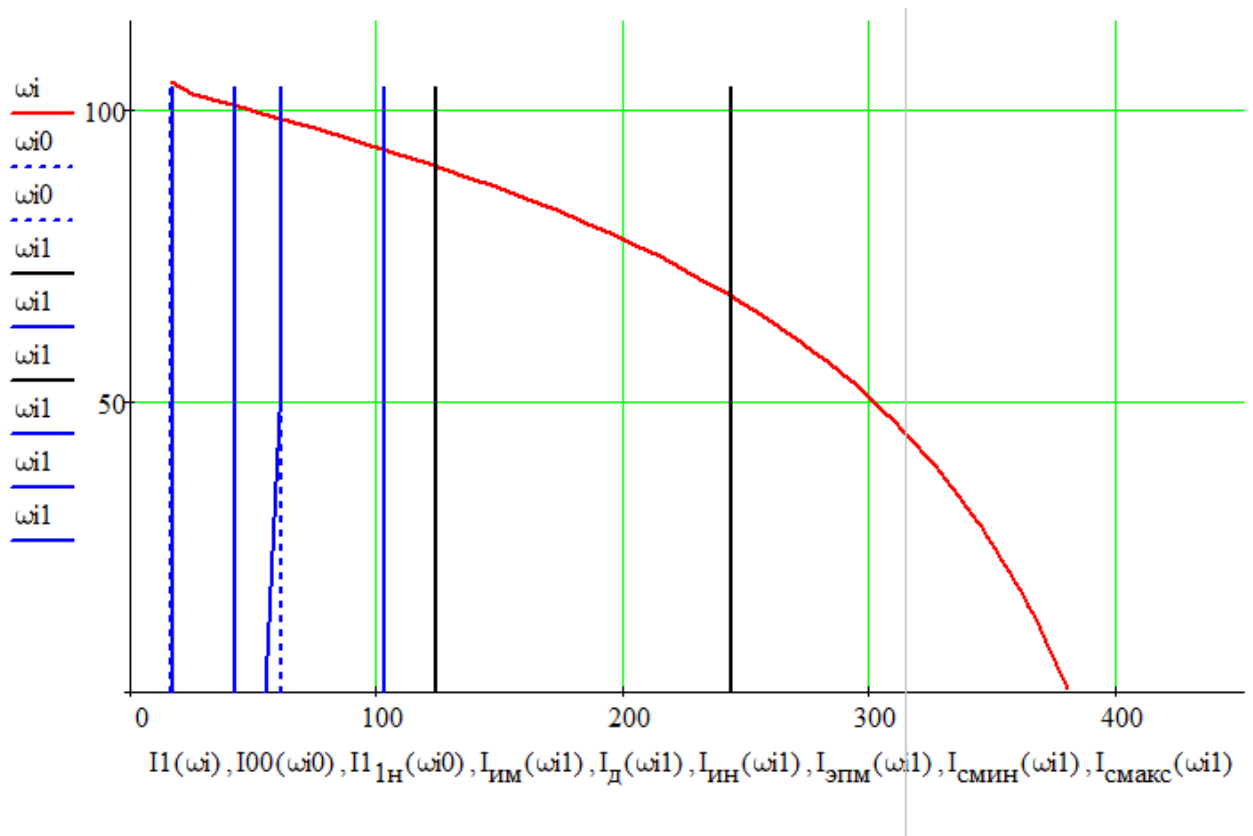


Рис. 10 – Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок.

### Задание по току

Максимальный момент электропривода:

$$M_{\text{макс}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu\text{H}}}{L_{2\text{H}}} \cdot (z_p \cdot \Psi_{2\text{H}} \cdot \sqrt{2}) = 1,898 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (55)$$

На рисунке 11 представлена естественная механическая характеристика электродвигателя при задании по току.



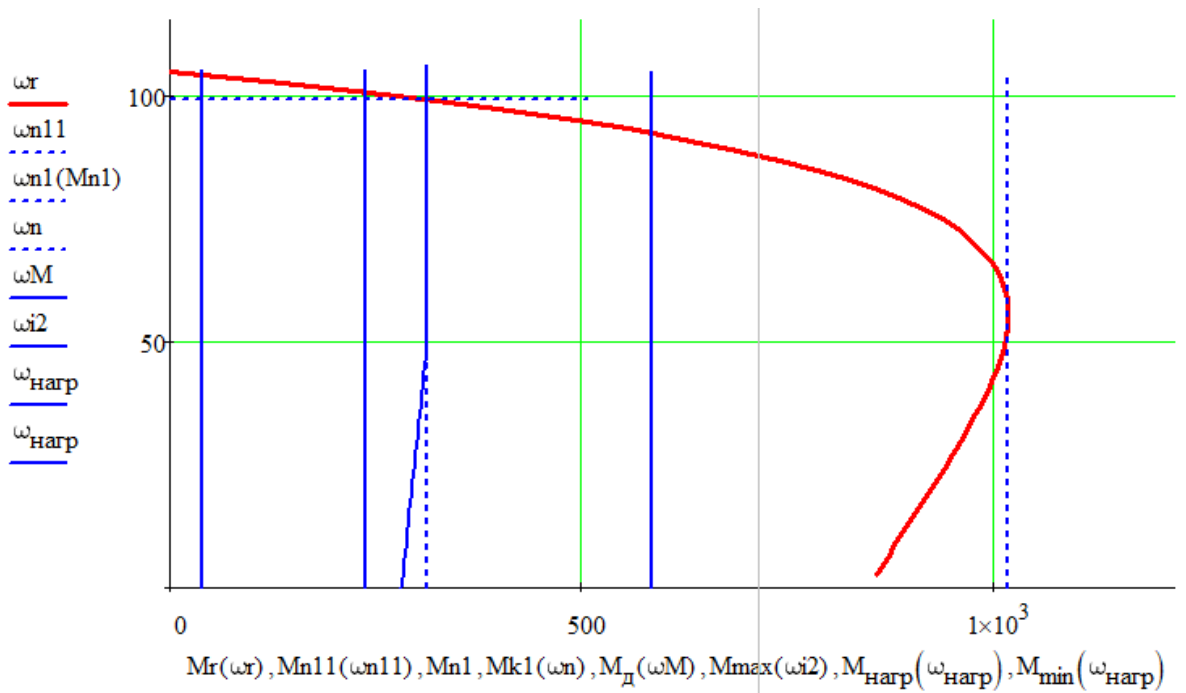


Рисунок 11 – Естественная механическая характеристика электродвигателя при задании по току

На рисунке 12 представлена естественная электромеханическая характеристика электродвигателя при задании по току.

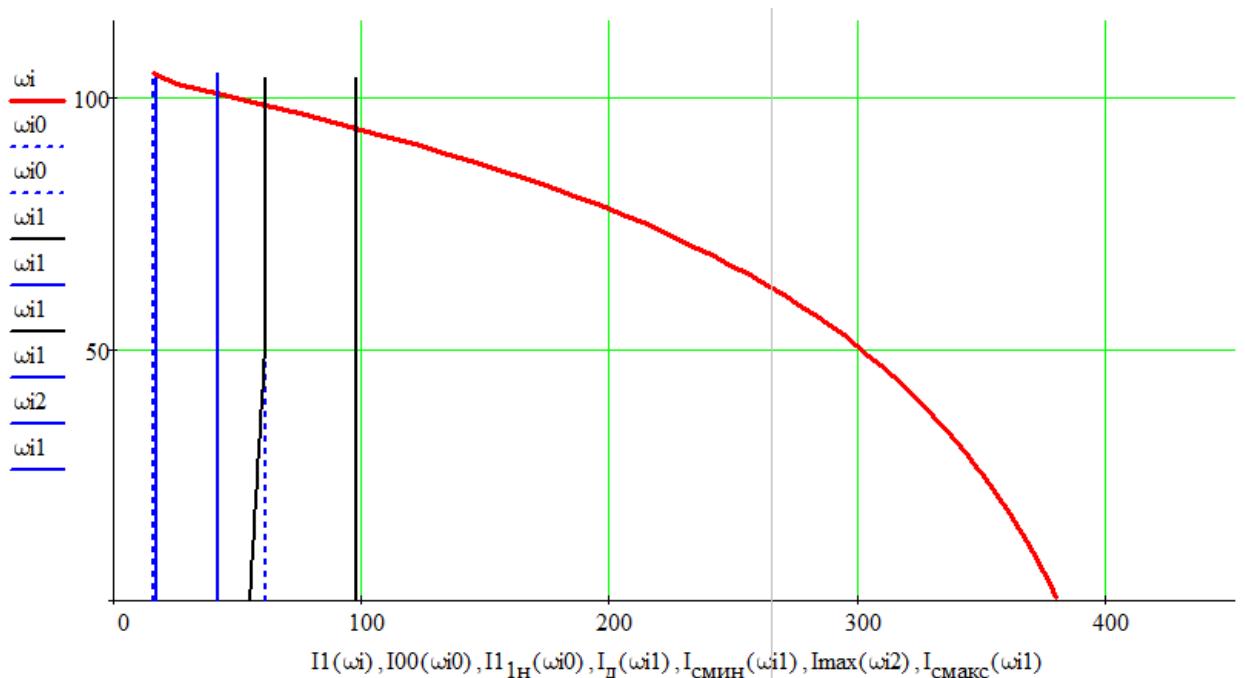


Рис. 12 – Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя при задании по току

#### 4.6. Структурная схема силового канала электропривода. Параметры звеньев

Система векторного управления частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули, так и положение в пространстве. Основой для реализации систем управления частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора  $\vec{\Psi}_2$ , приведенная на рисунке 13. На входе схемы двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, должны независимо формироваться два в общем случае не равных напряжения постоянного тока  $U_{1d}$  и  $U_{1q}$  [1].

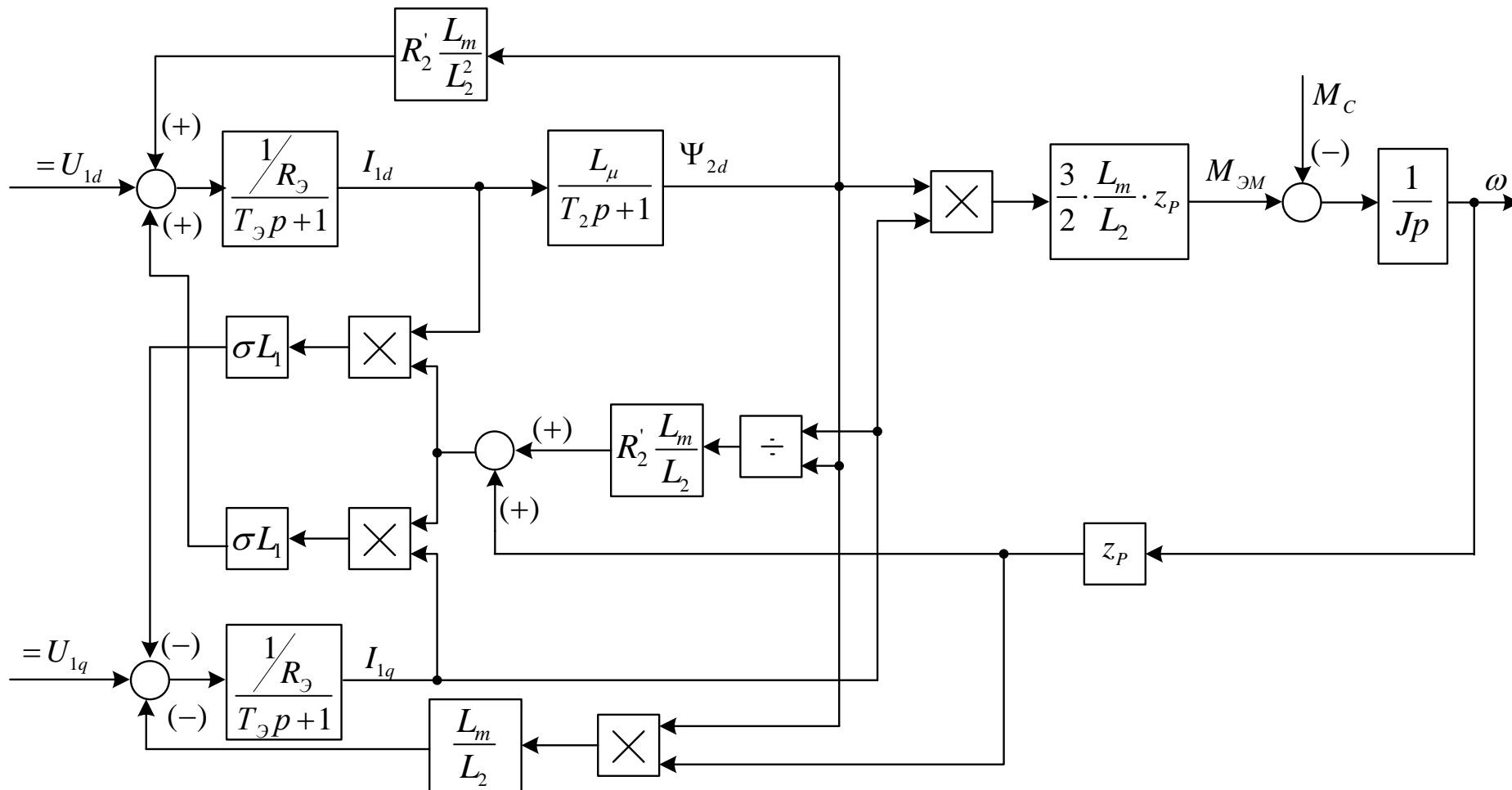


Рис. 13 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

Тогда структурная схема силового канала частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением реализуется на базе структурной схемы двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат  $d, q$ , ориентированной по результирующему вектору потока сцепления ротора может быть представлена в виде, приведенном на рисунке 14.

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;

механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

Внутренними перекрестными связями в структурной схеме двигателя первоначально на этапе определения параметров настройки САУ РЭП желательно пренебречь. Это возможно, если выполняются условия:

$$\frac{T_2}{T_3} \gg 1; \frac{T_M}{T_3} \gg 1,$$

$$\text{Где } T_M = \frac{J_{\text{э}} \cdot \omega_0}{M_{\text{эм.кр}}}, \text{ с,}$$

– электромеханическая постоянная времени электропривода, или их можно компенсировать с помощью обратных связей на вход преобразователя частоты. В этом случае структурную схему силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке 15 [1].

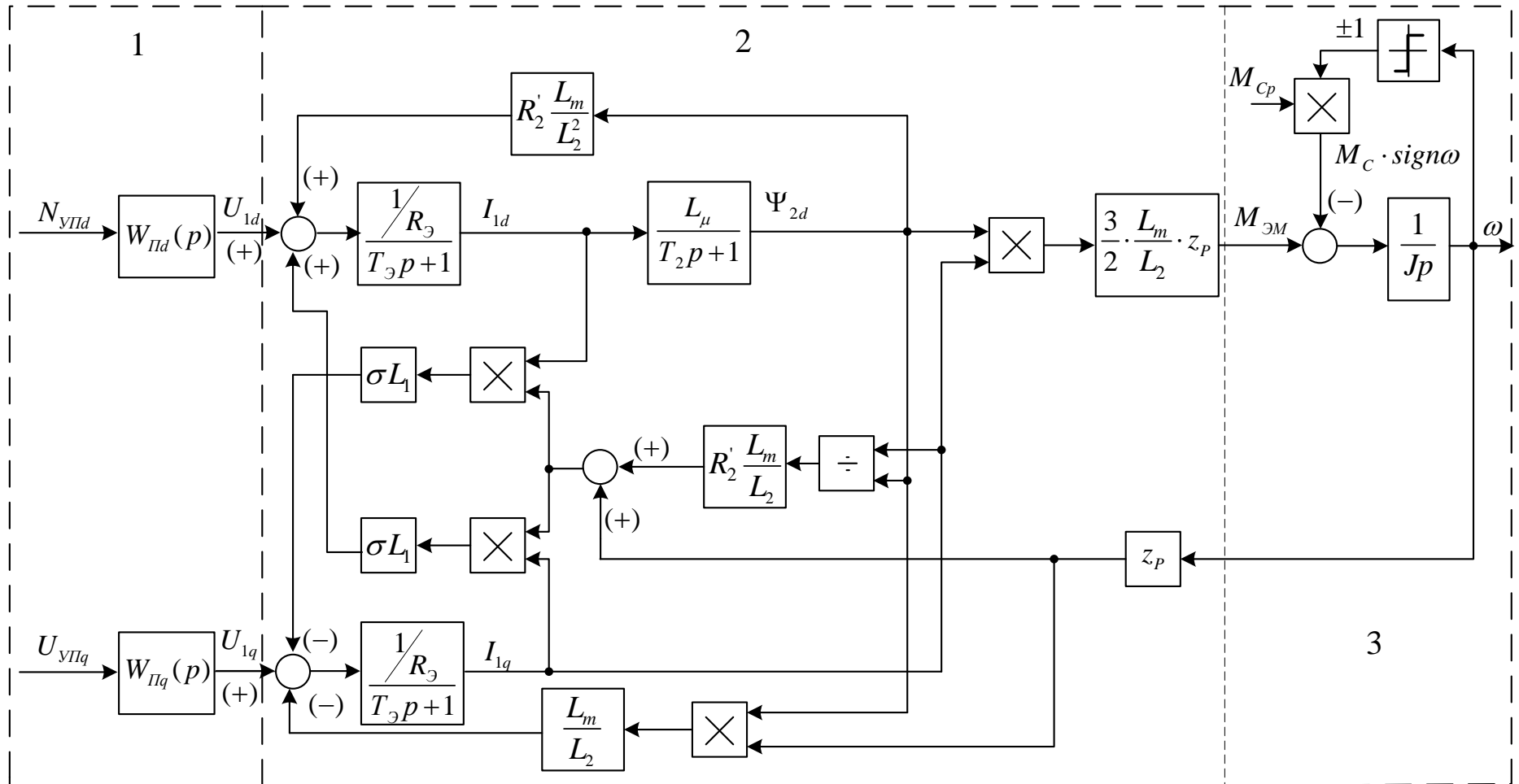


Рис. 14. – Структурная схема силового канала асинхронного электропривода с векторным управлением

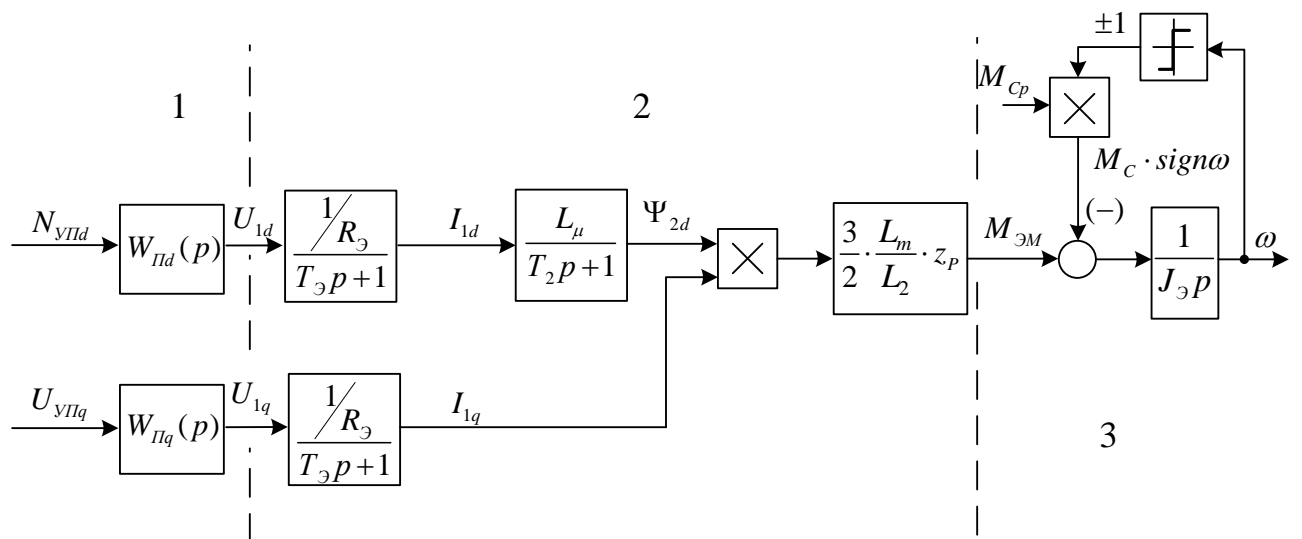


Рис. 15. – Структурная схема силового канала асинхронного электропривода с векторным управлением и компенсацией внутренних перекрестных обратных связей двигателя

На схемах рис 14 и 15 обозначены: 1 – преобразователь фазных напряжений управления двухфазным асинхронным электродвигателем; 2 – двухфазный асинхронный электродвигатель во вращающейся системе координат  $d, q$ , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора; 3 – одномассовая механическая система в общем случае с нагрузкой  $M_{cp}$ .

## 5. Выбор функциональной и структурной схем, настройка контуров регулирования

### 5.1. Выбор и обоснование функциональной схемы электропривода

Будем предполагать, что САУ РЭП будет реализована по функциональной схеме частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением с датчиком скорости, которая приведена на рисунке 16 [1].

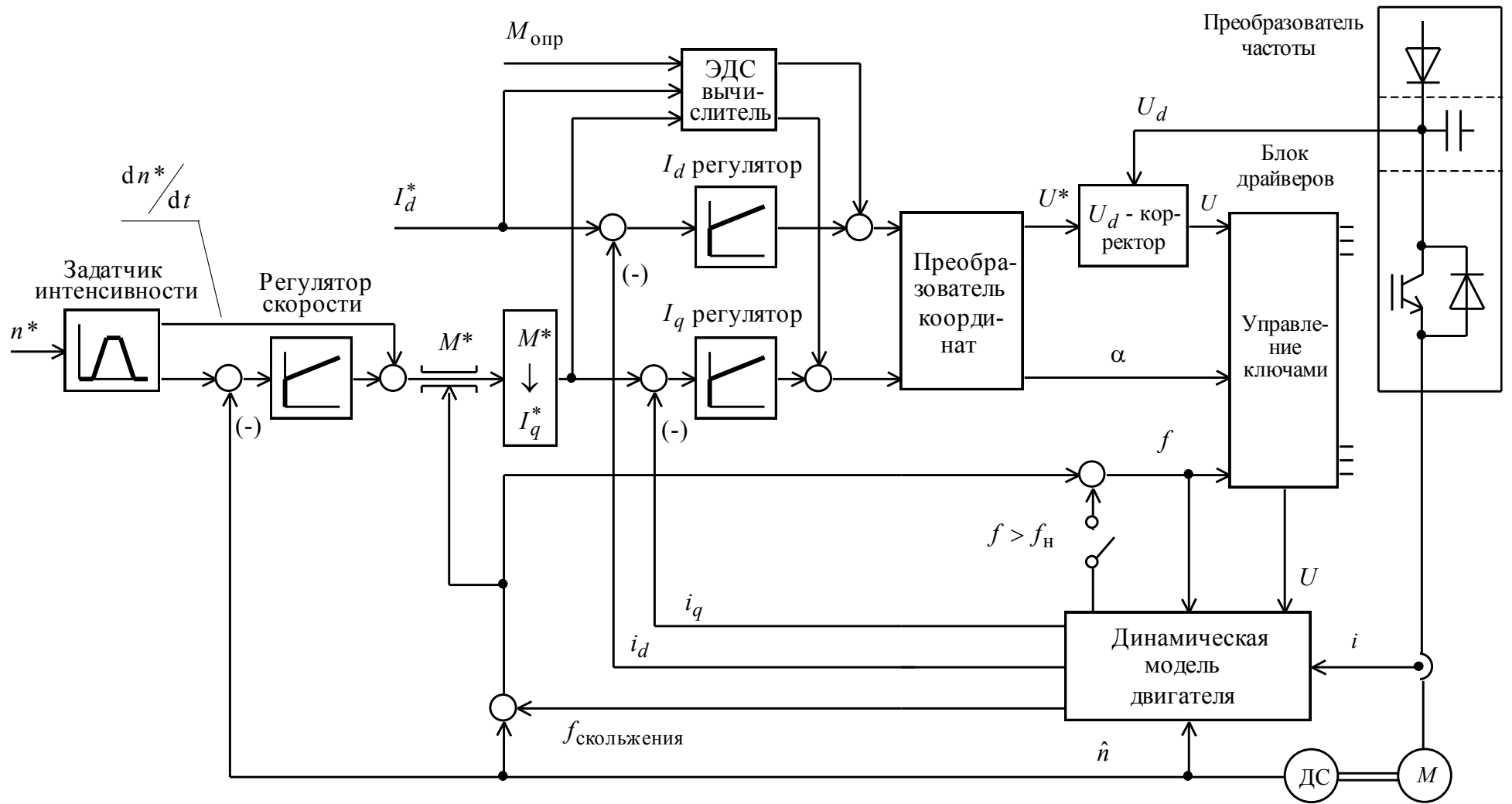


Рис. 16 – Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным частотным управлением с датчиком скорости

Дополнительно должно предполагается предусмотреть:

- регулятор потокосцепления;
- датчики потока двигателя или их вычисление с использованием модели двигателя;
- блок ослабления потока в случае, если не будет обеспечена требуемая максимальная скорость электропривода  $n_{\text{дв.макс}}$ .

## 5.2. Структурная схема СУ электропривода

Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого однофазного асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 17.

Структурная схема САУ асинхронного электропривода рис.17 реализована на основании структурной схемы силового канала преобразователя частоты двигатель (рис. 1.4), в которой внутренние связи в двухфазном асинхронном двигателе (рис. 1.5) либо скомпенсированы, либо не учитываются [1].

САУ электропривода реализована по схеме с независимым управлением потокосцеплением. Управление на входе контура потокосцепления постоянное  $N_{3\Psi} = N_{3\Psi\text{макс}} = \text{const}$ .

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{\text{рт}}, W(p)_{\text{р}\Psi}, W(p)_{\text{рс}}$  - передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости соответственно;

$k_{\text{т}}$  – коэффициент обратной связи по току,  $\frac{1}{A}$ .



$k_\Psi$  – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора,  $\frac{1}{\text{Вб}}$ .

$k_c$  – коэффициент обратной связи по скорости,  $\frac{1}{\text{рад/с}}$ .

$T_{\mu\tau\sigma}$ ,  $T_{\mu\Psi\sigma}$  и  $T_{\mu c\sigma}$  – малые постоянные времени цепи обратной связи по току, потокосцеплению и скорости,

с.

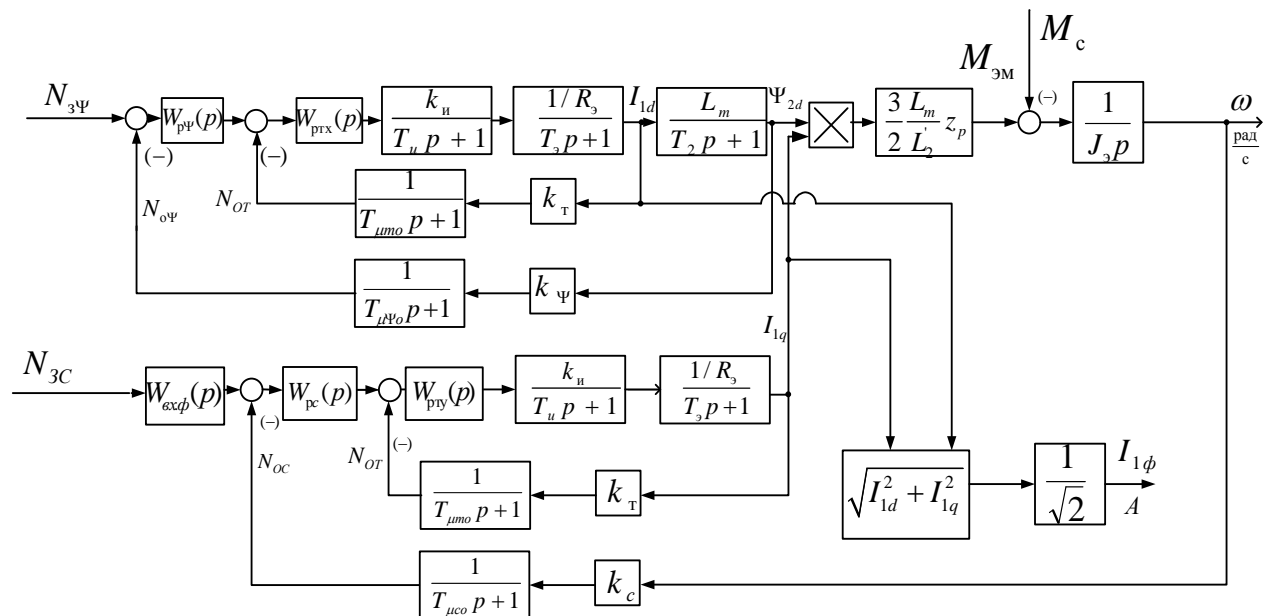


Рисунок 17 Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

### 5.3. Определение настроек СУ электропривода

#### Расчет параметров преобразователя

Инвертор с ШИМ может быть представлен линейным усилителем с коэффициентом усиления [2]

$$K_{и} = 1,$$

где  $N_{уп.макс}$  – максимальное значение управления на входе преобразователя,

$$\text{принимается } N_{уп.макс} = 1.$$

Инерционность инвертора характеризуется чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{10000} = 0.0001 \text{ с} ,$$

где  $f_{\text{ШИМ}}$  несущая частота инвертора, Гц.

### Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмоток [2]:

- статора:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0.0425 \text{ Гн} ;$$

- ротора:

$$L_2 = L'_{2\delta} + L_{\mu} = 0.0427 \text{ Гн} .$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 0.03 .$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0.43 \text{ Ом} .$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\text{э}} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\text{э}}} = 0.0029 \text{ с} ;$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = 0.197 \text{ с}.$$

### **Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода Расчет параметров преобразователя и системы управления инвер- тором**

Для питания выбранного преобразователя частоты требуется напряжение се-  
ти, находящееся в диапазоне 380÷440 В [2]. Как правило нехватка напряже-  
ния питающей сети может существенно сказаться на требуемые показатели  
проектируемого электропривода. Напряжение звена постоянного тока

$$U_{d0} = 1.35 \cdot U_c = 1.35 \cdot 380 = 513 \text{ В}.$$

Расчетные параметры преобразователя и датчика тока,

коэффициент усиления инвертора примем:

$$K_{и} = 1,$$

### **Оптимизация контура тока с ПИ-регулятором, аналоговым датчи- ком тока**

Контуров токов  $I_{1d}$  и  $I_{1q}$  реализованы по одной схеме и имеют одина-  
ковые параметры. Аналоговый сигнал с первичного преобразователя тока  
преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал.

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W_{рт}(p) = k_{рт} \cdot \frac{T_{рт} \cdot p + 1}{T_{рт} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора:

– коэффициент усиления регулятора тока;

$$k_{рт} = \frac{T_э \cdot R_э}{2 \cdot T_{inv} \cdot K_{inv}} = 0.546;$$

– постоянная времени регулятора тока;

$$T_{pT} = \frac{0.1 \cdot L_e}{R_e} = 0.0029 \text{ с}$$

### **Оптимизация контура потокосцепления с ПИ-регулятором, аналоговым датчиком потока**

Аналоговый сигнал с аналогового датчика потока преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал. Предполагается, что в принятой модели двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат  $d, q$  с помощью аналогового датчика непосредственно измеряется потокосцепление ротора  $\Psi_{2d}$ .

Параметры настройки регулятора:

– коэффициент усиления регулятора;

$$k_{p\Psi} = \frac{1}{4 \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot R_2 \cdot T_{inv}} = 2.65;$$

– постоянная времени регулятора потока;

$$T_{p\Psi} = \frac{1}{R_2 / L_2} = 0.0033871 \text{ с},$$

### **Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором с импульсным датчиком скорости**

Измерение скорости осуществляется путем измерения числа импульсов датчика за постоянный интервал времени.

Параметры настройки регулятора:

– коэффициент усиления регулятора;

$$k_{pc} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_{\text{пр}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot \Psi_{2\text{H}} \cdot z_p \cdot T_{\text{инв}}} = 7,74;$$

– постоянная времени регулятора скорости;

$$T_{\text{pc}} = k_{\text{пр}} \cdot T_{\text{инв}} \cdot 10 = 0.0208 \text{ с},$$

## 6. Разработка имитационных моделей и исследование электропривода

### 6.1. Имитационная модель электропривода

На рисунке 18 представлен вид имитационной модели в *MATLAB Simulink*. При настройке модели было выявлено, что расчётные параметры для регуляторов не подходят, в связи с чем пришлось оптимизировать работу контуров ручным подбором коэффициентов и постоянных времени.

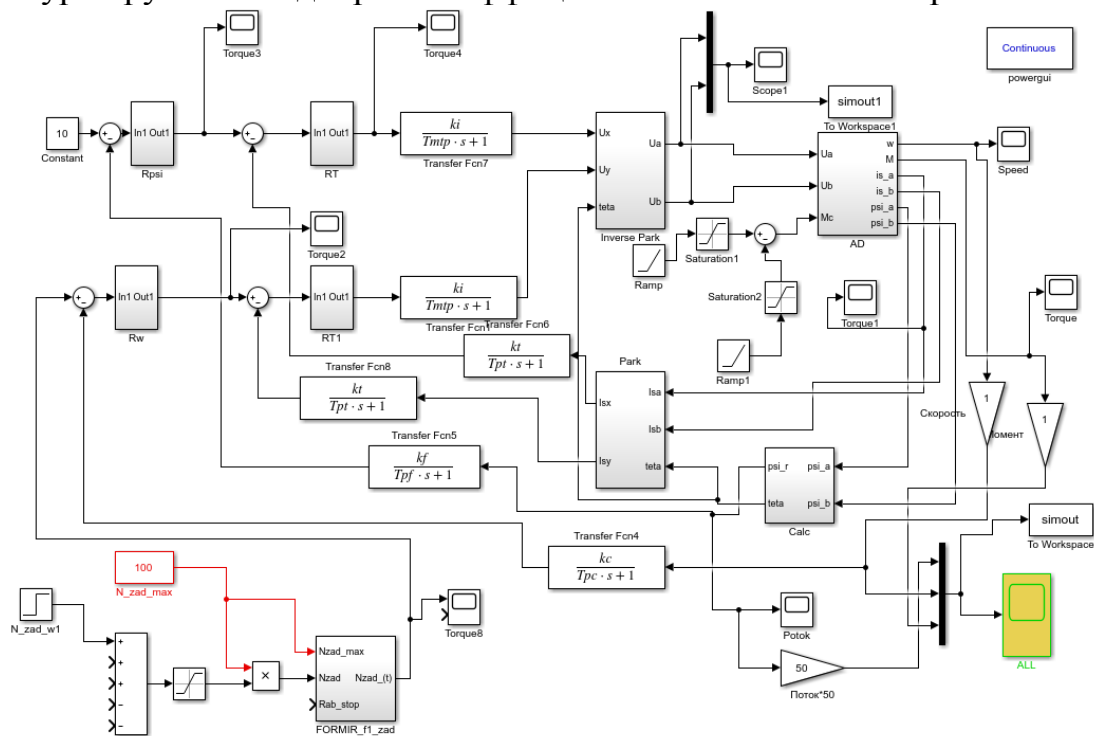


Рис. 18 – Имитационная модель системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода

### 6.2. Программа исследований электропривода в типовых режимах работы

ТЫ

Программа исследований включает в себя: пуск двигателя на холостом ходу; пуск при задании на максимальную скорость, наброс и сброс нагрузки,

а также пуск при задании на минимальную скорость, наброс и сброс нагрузки.

### 6.3. Исследования и результаты исследований

Результаты моделирования представлены на рисунках 19-22.

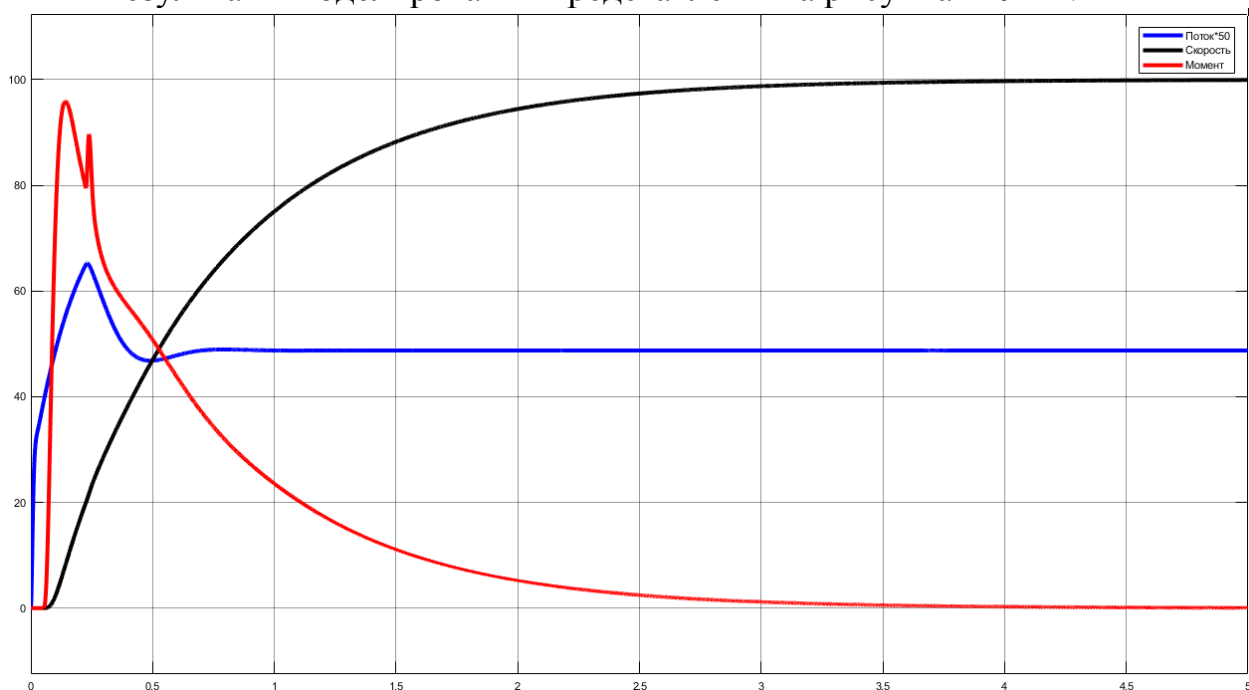


Рис. 19 – Пуск двигателя на холостом ходу

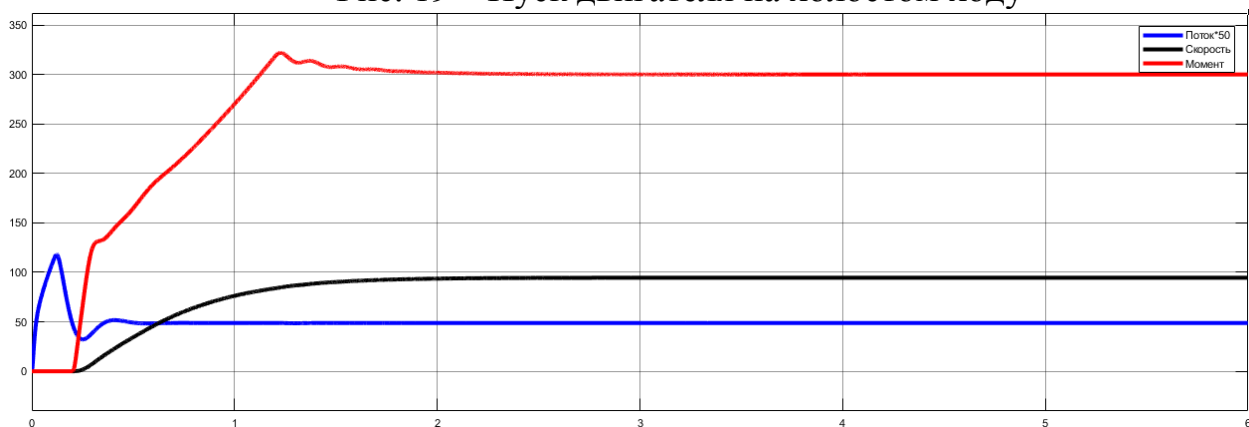


Рис. 20 – Пуск двигателя под нагрузкой

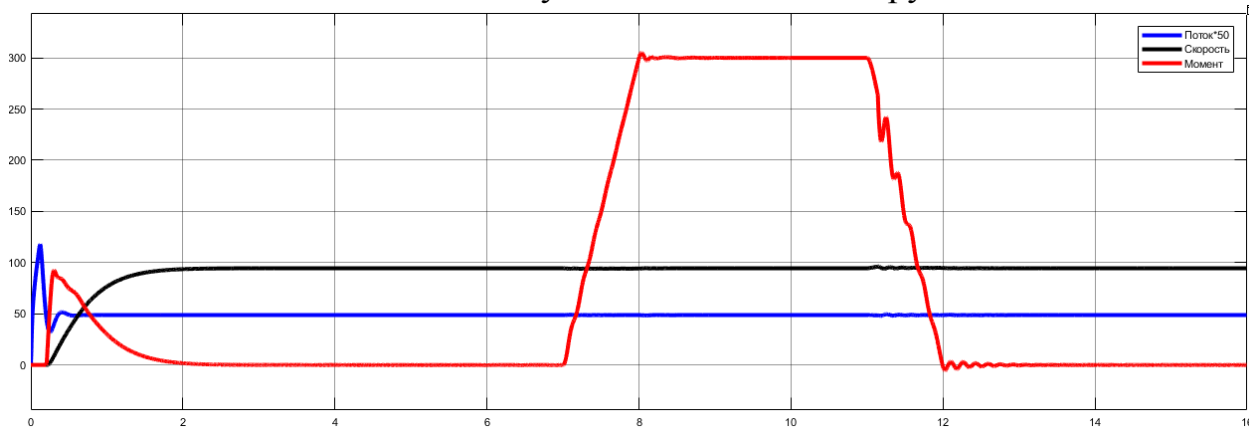


Рис. 21 – Пуск и работа двигателя при максимальной скорости задания

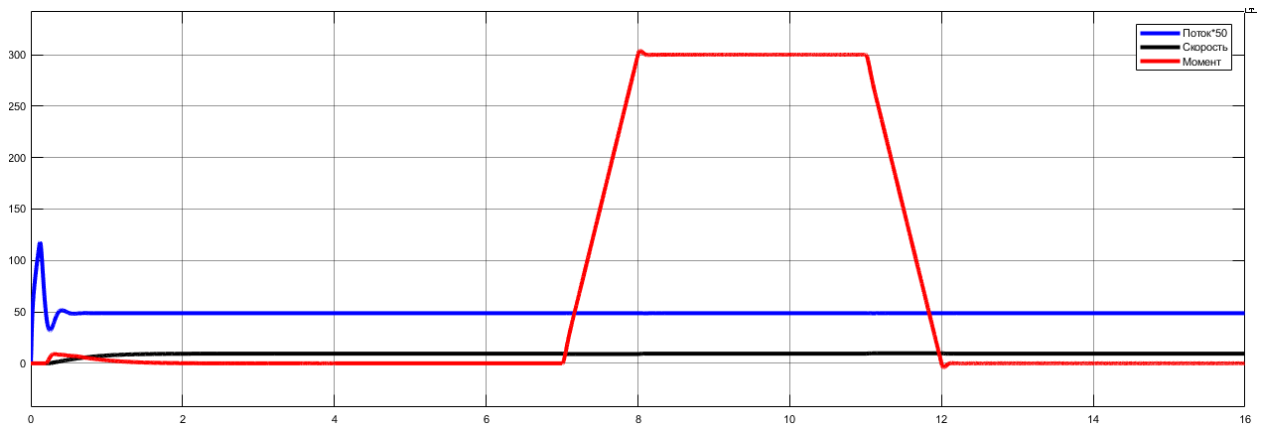


Рис. 22 – Пуск и работа двигателя при минимальной скорости задания

Пуск электропривода, согласно заданию, составляет более 2-ух секунд, что означает плавный пуск. Также из графиков видно, что электропривод обеспечивает момент, не превышающий  $2M_{дв.н.}$ , а датчик скорости обеспечивает поддержание скорости при набросе и сбросе нагрузки.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г4А1	Якубович Сергей Владимирович

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
<i>1. Стоимость затрат технического проекта</i>	В техническом проекте были задействованы 2 человека, (руководитель, дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранту. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников ТПУ.
<i>2. Продолжительность выполнения</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта</i>	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, оценивать технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы
<i>2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	Составление графика по проектированию асинхронного электропривода ленточного конвейера. Определить трудоёмкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая позволяет спланировать процесс реализации технического проекта.
<i>3. Формирование сметы технического проекта</i>	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: · материальные затраты; · полная заработная плата исполнителей; · отчисления во внебюджетные фонды; · накладные расходы
<i>4. Ресурсоэффективность технического проекта</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности
<b>Перечень графического материала:</b>	
График Ганта	
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	11.03.2019г.

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н ,доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г4А1	Якубович Сергей Владимирович		



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

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- расчет затрат на проектные работы электропривода ленточного конвейера;
- определение ресурсной эффективности проекта.

### **7.1 SWOT-Анализ работы асинхронного электропривода крана механизма подъёма**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Он представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [8].

Применительно к проекту по разработке электропривода крана механизма подъёма. SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

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-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Матрица SWOT-анализа технического проекта

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
<b>Возможности:</b> В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	В1 С1С2С3С4	В1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	В2 С2С4С5	В2 Сл1Сл2
В3. Резервное питание электропривода крана механизма подъема	В3 С1С2С4С5	В3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В4 С1С3С5	
<b>Угрозы:</b> У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1 С5	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2 С5	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции	У3 С4	У3 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.  
Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 5 и 6

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	-	+	+
В3. Резервное питание электропривода крана механизма подъема	+	+	-	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	+	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+		+	
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+		-	
В3. Резервное питание электропривода крана механизма подъема	-	+		+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	-	-		-	

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	-	+

Окончание Таблицы 6

У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции	-	-	-	+	-
<b>Угрозы</b>	<b>Слабые стороны проекта</b>				
	Сл1 Повышенный уровень шума	Сл2 Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования		
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+		
У2 Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-		
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции	+	-	-		

По результатам интерактивных матриц, приведенных выше, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит в аварийной сигнализации, так как несвоевременная ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

## 7.2. Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

### 7.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Каждый вид запланированных работ закреплен за соответствующим исполнителем.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 7.

Таблица 7. Перечень этапов работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Исполнитель
Составление технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Выбор оборудования	Дипломник
	4	Расчет элементов электропривода	Дипломник
	5	Построение естественных и искусственных характеристик	Дипломник
	6	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель, Дипломник
	7	Расчет и проверка модели АД	Руководитель, Дипломник
	8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Руководитель, Дипломник
Оформление отчета по техническому проектированию и защита ВКР	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель, Дипломник

### 7.2.2 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

№1 - Составление и утверждение технического задания – выбор направления исследований научным руководителем и составление плана работ;

№2 - Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение первичных источников информации об объекте исследования;

№3 - Выбор оборудования – расчет мощности электропривода и его выбор по номенклатуре, также выбор преобразователя частоты ;

№4 – Расчет элементов электропривода - определение параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя;

№5 – Построение естественных и искусственных характеристик – расчет и построение естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик электродвигателя;

№6 - Проверка правильности выбора оборудования – проверка руководителем правильности выбора оборудования, оценка результатов, устранение недочетов;

№7 - Расчет и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при пуске под нагрузкой;

№8 - Расчет и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, расчет и построение семейства механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты подаваемого напряжения в среде MATLAB.

№9 - Составление пояснительной записки - оформление результатов проектной деятельности;

№10 - Проверка и защита выпускной квалификационной работы - окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовка презентации, размещение пояснительной записки в электронно-библиотечной системе ТПУ, защита выпускной квалификационной работы.

### **7.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ**

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула [32]

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

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.

Результаты продолжительности выполнения работ приведены в таблице 9.

Таблица 9. Расчет продолжительности работ.

№ работы	Содержание работ	Трудоёмкость работ, раб. дни			
		Исполнитель	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	6	9	7
3	Выбор оборудования	Дипломник	5	10	7
4	Расчет элементов электропривода	Дипломник	7	14	8
5	Построение естественных и искусственных характеристик	Дипломник	5	8	6
6	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	6	9	7
7	Расчет и проверка модели АД	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	8	11	9
8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	8	11	9
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	5	8	6
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	1	3	2
		Дипломник	4	6	5

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 9 декад, начиная со второй декады марта, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 64 дня. Из них:

64 дня – продолжительность выполнения работ дипломника;

6 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

Таблица 8. Диаграмма Ганта

Этап	Под этапы	Исп-ли	Раб дни	Продолжительность выполнения работ									
				Март		Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1.Подготовительный	1. Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■									
	2 Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	7	■	■								
	3 Выбор оборудования	Дипломник	7		■	■							
	4 Расчет элементов электропривода	Дипломник	8			■	■	■					
2.Экспериментальный	5. Построение естественных и искусственных характеристик	Дипломник	6				■	■					
		Руководитель	1				■						
	6. Проверка правильности выбора оборудования	Дипломник	7					■	■				
	7. Расчет и проверка модели АД	Дипломник	9						■	■			
		Руководитель	1							■			
	8. Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Дипломник	9							■	■		
Руководитель		1								■			
3.Заключительный	9. Составление пояснительной записки	Дипломник	6							■	■		
		Руководитель	2									■	
	10. Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Дипломник	5									■	■
		Руководитель	1										■



### 7.3 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:

- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.
- затраты на спец.оборудование;

#### 7.3.1 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p,$$

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

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

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

$Z_{\text{допл}}$  – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$  – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб	Продолжительность работ, раб. дн	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43763	1 683	6	10098
Дипломник	12300	3690	15990	615	64	39360
Итого						49458

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 11

Таблица 11. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	10098	1502	11600
Дипломник	0,12	39360	4640	44000
Итого		49458	6142	55600

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды  
 $k_{\text{внеб}} = 30,2\%$  в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 55,7 = 16,8 \text{ тыс. руб.}$$

### 7.3.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Величину накладных расходов принимаем в размере  $K_{\text{нр}}$ - 16% от общей суммы затрат.

### 7.3.4 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. [7]

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 12

Таблица 12 – Смета технического проекта

Статьи расхода	Сумма, тыс.руб.	Структура за- трат %
1. Полная заработная плата научно-производственного персонала	55,6	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	16,8	19,5
3. Накладные расходы	13,6	16,0
<b>4. Итого</b>	<b>86,0</b>	<b>100,0</b>

Стоимость специализированного оборудования асинхронного электропривода крана механизма подъёма приведена в таблице 13

Таблица 13. Стоимость специализированного оборудования [11].

Наименование	Кол- во	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая цена, руб
Электродвигатель МТКФ	2	38670	77340
Преобразователь	1	203019	203019
<b>Итого</b>	<b>3</b>	<b>241 689</b>	<b>280 359</b>

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ОБ}} = Ц \times k_{\text{тр}}$$

где:  $C_{\text{ОБ}}$  - первоначальная стоимость оборудования

$Ц$  - цена оборудование

$k_{\text{тр}}$  – коэффициент, учитывающий транспортные расходы,  $k_{\text{тр}}=1,1$

$$C_{\text{ОБ}} = 280,4 \times 1,1 = 300 \text{ тыс. руб.}$$

Исходя из представленной выше таблицы 9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 366,7 тыс.руб. включая заработную плату исполнителей работ. Большая часть (78,1 %) составляют затраты на спецоборудование.

#### 7.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности: [7]

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

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

$a_i$  - весовой коэффициент разработки;

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

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

- повышение производительности труда пользователя осуществляется путем автоматизации технологического процесса;
- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) – возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;
- энергоэкономичность – применение в подъемных механизмов частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать плавный подъем груза;
- надежность – отсутствие ударов при переключении на другие скорости подъема или спуска не изнашивается механизм;
- уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума подъемного механизма;
- безопасность – нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой подъемного механизма осуществляется дистанционно.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	10
2. Удобство в эксплуатации	0,15	9
3. Энергоэкономичность	0,25	10
4. Надежность	0,20	10
5. Ремонтопригодность	0,15	10
6. Безопасность	0,10	9
Итого:	1,00	7,75

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{ABV} = 10 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,1 = 7,75;$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 10-балльной шкале) 7,75, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены, раскрыты и рассчитаны следующие вопросы:

1) В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Анализ установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

2) При планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и дипломника);

3) Составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить;

4) Оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (7,75 по 10-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г4А1	Якубович Сергей Владимирович

<b>Институт</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	<b>Электропривод крана механизма подъёма</b>
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является грузоподъёмный кран ЛТ-62. Объект исследования предназначен для разгрузки хлыстов или деревьев с лесовозного транспорта, при создании запасов на складах леспромхозов.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации грузоподъёмного крана</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где находятся грузоподъёмные краны</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.	<p><i>Основными вредными факторами являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация);</li> <li>- Акустические колебаниями в производственной среде(шум);</li> <li>- Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата, сырость);</li> <li>- Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны).</li> </ul> <p><i>Опасными факторами являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- движения машин и механизмов;</li> <li>- наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.</li> </ul>
2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.	-анализ травматизма
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	-разработка превентивных мер при пожаре;



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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Якубович Сергей Владимирович		

## **8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Введение.

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

Грузоподъемный кран предназначен для подъемно-транспортных работ с хлыстами и деревьями: разгрузка и погрузка лесовозного транспорта, штабелевка и подачи хлыстов или деревьев из штабеля на раздаточные эстакады, создание запасов древесины и перегрузки пакетов лесоматериалов (грузоподъемность составляет 320 кН).

### **8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Человек, его права и свободы являются высшей ценностью российского государства. Признание, соблюдение и защита прав и свобод человека и гражданина - обязанность государства. Данные положения закреплены в Конституции Российской Федерации. Поскольку человек является высшей ценностью, то возникает необходимость у государства в обеспечении защиты жизни и здоровья человека. Правовые мероприятия заключаются в создании системы правовых норм, устанавливающих государственные стандарты безопасных условий труда, и правовых средств по обеспечению их соблюдения. Эта система основывается на Конституции РФ и включает в себя: федеральные законы, законы субъектов РФ, подзаконные нормативные акты органов исполнительной власти РФ и субъектов РФ, а также локальные нормативные акты, принимаемые на конкретных предприятиях и в организациях.

Правовые основы регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками и направленные на создание условий труда, соответствующих требованиям сохранения жизни и здоровья

работников в процессе трудовой деятельности в первую очередь закреплены в Трудовом кодексе Российской Федерации (ТК РФ), Федеральном законе «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев и профессиональных заболеваний» № 125-ФЗ от 24.07.1998г. с изменениями от 21.07.2007г. Так же на основе законодательных актов разработаны подзаконные акты - Постановление Правительства Российской Федерации от 24.04.2002 г. № 28 «О создании системы сертификации производственных объектов на соответствие требованиям по охране труда», ряд ГОСТов и СНИПов и др.

## 8.2. Производственная безопасность

Таблица 15. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.012-90 до 75 дБ.
2. Акустические колебаниями в производственной среде (шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
3. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
4. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Е <sub>нор</sub> =200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].
5. Движение машин и механизмов			+	ПБ 10-382-00 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов
6. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования			+	ПУЭ: правила устройства электроустановок

### **8.2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды**

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомленность. К таким условиям относятся:

➤ **Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).**

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 (75 дБ на частотах 16, 31,5 и 63 Гц).

➤ **Акустические колебаниями в производственной среде(шум)**

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.

➤ **Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)**

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.

➤ **Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)**

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

Исследуемый электропривод работает в помещении тележки моста, которое можно характеризовать как помещение особо опасное, вследствие наличия двух условий, создающих повышенную опасность:

➤ **Движение машин и механизмов**

При проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту кранов машинист подвергается воздействию движущихся элементов механизмов крана и механизированного инструмента, производственных загрязнений (пыль, смазочные материалы, моющие средства и т. п.) и механических повреждений острыми кромками деталей и инструмента. Б)

➤ **Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.**

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.

### **8.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов**

Анализ электротравматизма показывает, что большинство несчастных случаев с работниками, обслуживающими электроустановки, происходит в результате потери им ориентировки при осмотрах, ремонтах и испытании. Электрические блокировки являются наиболее надёжным средством защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Они препятствуют доступу работающих к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением. Ограничители так же как электрические блокировки, служат для защиты людей и оборудования при неправильных действиях в процессе работы. Сигнализация является средством, позволяющим работникам ориентироваться в случае аварийной ситуации и принять необходимые меры предосторожности. На кранах обычно применяют звуковую сигнализацию, срабатывающую при сильном ветре. Средствами защиты от травмоопасных и вредных производственных факторов на козловом кране являются приборы и устройства безопасности: ограничители грузоподъёмно-

сти – осуществляют ограничение грузоподъёмности при помощи конечных выключателей типа ВК-300А, установленных на ограничителях, ограничители крайнего верхнего положения траверсы – осуществляют два конечных выключателя типа ВУ-250М или четыре ВПК-1110, соединёнными с валами грузовых лебёдок; ограничитель концов рабочего участка рельсового пути при передвижении перегрузчика – осуществляет ограничение пути крана конечным выключателем типа КУ-701; блокировка двери кабины – препятствует включению перегрузчика в работу при открытой двери кабины, осуществляется конечным выключателем ВПК-1110; нулевая блокировка (блокировка от самопуска электродвигателей) – препятствует включению двигателей в работу после выхода из аварийной ситуации или ремонта, если контроллеры не установлены в нулевое положение, осуществляется при помощи нулевых контактов контроллеров КГ-К10, КД-К10, КТ-К12, включенных в цепь питания катушки главного контактора.

При превышении на 10% установленной грузоподъёмности перегрузчика пружина ограничителя грузоподъёмности сжимается, происходит срабатывание выключателя и отключается контактор-реверса движения «Подъём» - ПВ1. Ограничение концов рабочего участка передвижения тележки осуществляется конечным выключателем типа ВУ-250М или двумя путевыми выключателями типа ВПК-1110. Конечный выключатель соединён с валом лебёдки передвижения тележки. При повороте барабана лебёдки на определённое количество оборотов, что соответствует крайнему положению лебёдки: «вперёд» или «назад», происходит срабатывание конечного выключателя, контакт «ВК1-1» или «ВК2-1» размыкается и включается контактор защитной панели.

Блокировка двери кабины, препятствующая работе на перегрузчике при открытой двери, осуществляется конечным выключателем «ВК4» (типа ВПК-1110). Контакт конечного выключателя «ВК4» включен в цепь питания катушки контактора защитной панели. При открытой двери, контакт «ВК4» разомкнут и работать на перегрузчике невозможно. Таким образом, прибор

рами безопасности для козлового крана являются: ограничители грузоподъёмности, конечные выключатели для крайнего положения траверсы и выключатели для ограничения конца рабочего пути, выключатель блокировки двери кабины.

### **8.3. Экологическая безопасность**

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоемы, недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряд районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнения существенно превышают допустимые нормы.

Радикальное решение проблем охраны окружающей среды, от негативных воздействий промышленных объектов, возможна при широком применении безотходных и малоотходных технологий, использовании очистных сооружений и устройств более современных систем очистки.

Важнейшим звеном в обеспечении качества окружающей среды является система контроля её состояния, включающая:

- наблюдение за состоянием окружающей среды и прогноз измерений;
- выявление и оценка источников загрязнения среды;
- предупреждение появления повышенных загрязнений.

Среднесуточные ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест, утвержденные Минздравом, мг/м:

- пыль (взвешенные вещества) - 0,15;
- сернистый ангидрид - 0,05;
- окись углерода - 3;
- двуокись азота - 0,04.

Масштабы антропогенного воздействия весьма значительны. В настоящее время в атмосфере находится около 20 млн. т. взвешенных частиц. За последние 10 лет в неё поступило:

- 74000 т. кадмия,



- 600000 т. меди,
- 4.5 млн. т. свинца,
- более 3 млн. т. цинка.

Производство ежегодно высвобождает  $142 \cdot 10^{18}$  Дж тепловой энергии; земная суша деградирует со скоростью 44 га/мин, исчезает 20 га леса в минуту. Осуществляется контроль выбросов промышленных предприятий, систему контроля разрабатывает само предприятие. Контролю также подлежат выбросы, поступающие от дымовых труб, вытяжных систем вентиляции и т.п.

#### **8.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

Согласно классификации, кран относится к пожароопасному классу П-111 (расположена в не помещения, в зоне в которой не обращаются горючие жидкости с  $t$  вспышки  $61^\circ \text{C}$  и выше или в зоне, где хранятся твердые горючие вещества).

Для обеспечения безопасности при пожаре на кране - перегружателе предусмотрены:

- система оповещения о пожаре;
- система автоматической пожарной сигнализации;
- первичные средства пожаротушения.

Возгорания, пожары и воспламенения часто сопровождаются взрывами и могут быть очень опасными для людей. Поэтому пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учетом класса размещения по пожароопасности.

Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно - техническими мероприятиями.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевым стандартам. Применяемые на кране переносные углекислотные огнетушители ОУ-5 должны иметь бирки и маркировки и должны быть окрашены в красный цвет. Перезарядка огнетушителей выполняется в соответствии с инструкцией по безопасности. Огнетушители должны располагаться в заметных и легкодоступных местах и подлежат периодическому обслуживанию, включающему в себя следующее:

- очистка от пыли и грязи;
- восстановление окраски и соответствующих подписей.

Для курения должны быть отведены специальные места, оборудованные средствами пожаротушения, и предусматривающие возможные способы эвакуации людей и оборудования.

## Заключение

В данной работе был рассмотрен и рассчитан цифровой регулируемый электропривод производственного механизма. ЭП питается от 3х – фазной промышленной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В, что необходимо для питания выбранного преобразователя частоты и таким образом предполагается что имеется повышающий трансформатор, обеспечивающий данное напряжение на своей вторичной обмотке; частота сети составляет 50 Гц.

Был проведен расчет параметров механической части, элементов силового канала построена область существования электромеханических характеристик.

Были проведены исследования в различных режимах работы. На минимальной скорости перерегулирование по скорости равняется 18,4% что соответствует требуемому, которое составляет 20%. При установке задатчиков интенсивности был обеспечен плавный разгон электропривода, что также является одним из требований технического задания. Таким образом, имитационные исследования показали, что разработанный привод полностью отвечает требованиям технического задания.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (7,75 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

## Список литературы

1. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 448 с.
3. Преобразователи частоты для одно- и многодвигательных электроприводов мощностью от 2.2 кВт до 230 кВт. Каталог DA65.10.201 –[www.siemens.de/masterdrive vector control](http://www.siemens.de/masterdrive_vector_control)
4. Электротехнический справочник: В 4т. Т.4. Использование электрической энергии / под общей редакцией профессора МЭИ Герасимова В.Г. и др. (гл. ред. Попов А.И.). – 8-е изд., испр. и доп. – М.: издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
5. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
6. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницина; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.-36с