

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод вагоноопрокидывателя

УДК 62-83-52:629.46.065

Студент

Группа	ФИО	Подпись	
3-5Г5А1	Юлдашев Мирвохид Абдуманнабович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	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> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	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.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	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.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	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> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	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. зав. кафедрой- руководителя
ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Юлдашеву Мирвохиду Абдуманнабовичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод вагоноопрокидывателя	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный. Режим работы – повторно-кратковременный. Характер нагрузки на валу механизма – реактивный. Электропривод – реверсивный, диапазон регулирования 1:10. Статическая погрешность поддержания скорости вращения не более 10%.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

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

Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Юлдашев Мирвохид Абдуманнабович		20.03.2020г.

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 2019 /2020 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:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 108 с., 32 рис., 31 табл., источников, 33

Ключевые слова: Вагоноопрокидыватель, двухдвигательный частотно-регулируемый электропривод, скалярная IR-компенсация,

Объектом исследования является (ются) Частотно-регулируемый электропривод переменного тока

Цель работы – Обеспечить плавность протекания переходных процессов, ограничить броски тока и момента в системе, снизить энергопотребление

В процессе исследования проводились расчеты и выбор приводных двигателей, преобразователей частоты, а также необходимых параметров системы управления

В результате исследования был выбран и обоснован необходимый закон управления, получены частотные характеристики двигателей, определены необходимые параметры. В результате имитационного моделирования были проанализированы показатели системы в основных режимах работы

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: стационарные роторные и башенные боковые, по грузоподъемности полувагона, по количеству одновременно разгружаемых полувагонов

Область применения: металлургия, промышленное и сельскохозяйственное производство, карьеры, шахты

Экономическая эффективность/значимость работы в разделе экономики произведен расчет затрат на проведение научно-исследовательских работ и внедрение проекта по замене системы электропривода вагоноопрокидывателя

Содержание.

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. Технологический процесс работы комплекса вагоноопрокидвателя.	11
1.1.Размещение технологических механизмов и электрического оборудования комплекса	11
1.2. Устройство и характеристики вагоноопрокидвателя	13
1.3. Технологический процесс работы комплекса	18
2.1.2 Справочные параметры электродвигателя	25
2.1.3 Определение дополнительных параметров двигателя.....	25
2.1.4 Определение параметров схемы замещения	26
2.1.5 Расчет параметров двигателя.....	28
2,1.6 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.....	28
2.1.7 Расчет естественных характеристик двигателя	30
2.1.8 Проверка обеспечения заданной области работы.....	33
2.2 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода	38
2.3 Выбор преобразователя частоты	39
2.3.1 Параметры преобразователя частоты	40
2.4 Система «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	41
2.5 Электромеханические и механические частотные характеристики	42
2.6 Электромеханические и механические характеристики системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с IR-компенсацией ..	49
3. ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	54
3.1 Имитационная модель прямого пуска электродвигателя МТКН 411-6	54
3.2 Имитационная модель частотного управления сиситемы скалярного управления с IR-компенсацией.....	56
3.3 Имитационная модель двухдвигательного электропривода вагоноопрокидвателя с частотным управлением и скалярной IR- компенсацией.....	60
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	64
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	65
4.1 Анализ конкурентных технических решений	65
4.2 SWOT-анализ.....	67
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	69
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	69
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	70
4.3.3 Разработка графика проведения проектирования.....	71
4.3.4 Бюджет исследовательской работы	75
4.3.5 Расчет амортизации.....	76
4.3.6 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	77
4.3.7 Основная заработная плата	78
4.3.8 Дополнительная заработная плата	80
4.3.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	80
4.3.10 Накладные расходы.....	81

4.4	Определение ресурсоэффективности исследования	81
4.4.1	Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	82
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	86
5	Социальная ответственность	87
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
5.1.1	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	89
5.1.2	Производственная безопасность.....	90
5.2	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	91
5.2.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	93
5.2.3	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	96
5.3	Экологическая безопасность.....	98
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	98
5.4.1	Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок .	100
5.4.2	Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры.....	100
	Заключение	103
	Conclusion.....	105
	Список используемых источников.....	107

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день наиболее эффективным механизмом для разгрузки сыпучих материалов из железнодорожного транспорта является комплекс вагоноопрокидывателя. В таких механизмах применяется двухдвигательный электропривод с разомкнутой по скорости параметрической системой управления с асинхронными электродвигателями с фазным ротором (АДФР), обеспечивающий равномерную загрузку двигателей в статических режимах. Основными недостатками существующей системы электропривода являются не обеспечение требуемых динамических и статических показателей, повышенное энергопотребление. При опрокидывании вагонов с использованием данной системы происходит образование в механических элементах значительных динамических нагрузок. В настоящее время существует тенденция применения электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), которые обладают простой и надежной конструкцией.

В связи с появлением современной преобразовательной техники, становится актуальным построение системы электропривода переменного тока с АДКЗ для механизма кантования, учитывающей особенности его работы.

Для исследования двухдвигательного электропривода используется математическая модель системы электропривода механизма кантования вагоноопрокидывателя.

Исследования в области энергосберегающих систем электропривода механизма кантования вагоноопрокидывателя являются актуальной задачей, так как совершенствование систем электропривода приводит к повышению энергоэффективности и увеличению надежности работы механизмов.

Целью работы является снижение электрических нагрузок на электродвигатели и динамических нагрузок на механическую часть вагоноопрокидывателя и полувагон и повышение за этот счет срока эксплуатации при интенсивных повторно-кратковременных режимах работы с помощью высоконадежной двухдвигательной системы электропривода с улучшенной энергоэффективностью.

Значимость:

- разработанный электропривод позволит снизить потери в системе электропривода, а также повреждаемость механизма и подвижного состава (полувагонов и вагонов), что позволит увеличить срок эксплуатации как асинхронных электродвигателей, так и конструкции вагоноопрокидывателя;

- система скалярного двухдвигательного частотного электропривода приведет к снижению износа механической части вагоноопрокидывателя, продлению срока эксплуатации двигателей за счет исключения тяжелых пусковых режимов и применения простых в обслуживании недорогих и надежных АДКЗ;

- разработанная система электропривода позволит в среднем на 20% снизить энергопотребление и уровень реактивной мощности во всех режимах работы за счет применения частотных преобразователей с рекуперацией энергии в сеть и исключения роторных сопротивлений.

1. Технологический процесс работы комплекса вагоноопрокидывателя.

1.1. Размещение технологических механизмов и электрического оборудования комплекса

Помещение станции управления (ПСУ) на рис.1 представляет собой трехэтажное здание, на первых двух этажах которого расположено электрооборудование первого и второго вагоноопрокидывателей, на третьем - непосредственно рабочее место оператора, включающее в себя пульт управления вагоноопрокидывателем и толкателем, а также интерфейс, который отображает все основные контролируемые параметры ЭП.

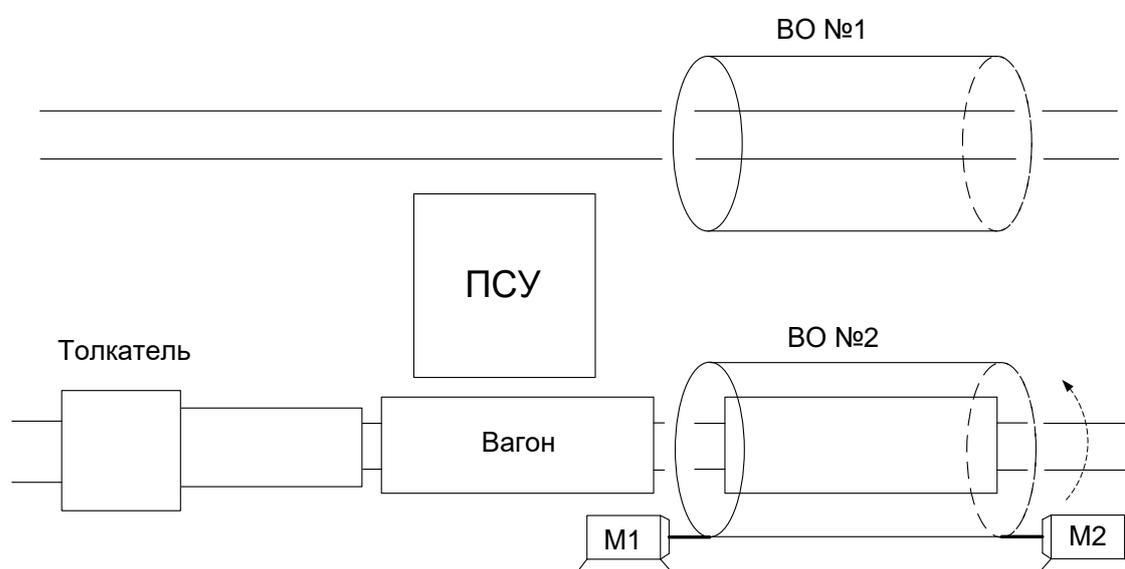


Рисунок 1 - Расположение технологических механизмов

Вагоноопрокидыватель предназначен для разгрузки полувагонов с различными технологическими материалами, поступающими на дробильно-сортировочную фабрику аглоизвесткового производства рисунок 1. ВО состоит из ротора, установленного на катковые опоры по которым происходит его вращение с помощью двух асинхронных электродвигателей краново-металлургической серии с короткозамкнутым ротором, работающих через силовые редукторы на общий тихоходный вал на рис.2. Тихоходный вал посредством промежуточных шестерен передает усилие на зубчатые венцы ротора.

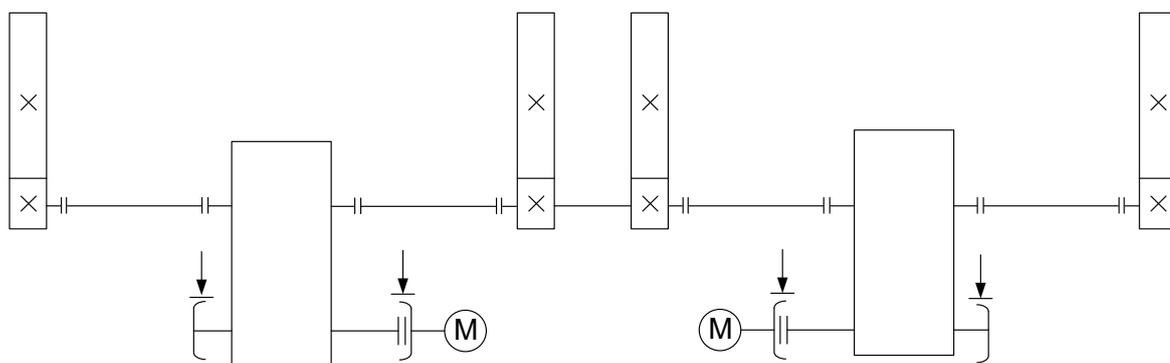


Рисунок 2 - Кинематическая схема вагоноопрокидывателя

Привод вращения ВО оборудован двумя тормозами с гидравлическими толкателями с асинхронными двигателями. На каждом тормозе установлено по два толкателя. На верхних балках ротора установлены два вибратора направленного действия с асинхронными электродвигателями, предназначенные для встряхивания вагонов с целью их очистки от налипших на стенки материалов.

Под вагоноопрокидывателем находится бункер, который направляет материал на пластинчатые питатели, расположенные на глубине 8-9 метров, с которых он попадает на конвейер и уходит в дробильно-сортировочную фабрику для дальнейшей обработки.

1.2. Устройство и характеристики вагоноопрокидывателя

Основные технические характеристики вагоноопрокидывателя представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики вагоноопрокидывателя.

№ п/п	Наименование параметров	Норма
1.	Параметры полувагонов, разгружаемых на ВО:	
	высота, мм	3274....3780
	длина по осям автосцепок, мм	13920... 16400
	ширина, мм	3130....3200
2.	Габаритные размеры вагоноопрокидывателя:	
	высота, мм	9038
	длина по осям автосцепок, мм	9634
	ширина, мм	17470
3.	Общие показатели:	
	колея, мм	1520
	угол поворота ротора, рад (градус)	2,967... 3,054 (175179)
	время разгрузки полувагона (прямой и обратный ход), с	62....72
	род тока	переменный
	напряжение, В	380
	частота, Гц	50
	температура окружающей среды, С	-45...+60
4.	Привод:	
4.1.	Электродвигатель:	
	тип	4МТН280-М10
	мощность, кВт	60
	частота вращения, с" (об/мин)	9,12(570)
	режим работы	ПВ = 40 %
	количество, шт.	2
4.2.	Редуктор:	
	ТИП	ПДН-630 80,68
	передаточное число количество, шт.	2
4.3.	Тормоз:	
	тип	ТЭ-80
	максимальный тормозной момент, Нм	1200

режим работы	ПВ = 40 %
диаметр тормозного шкива, мм	400
количество, шт.	4

Продолжение таблицы 1.

4.4.	Командоаппарат: тип число цепей, шт. передаточное число количество, шт.	КА426А - 5У2 6 5 2
4.5.	Открытая передача. тип модуль, мм число зубьев шестерни число зубьев венца (на полную)	Цилиндрическая прямозубая 25 39 305
5.	Вибратор: тип частота колебаний, Гц возмущающая сила, т количество, шт.	Эксцентриковый направленного действия 25 4,5 2
5.1	Электродвигатель: тип мощность, кВт частота вращения, с ⁻¹ (об/мин) режим работы	ДМ160МВ4 11 25(1500) ПВ = 40 %
6.	Конечный выключатель: тип количество, шт.	КУ-701АУ2 1
7	Момент инерции механизма	10 кг м ²

Вагонопрокидыватель состоит из ротора 1(рис. 3) платформы 2, люлек 3, привода 4, роlikоопор 5, вибраторов 6, привалочных стенок 7.

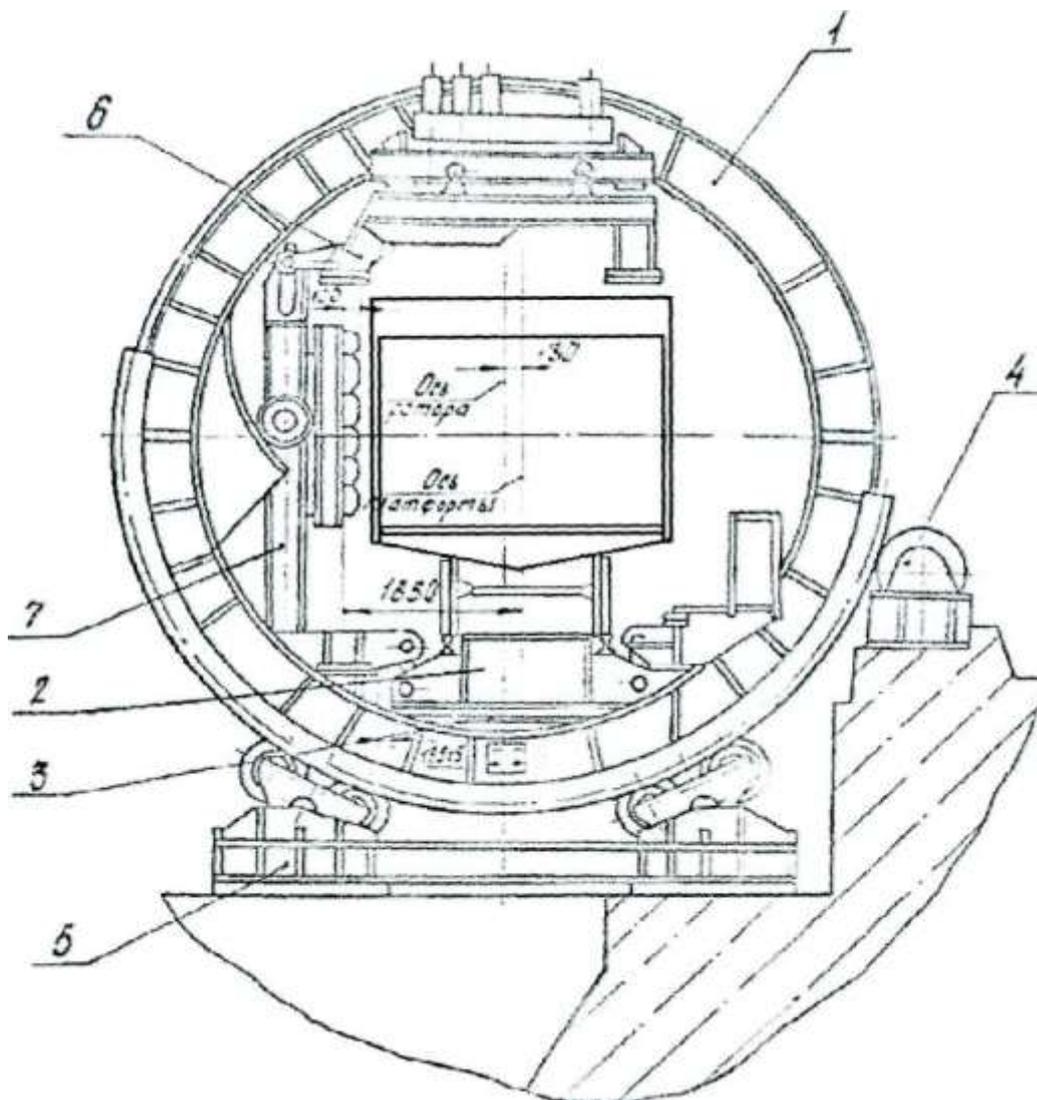


Рисунок 3 - Общий вид вагонопрокидывателя.

1) Ротор.

Ротор вагонопрокидывателя представляет собой сварную металлоконструкцию, состоящую из четырех дисков, попарно соединенных между собой продольными связями. В верхней части ротора диски соединены между собой балками, к которым при помощи шпилек и комплекта пружин подвешены рамы вибраторов. На дисках ротора установлены рассекатели и щиты предохранения роlikоопор и цапф от засыпания грузом при разгрузке

полувагонов. На каждом диске ротора крепится бандаж и зубчатый венец, которые обеспечивают поворот ротора на 179° . Крепление бандажа и венца к диску ротора осуществляется болтами. В верхней части ротора, противоположной привалочной стенке, имеется обшивка и шарнирно подвешенные щиты, способствующие локализации пыли. При работе вагоноопрокидывателя щиты прижимаются к вагону, не давая возможности пыли подняться вверх вдоль вагона.

2) Платформа.

Платформа представляет собой сварную конструкцию, подвешенную на восьми тягах к люлькам. Такая подвеска обеспечивает боковую привалку полувагонов к привалочным стенкам люлек. С целью смягчения боковой привалки полувагонов между платформой и люльками установлены пружинные буфера. Совмещение рельсов платформы с рельсами железнодорожного пути фундамента осуществляется упором боковых роликов платформы в фундамент. Для ограничения продольного перемещения платформы на торцах фундамента установлены ролики (по одному с каждого торца). Между роликами и торцовыми листами платформы имеются зазоры 5 мм. Для точной фиксации полувагон на платформе вагоноопрокидывателя со стороны подачи устанавливается тормозное устройство рычажно-пружинного действия. Вагон своей первой колесной парой входит в контакт с тормозной шиной и останавливается. После этого происходит поворот ротора и разгрузка полувагона.

3) Люльки и привалочные стенки.

В роторе установлены две люльки, каждая из которых представляет собой изогнутую рамную металлоконструкцию, состоящую из двух опорных балок и привалочной стенки. Каждая привалочная стенка состоит из рамы верхней и стенки подвижной. Крайние привалочные стенки соединены со средней стенкой шарнирно.

Для повышения сохранности полувагонов и увеличения износостойкости резиновой облицовки, привалочные стенки выполнены подвижными относительно рам верхних люлек и соединены с ними шарнирно с помощью рычагов, образующих параллелограмм. На каждой привалочной стенке имеются две цапфы, с помощью которых стенки опираются в верхней части на диски ротор. В нижней части люлька на боковых тягах подвешена к кронштейнам дисков ротора. Такая система подвески люлек обеспечивает вертикальную привалку полувагона. Для смягчения удара при возврате в исходное положение платформы с люльками на опорных балках люлек установлено восемь пружинных буферов. В исходном положении буфера находятся в сжатом состоянии, и люльки должны плотно без зазоров, опираться на все кронштейны на дисках ротора.

4)Роликоопора.

Ротор установлен на четырех роликоопорах. Каждая роликоопора состоит из рамы, к которой болтами крепится два кронштейна с закрепленными на них балансирными. На балансирах установлено по два катка, на которые опирается бандаж ротора. Продольное перемещение при его вращении ограничивается ребрами на катках крайних роликоопор. Катки оборудованы специальными скребками, обеспечивающими самоочистку катка от разгружаемого материала.

5)Привод.

Вращение ротора осуществляется двумя приводами, которые соединены с приводными шестернями посредством промежуточных валов и зубчатых муфт. Приводные шестерни установлены на подшипниках и входят в зацепление с венцами, закрепленными на дисках ротора. Крайние шестерни соединены с командоаппаратами. На каждом приводе установлен электродвигатель 4МТН 280-М10, редуктор ЦДН-630 и два тормоза ТЭ-80.

б) Вибраторы.

Вибраторы состоят из двух сварных рам - подвижной и неподвижной. Неподвижная рама подвешена к верхней балке ротора, на ней жестко закреплен вибратор направленного действия. Подвижная рама подвешена к неподвижной и соединена с направляющими на привалочных стенках кронштейнами с роликами. При опрокидывании полувагон опирается верхними обвязочными брусками на опорные балки подвижной рамы.

1.3. Технологический процесс работы комплекса

Предназначенные для разгрузки полувагоны подаются к вагоноопрокидывателю и по одному устанавливаются на его платформе. Установка полувагона на платформе и его фиксация тормозным устройством производится машинистом вагоноопрокидывателя. После установки полувагона машинист переводом рукоятки командоконтроллера включает электродвигатели механизма опрокидывания. В начальный момент при некотором повороте ротора 1 (см. на рис.3) платформа 2 с полувагоном перемещается под действием собственной массы и пружинных буферов к подвижным привалочным стенкам до полного прилегания к ним кузова полувагона. Происходит боковая привалка. Боковая привалка определяется поворотом ротора:

- с полувагоном грузоподъемностью 60 т на $19^{\circ} 51'$;
- с полувагоном грузоподъемностью 93-110 т на 16° .

При дальнейшем вращении ротора подвижная привалочная стенка с полувагоном, перемещаясь на рычагах, опирается на люльки. Вертикальный ход подвижной привалочной стенки равен ходу пружин тележек полувагонов. При повороте ротора на $48^{\circ} 30'$ положение полувагона относительно ротора не меняется, а после указанного поворота происходит перемещение люлек 3 с платформой и полувагоном до соприкосновения верхней обвязки кузова с

опорами рам вибраторов 6. Происходит вертикальная привалка полувагона. Вертикальная привалка определяется поворотом ротора:

- с полувагоном грузоподъемностью 60 т на $83\ 30'$;
- с полувагоном грузоподъемностью 93-110 т на 73° .

Дальнейшее вращение ротора происходит с полувагоном, опирающимся на рамы вибраторов. При этом платформа под действием собственной массы прижимается к колесам полувагона. При повороте ротора на $175... 179^\circ$ включаются вибраторы. Создаваемые вибраторами направленные колебания передаются кузову полувагона, способствуя высыпанию груза. Длительность очистки для различных грузов составляет $5... 10$ с. После разгрузки полувагона электродвигатели привода включаются на обратный ход, и люльки с полувагоном и платформой в обратном порядке возвращаются в исходное положение. После возврата в исходное положение порожний полувагон выталкивается из вагоноопрокидывателя, а на его место устанавливается следующий груженный полувагон. Цикл работы повторяется.



Рисунок 4 – Циклограмма ротора вагоноопрокидывателя.

2. ПРОЕКТНО-РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Выбор электродвигателя

По известной нагрузочной диаграмме электропривода, вычислим суммарный эквивалентный момент. Для проверки двигателя по нагреву воспользуемся методом эквивалентного момента [3]. В таблицах 2,3 приведены данные для построения нагрузочной диаграммы.

Таблица 2 - Данные для построения нагрузочной диаграммы при опрокидывании.

$a_{м,Гр.}$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$M_{ст,Н м}$	56,37	147,3	25,6	192,2	25,62	108,9	192,2	339,5	666,2	749,4	525,2	531	512

Таблица 3 - Данные для построения нагрузочной диаграммы при возврате.

$a_{м,Гр.}$	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
$M_{ст,НМ}$	512,4	531,7	474	390	390	288,2	160	-12,9	-121,7	-16,01	-153,7	-262,6



Рисунок 5 - Нагрузочная диаграмма двигателя

Для вычисления эквивалентного момента представим нагрузочную диаграмму момента снятую экспериментальным путем в виде ломаной и разобьем ее на элементарные участки (трапеции).

Вычислим эквивалентное значение момента каждого участка:

$$M_{\text{экв1}} = \sqrt{\frac{M_1^2 + M_1 \cdot M_2 + M_2^2}{3}} = \sqrt{\frac{56,37^2 + 56,37 \cdot 147,32 + 147,32^2}{3}} = 105,17 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{экв2}} = \sqrt{\frac{M_2^2 + M_2 \cdot M_3 + M_3^2}{3}} = \sqrt{\frac{147,32^2 + 147,32 \cdot 25,62 + 25,62^2}{3}} = 78,71 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{экв3}} = \sqrt{\frac{M_3^2 + M_3 \cdot M_4 + M_4^2}{3}} = \sqrt{\frac{25,62^2 + 25,62 \cdot 192,16 + 192,16^2}{3}} = 119,03 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{экв4}} = \sqrt{\frac{M_4^2 + M_4 \cdot M_5 + M_5^2}{3}} = \sqrt{\frac{192,16^2 + 192,16 \cdot 25,62 + 25,62^2}{3}} = 119,03 \text{ H} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эк65}} = \sqrt{\frac{M_5^2 + M_5 \cdot M_6 + M_6^2}{3}} = \sqrt{\frac{25,62^2 + 25,62 \cdot 108,89 + 108,89^2}{3}} = 71,42H \cdot m$$

$$M_{\text{эк66}} = \sqrt{\frac{M_6^2 + M_6 \cdot M_7 + M_7^2}{3}} = \sqrt{\frac{108,89^2 + 108,89 \cdot 192,16 + 192,16^2}{3}} = 152,43H \cdot m$$

$$M_{\text{эк67}} = \sqrt{\frac{M_7^2 + M_7 \cdot M_8 + M_8^2}{3}} = \sqrt{\frac{192,16^2 + 192,16 \cdot 339,49 + 339,49^2}{3}} = 269,20H \cdot m$$

$$M_{\text{эк68}} = \sqrt{\frac{M_8^2 + M_8 \cdot M_9 + M_9^2}{3}} = \sqrt{\frac{339,49^2 + 339,49 \cdot 666,16 + 666,16^2}{3}} = 511,6H \cdot m$$

$$M_{\text{эк69}} = \sqrt{\frac{M_9^2 + M_9 \cdot M_{10} + M_{10}^2}{3}} = \sqrt{\frac{666,16^2 + 666,16 \cdot 749,43 + 749,43^2}{3}} = 708,42H \cdot m$$

$$M_{\text{эк610}} = \sqrt{\frac{M_{10}^2 + M_{10} \cdot M_{11} + M_{11}^2}{3}} = \sqrt{\frac{749,43^2 + 749,43 \cdot 525,24 + 525,24^2}{3}} = 640,61H \cdot m$$

$$M_{\text{эк611}} = \sqrt{\frac{M_{11}^2 + M_{11} \cdot M_{12} + M_{12}^2}{3}} = \sqrt{\frac{525,24^2 + 525,24 \cdot 531,65 + 531,65^2}{3}} = 528,45H \cdot m$$

$$M_{\text{эк612}} = \sqrt{\frac{M_{12}^2 + M_{12} \cdot M_{13} + M_{13}^2}{3}} = \sqrt{\frac{531,65^2 + 531,65 \cdot 512,43 + 512,43^2}{3}} = 522,07H \cdot m$$

$$M_{\text{эк613}} = \sqrt{\frac{M_{13}^2 + M_{13} \cdot M_{14} + M_{14}^2}{3}} = \sqrt{\frac{512^2 + 512 \cdot 512 + 512^2}{3}} = 512H \cdot m$$

$$M_{\text{эк614}} = \sqrt{\frac{M_{14}^2 + M_{14} \cdot M_{15} + M_{15}^2}{3}} = \sqrt{\frac{512^2 + 512 \cdot 531,65 + 531,65^2}{3}} = 522,07H \cdot m$$

$$M_{\text{эк615}} = \sqrt{\frac{M_{15}^2 + M_{15} \cdot M_{16} + M_{16}^2}{3}} = \sqrt{\frac{531,69^2 + 531,69 \cdot 531,69 + 531,69^2}{3}} = 531,69H \cdot m$$

$$M_{\text{эк616}} = \sqrt{\frac{M_{16}^2 + M_{16} \cdot M_{17} + M_{17}^2}{3}} = \sqrt{\frac{531,69^2 + 531,69 \cdot 474 + 474^2}{3}} = 503,12H \cdot m$$

$$M_{\text{экв}17} = \sqrt{\frac{M_{17}^2 + M_{17} \cdot M_{18} + M_{18}^2}{3}} = \sqrt{\frac{474^2 + 474 \cdot 390,73 + 390,73^2}{3}} = 433,03H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}18} = \sqrt{\frac{M_{18}^2 + M_{18} \cdot M_{19} + M_{19}^2}{3}} = \sqrt{\frac{390,73^2 + 390,73 \cdot 288,24 + 288,24^2}{3}} = 227,21H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}19} = \sqrt{\frac{M_{19}^2 + M_{19} \cdot M_{20} + M_{20}^2}{3}} = \sqrt{\frac{288,24^2 + 288,24 \cdot 160,13 + 160,13^2}{3}} = 227,21H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}20} = \sqrt{\frac{M_{20}^2 + M_{20} \cdot M_{21} + M_{21}^2}{3}} = \sqrt{\frac{160,13^2 + 160,13 \cdot 12,81 + 12,81^2}{3}} = 96,36H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}21} = \sqrt{\frac{M_{21}^2 + M_{21} \cdot M_{22} + M_{22}^2}{3}} = \sqrt{\frac{12,81^2 + 12,81 \cdot 121,7 + 121,7^2}{3}} = 66,87H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}22} = \sqrt{\frac{M_{22}^2 + M_{22} \cdot M_{23} + M_{23}^2}{3}} = \sqrt{\frac{121,7^2 + 121,7 \cdot 16,01 + 16,01^2}{3}} = 75,31H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}23} = \sqrt{\frac{M_{23}^2 + M_{23} \cdot M_{24} + M_{24}^2}{3}} = \sqrt{\frac{16,01^2 + 16,01 \cdot 153,73 + 153,73^2}{3}} = 93,72H \cdot м$$

$$M_{\text{экв}24} = \sqrt{\frac{M_{24}^2 + M_{24} \cdot M_{25} + M_{25}^2}{3}} = \sqrt{\frac{153,73^2 + 153,73 \cdot 262,62 + 262,62^2}{3}} = 210,53H \cdot м$$

Суммарный эквивалентный момент:

$$M_{\text{сумм. экв}} = \sqrt{\frac{\sum (M_{\text{экв}i})^2 \cdot \alpha_i}{\sum \alpha_i}} = 359H \cdot м \quad (1)$$

Скорость вращения ротора вагоноопрокидывателя исходя из требований [1]:

$$n_p = 1,4 \text{ об/мин}$$

Поэтому скорость вращения ротора двигателя:

$$n_{\partial\delta} = n_p \times i_n \quad (2)$$

где: $i_p = 631,5$ - общее передаточное отношение редуктора и открытой пары;

$$n_{\partial\delta} = 1,4 \cdot 631,5 = 884,1 \text{ об/мин}$$

Расчётная мощность двигателя:

$$P_{\text{расч}} = M_{\text{экв.сумм.}} \cdot \omega, \quad (3)$$

Где

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\partial\delta}}{30} = \frac{884,1 \cdot \pi}{30} = 92,54 \text{ рад/с},$$

$$P_{\text{расч}} = 359 \cdot 92,54 = 33,22 \text{ кВт},$$

Так как система является двухдвигательной то мощность каждого двигателя:

$$P = \frac{P_{\text{расч}}}{2} = \frac{33,22}{2} = 16,61 \text{ кВт},$$

Исходя из расчетной мощности выбираем ближайший больший по мощности короткозамкнутый асинхронный двигатель МТКН 411-6.

2.1.2 Справочные параметры электродвигателя

Паспортные данные приводного электродвигателя приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Паспортные данные электродвигателя

Типо- размер	n_0 , об/мин	$U_{ш}$, В	$P_{дв.н}$ кВт	При номинальной нагрузке		
				s_H , %	$\cos\varphi_H$	η , %
МТКН 411-6	1000	380	22	6,5	0.8	0.87
$m_{II} = \frac{M_{ПУСК}}{M_H}$	$m_K = \frac{M_{МАКС}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{МИН}}{M_H}$	$k_{ДВ} = \frac{I_{ПУСК}}{I_H}$	Степень защиты		
2.3	3.3	1	7.0	IP54		

2.1.3 Определение дополнительных параметров двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальная скорость вращения двигателя

$$n_{дв.н} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0.065) \cdot 1000 = 935 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$\omega_{дв.н} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0.065) \cdot 104.72 = 97.913 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}} = \frac{22 \cdot 10^3}{97.913} = 224.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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.

$$U_{1\phi H} = \frac{U_{1ЛH}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\phi H} = I_{ЛH} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\phi H} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0.87 \cdot 0.8} = 47.89 \text{ А}.$$

Примечание:

$I_{1ЛH}$ – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{МАКС} = k_{ДВ} I_{ЛH} = 7 \cdot 47.89 = 335.23 \text{ А}.$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_K = m_k \cdot M_{ДВ.H} = 3.3 \cdot 224.689 = 755.494 \text{ Нм}.$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{ДВ.ПУСК} = m_{П} \cdot M_{ДВ.H} = 2.3 \cdot 224.689 = 516.78 \text{ Нм}.$$

2.1.4 Определение параметров схемы замещения

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке

2.2. Рассчитаем параметры схемы замещения по методике, изложенной в [3].

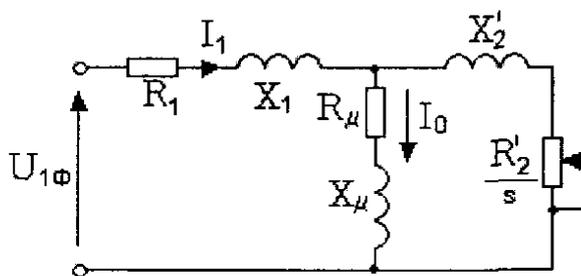


Рисунок 6 - Схема замещения асинхронного двигателя

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

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

$$= 0.065 \cdot \frac{3.3 + \sqrt{3.3^2 - [1 - 2 \cdot 0.065 \cdot 1 \cdot (3.3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.065 \cdot 1 \cdot (3.3 - 1)} = 0.602$$

Значение коэффициента β в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{доб}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{12.677}{2 \cdot 7 \cdot 47,89} = 1,021 - \text{расчетный коэффициент}$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R'_2 = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{доб}} \cdot c_1 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.065)}{2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 22000 \cdot 1.021 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.602} \right)} = 0.337 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R'_2 \cdot c_1 \cdot \beta = 0.337 \cdot 1.021 \cdot 1 = 0,344 \text{ Ом}.$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k} \right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.602} \right)^2 - 1^2} = 1.327 - \text{коэффициент, характеризующий}$$

соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot R'_2 \cdot c_1 = 1,327 \cdot 0,337 \cdot 1,021 = 0,457 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 0.42 \cdot 0,457 = 0,192 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi f_{1H}} = \frac{0,192}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00061 \text{ Гн}.$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{1\sigma}}{c_1} = 0,58 \cdot \frac{0,192}{1,021} = 0.259 \text{ Ом}.$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2\pi f_{1H}} = \frac{0.59}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00083 \text{ Гн}.$$

ЭДС цепи намагничивания

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1\Phi H} \cdot R_1)^2 - (U_{1\Phi H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1\Phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} = 201.317 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{201.317}{12.677} = 15.878 \text{ Ом}.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2\pi f_{1H}} = \frac{15.878}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.051 \text{ Гн}$$

2.1.5 Расчет параметров двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток:

-статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,00061 + 0,051 = 0.05161 \text{ Гн},$$

-ротора

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,00083 + 0,051 = 0,05183 \text{ Гн},$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} = 1 - \frac{0,051^2}{0,05161 \cdot 0,05183} = 0.03,$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2' \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,344 + 0,337 \frac{0,051^2}{0,05183^2} = 0,67 \text{ Ом},$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\text{э}} = \frac{\sigma L_1}{R_{\text{э}}} = \frac{0,03 \cdot 0,05161}{0,67} = 0.002 \text{ с},$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,05183}{0,337} = 0.14 \text{ с},$$

2.1.6 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

Находятся значения номинального потокосцепления ротора через номинальный электромагнитный момент и расчетные параметры двигателя

$$\Psi_{2H(1)} = \frac{M_{\text{эм.н}}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma}')} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2}}, \text{ Вб};$$

$$\Psi_{2H(2)} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m, \text{ Вб}.$$

Должно выполняться условие

$$\Psi_{2H(1)} \approx \Psi_{2H(2)}.$$

Значение номинального потокосцепления ротора через номинальный электромагнитный момент

$$\Psi_{2H(1)} = \frac{M^*_{эм.н}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2}} =$$

$$= \frac{247.17}{\frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0.051}{(0.051 + 0.00083)} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{47.89^2 - 13.89^2}} = 0.89 \text{ Вб},$$

где $M^*_{эм.н} = (1.05 - 1.1) \cdot M_{дв.н} = 1.1 \cdot 224.7 = 247.17 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Значение номинального потокосцепления ротора через расчетные параметры двигателя

$$\Psi_{2H(2)} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 13.89 \cdot 0.051 = 0.9 \text{ Вб}.$$

Рассчитаем $\Delta\Psi$ - разницу между двумя значениями номинальных потокосцеплений

$$\Delta\Psi = \Psi_{2H(2)} - \Psi_{2H(1)} = 0.9 - 0.89 = 0.01 \text{ Вб}.$$

Условие $\Psi_{2H(1)} \approx \Psi_{2H(2)}$ выполняется, что говорит о правильности определения параметров схемы замещения.

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	X_μ , Ом	L_m , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, мГн	X_{KH} , Ом
0.344	0.192	0.61	15.878	0.051	0.337	0.259	0.83	0.457

2.1.7 Расчет естественных характеристик двигателя

Естественная механическая характеристика $M=f(s)$ рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ по выражению

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

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

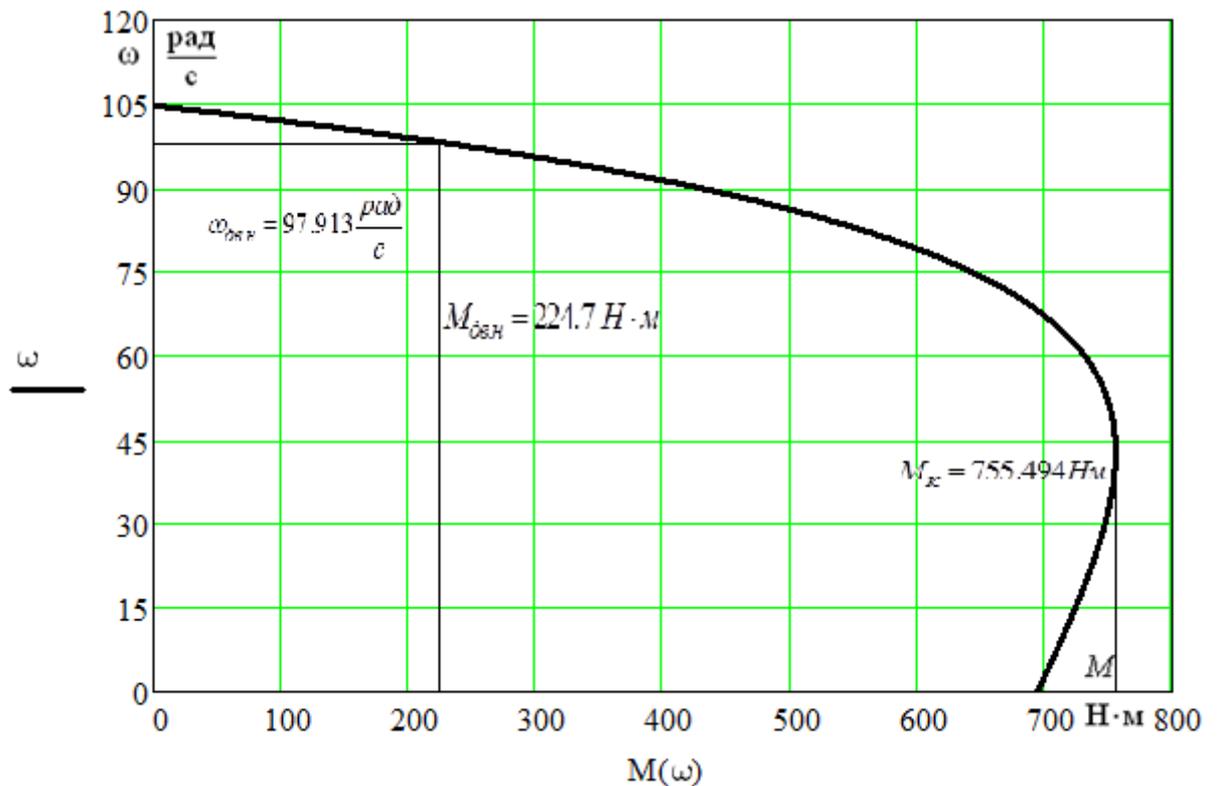


Рисунок 7 – Механическая характеристика электродвигателя $M=f(\omega)$

Электро-механическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ 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

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi_H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}};$$

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

Номинальное значение тока статора

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

$$= \sqrt{12.677^2 + 39.499^2 + 2 \cdot 12.677 \cdot 39.499 \cdot 0.081} = 42.451 \text{ A},$$

где

$$I_2'(s_H) = \frac{U_{1\phi_H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu})^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{(0.345 + \frac{0.338}{0.065})^2 + (0.457)^2 + (\frac{0.345 \cdot 0.338}{0.065 \cdot 15.878})^2}} = 39.499 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s_H) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{0.457}{\sqrt{(0.345 + \frac{0.338}{0.065})^2 + (.457)^2}} = 0.081.$$

По результатам расчета строится электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$. Электромеханическая характеристика приведена на рисунке 2.4.

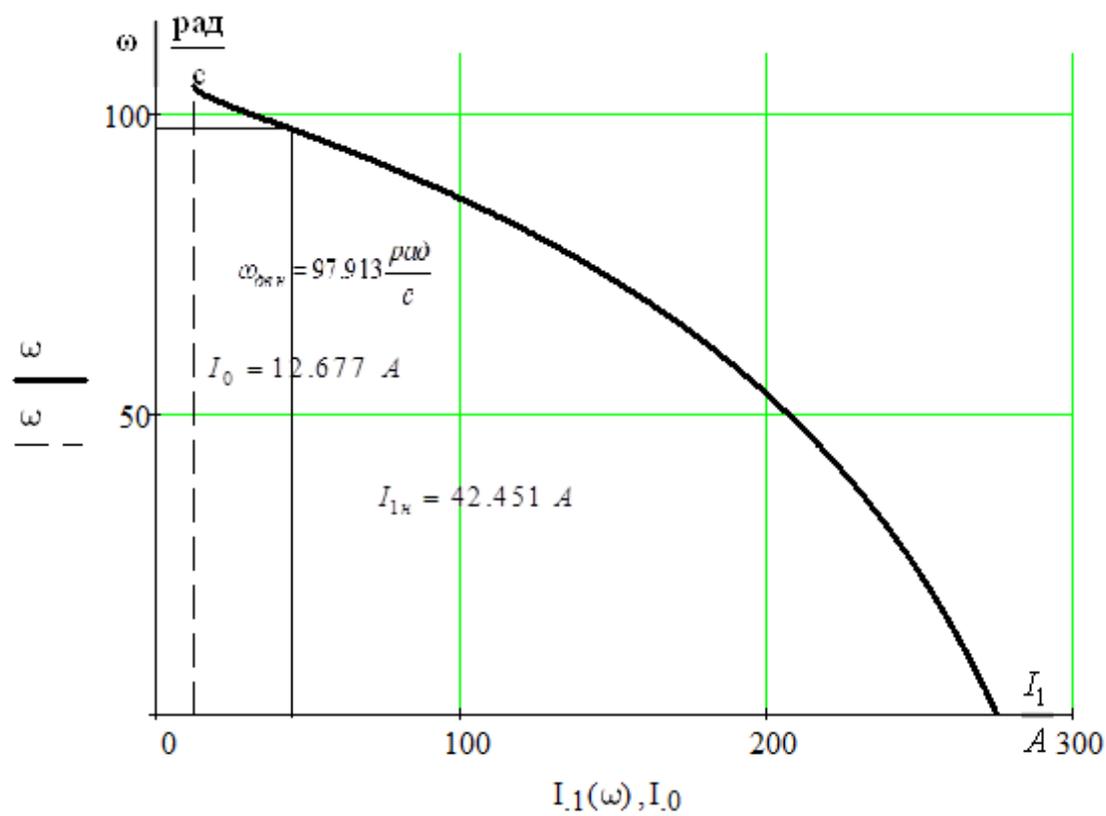


Рисунок 8 – Естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$

2.1.8 Проверка обеспечения заданной области работы

1. В плоскости механической характеристики $\omega = f(M)$ (рисунок 2.5) наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы:

$$M_{с.мин} = M_{с.дв} + \Delta M_{с.пост} = 7.97 + 2.42 = 10.39 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{с.макс} = M_{с.дв} + \Delta M_{с.пост} + M_{с.прив} = 7.97 + 2.42 + 45.98 = 56.37 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{эп.макс} = M_{с.дв} + \Delta M_{с.пост} + 2 \cdot M_{с.прив} = 7.97 + 2.42 + 2 \cdot 45.98 = 102.35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. В плоскости электромеханической характеристики $\omega = f(I_1)$ рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого тока электродвигателя $I_{дв.длит.доп}(\omega)$ в зоне работы с номинальным потоком ($f_{II} \leq f_{IH}$). Так как приводной двигатель с самовентиляцией, то принимаем значение коэффициента $k = 0.5$.

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{дв.н} \cdot \left(0.5 + \frac{\omega}{\omega_{дв.н}}\right) \text{ при } \omega \leq 0.5 \cdot \omega_{дв.н};$$

$$I_{дв.длит.доп}(\omega) = I_{дв.н} \text{ при } 0.5 \cdot \omega_{дв.н} < \omega \leq \omega_{дв.н};$$

$$I_{дв.длит.доп} = I_{дв.н} = 42.451 \text{ А при } 0.5 \cdot \omega_{дв.н} < \omega \leq \omega_{дв.н}.$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2.3.

Таблица 6 – Результаты расчета зависимости $I_{дв.длит.доп}(\omega)$

$\omega, \text{ рад/с}$	0	$\omega_{эп.мин}$	$0.5\omega_{дв.н}$	$\omega_{дв.н}$	$\omega_{эп.макс}$
$I_{дв.длит.доп}, \text{ А}$	21.2	29.7	42.45	42.45	42.45

3. В плоскости механической характеристики $\omega = f(M)$ (рисунок 2.5) Рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого момента электродвигателя $M_{дв.длит.доп}(\omega)$ при работе в первой зоне с номинальным потоком ($f_{II} \leq f_{IH}, \omega \leq \omega_{дв.н}$)

$$M_{дв.длит.доп}(\omega) = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_m + L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{дв.длит.доп}^2(\omega) - I_0^2},$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2.4 и приведены на рисунке 2.5.

Таблица 7– Результаты расчета зависимости $M_{\text{дв.длит.дон}} = f(\omega)$

$\omega, \text{ рад / с}$	0	$\omega_{\text{эп.мин}}$	$0.5\omega_{\text{дв.н}}$	$\omega_{\text{дв.н}}$	$\omega_{\text{эп.макс}}$
$M_{\text{дв.длит.дон}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	96.17	152	229.3	229.3	229.3

4. Рассчитаем и построим зависимость $I_{\text{с.макс}}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{\text{с.макс}}(\omega) = 56.37 \text{ Н} \cdot \text{ м}$. Для этого необходимо на естественной характеристике $M(\omega)$ определить соответствующее $M_{\text{с.макс}}$ значение скольжения $s_{I_{\text{с.макс}}}$, решив относительно s уравнение

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

и далее рассчитать значение тока $I_{\text{с.макс}} \Big|_{f_{\text{н}}=f_{1\text{н}}}$ и скорости

$$\omega_{I_{\text{с.макс}}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{I_{\text{с.макс}}}).$$

Зависимость $I_{\text{с.макс}}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{\text{с.макс}}(\omega) = I_{\text{с.макс}} \Big|_{f_{\text{н}}=f_{1\text{н}}} \text{ при } \omega \leq \omega_{I_{\text{с.макс}}};$$

$$I_{\text{с.макс}}(\omega) = I_{\text{с.макс}} \Big|_{f_{\text{н}}=f_{1\text{н}}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{I_{\text{с.макс}}}} \text{ при } \omega > \omega_{I_{\text{с.макс}}}.$$

Решив уравнение относительно s , получаем $s = 0.014$.

Тогда $\omega_{I_{\text{с.макс}}} = 157 \cdot (1 - 0.014) = 103.23 \text{ рад / с}$.

$$I_{\text{с.макс}}(\omega_{I_{\text{с.макс}}}) = 15.67 \text{ А}.$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2.5 и приведены на рисунке 2.6.

Таблица 8 – Результаты расчета зависимости $I_{\text{с.макс}}(\omega)$

$\omega, \text{ рад / с}$	$\omega_{\text{эп.мин}}$	$\omega_{I_{\text{с.макс}}}$	$\omega_{\text{эп.макс}}$
$I_{\text{с.макс}}, \text{ А}$	15.67	15.67	15.67

5. Рассчитаем и построим зависимость $I_{\text{эп.макс}}(\omega)$, соответствующая кратковременной максимальной нагрузке $M_{\text{эп.макс}}(\omega) = \text{const}$. Для этого необходимо на естественной характеристике $M(\omega)$ определить соответствующее $M_{\text{эп.макс}} = 102.35 \text{ Н} \cdot \text{м}$ значение скольжения $s_{\text{м.эп.макс}}$, решив относительно s уравнение

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

и далее рассчитать значение тока $I_{\text{эп.макс}}(\omega)$ по выражениям

$$I_{\text{эп.макс}}(\omega) = I_{\text{эп.макс}}(\omega) \Big|_{f_{\text{н}}=f_{1\text{н}}} \text{ при } \omega \leq \omega_{\text{м.эп.макс}};$$

$$I_{\text{эп.макс}}(\omega) = I_{\text{эп.макс}}(\omega) \Big|_{f_{\text{н}}=f_{1\text{н}}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{\text{м.эп.макс}}} \text{ при } \omega > \omega_{\text{Т14}}.$$

и значение скорости $\omega_{\text{с}_{\text{м.эп.макс}}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{м.эп.макс}})$

Решив уравнение относительно s , получаем $s = s_{\text{м.эп.макс}} = 0.026$.

Тогда $\omega_{\text{м.эп.макс}} = 104.72 \cdot (1 - 0.026) = 102 \text{ рад} / \text{с}$.

$$I_{\text{эп.макс}}(\omega_{\text{м.эп.макс}}) = 21 \text{ А}.$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2.6 и приведены на рисунке 2.6.

Таблица 9 – Результаты расчета зависимости $I_{\text{эп.макс}}(\omega)$

$\omega, \text{ рад} / \text{с}$	$\omega_{\text{эп.мин}}$	$\omega_{\text{м.эп}}$	$\omega_{\text{эп макс}}$
$I_{\text{эп.макс}}, \text{ А}$	21	21	21

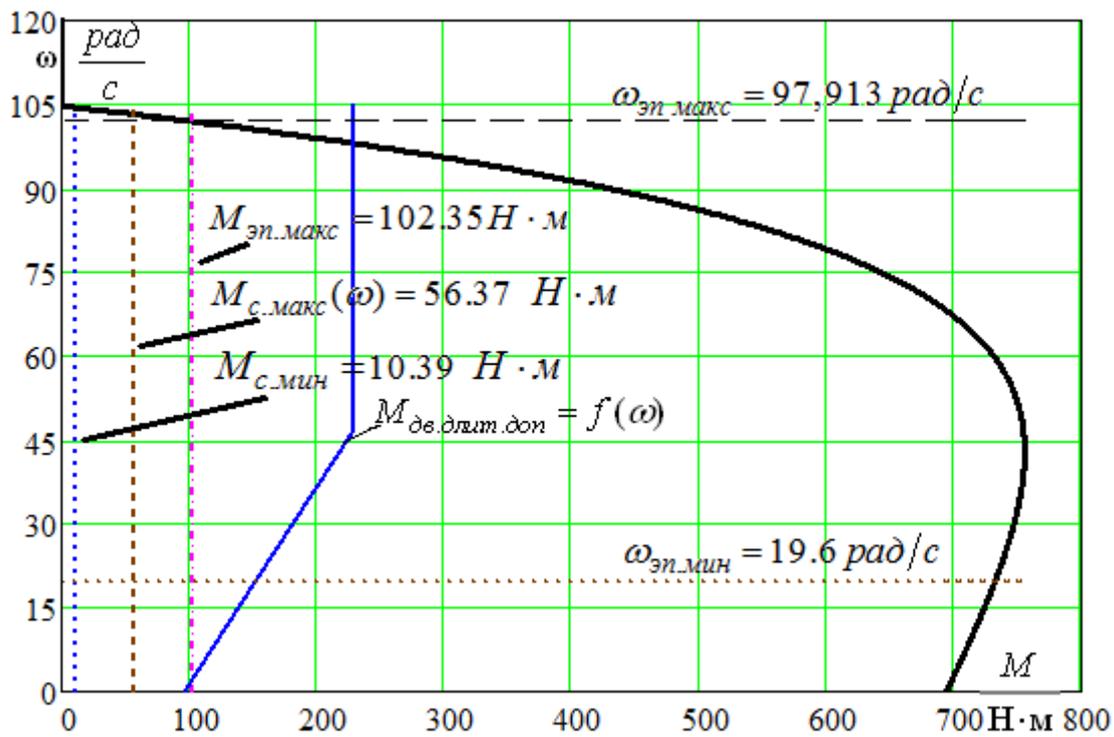


Рисунок 9 – Естественная механическая характеристика двигателя с учётом области работы электропривода

По результатам построения механических характеристик проверим правильность выбора двигателя по моменту. Во всём диапазоне работы электропривода должны выполняться следующие условия:

$$\begin{array}{l}
 M_{\text{дв.длит.дон}}(\omega) \geq M_{\text{с.макс}} \\
 M_{\text{дв.макс}} \geq M_{\text{эл.макс}}
 \end{array}
 \quad \text{имеем} \quad
 \begin{array}{l}
 229.3 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 56.37 \text{ Н} \cdot \text{м} \\
 232.67 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 102.35 \text{ Н} \cdot \text{м}
 \end{array}$$

Из рисунка 2.5 видно, что все условия выполняются, следовательно, по моменту двигатель выбран правильно.

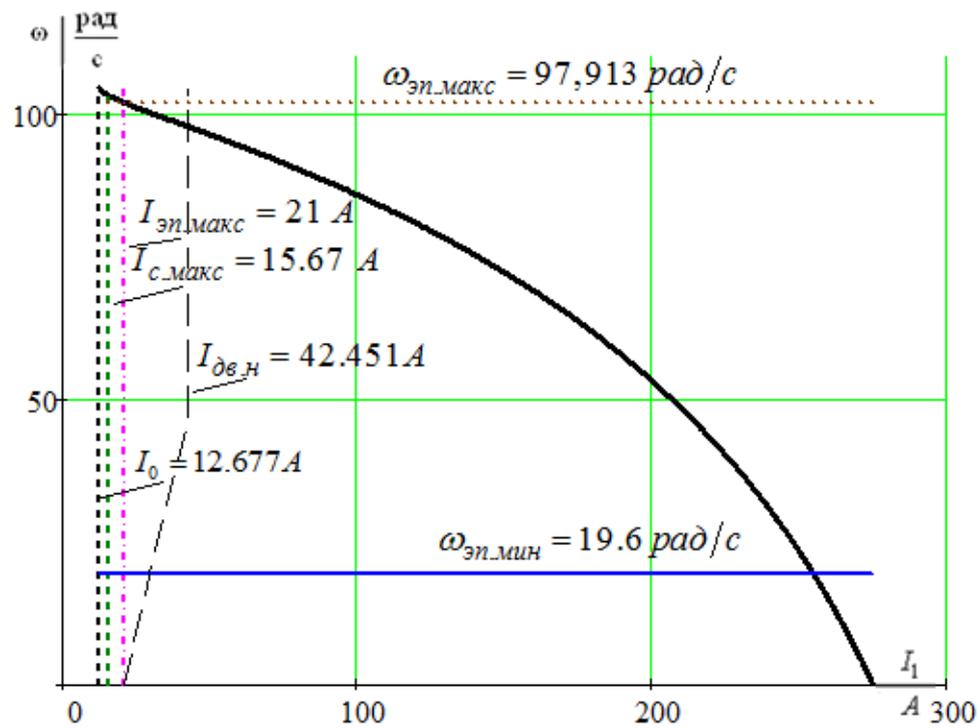


Рисунок 10 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя с учётом области работы электропривода

По результатам построения электромеханических характеристик проверим правильность выбора двигателя по току. Во всём диапазоне работы электропривода должно выполняться следующее условие:

$$I_{\text{дв.длит.дон}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}} \text{ имеем } 42.45 \text{ A} \geq 21 \text{ A} .$$

Из рисунка 2.6 видно, что условие выполняются, следовательно, по току двигатель выбран правильно.

2.2 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

1. В электромеханические действующей попарно установке – привод с распространение асинхронными замещения электродвигателями среды с фазным гидравлическими ротором.

2. Основными недостатками существующей системы электропривода являются не обеспечение требуемых динамических и статических показателей, повышенное энергопотребление. При опрокидывании вагонов с использованием данной системы происходит образование в механических элементах значительных динамических нагрузок. Частотно-регулируемый электропривод позволит снизить нагрузку в механической части установки, повысить энергоэффективность и автоматизировать технологический процесс.

3. Для моделирования прямого включения электродвигателя в сеть применим модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат статора α, β . [4]

2.3 Выбор преобразователя частоты

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 должна удовлетворять

условию
$$f_{n \text{ макс}} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_k)} = 50 \cdot \frac{97,913}{104,7 \cdot (1 - 0.602)} = 117,5 \text{ Гц} .$$

- минимальная выходная частота преобразователя должна удовлетворять условию

$$f_{n \text{ мин}} \leq 50 \cdot \frac{\omega_{\text{эп.мин}}}{\omega_0} \leq 50 \cdot \frac{19,6}{104,7} \leq 9,36 \text{ Гц} .$$

3. Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{и \text{ макс}} = I_{ин} \cdot k_{iu}$, где k_{iu} – коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:

$$I_{ин} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{с.эп}}{M_{эм.н}} \geq 42.45 \cdot \frac{56,37}{224,7} \geq 10,65 \text{ А} ;$$

$$I_{и \text{ макс}} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{\text{эп.макс}}}{M_{эм.н}} \geq 42.45 \cdot \frac{102,35}{224,7} \geq 19.3 \text{ А} .$$

Принимаем способ управления – векторное без датчика скорости, диапазон регулирования 20. Согласно выбранному способу управления выбираем преобразователь с возможностью векторного управления.

Выберем преобразователь частоты фирмы SIEMENS SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control блочного исполнения серии 6SE70.

2.3.1 Параметры преобразователя частоты

В соответствии с рекомендациями фирмы-производителя [5] преобразователь выбираем по базовому току нагрузки и току перегрузки:

$$I_{с.макс} \leq I_{базовый.пч},$$

$$I_{эп.макс} \leq I_{и.макс}.$$

Кроме приведенных выше условий при выборе преобразователя должно быть принято во внимание следующее обстоятельство: время пуска и торможения при максимальном токе преобразователя не должно превышать 30с, так как в противном случае сработает защита преобразователя и привод отключится.

Так как механизм обладает значительным моментом инерции, что приводит к затягиванию времени работы в режимах пуска и торможения, преобразователь должен обеспечить создание большого динамического момента с целью сокращения времени пуска и торможения. То есть ПЧ в данном случае нужно выбирать не только по максимальной нагрузке, но и с учетом динамических свойств электропривода.

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Параметры преобразователя частоты

Типоразмер	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт	Номинальный выходной ток, А	Базовый ток нагрузки, А	Ток перегрузки, А
7024	22	47	42.8	64
Номинальный ток звена постоянного тока, А	Потребляемый ток, А	Потери при 2.5 кГц, кВт	Примерный вес, кг	
53.9	51.7	0.71	35	

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{ш\text{им}} = 8$ кГц.

2.4 Система «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Функциональная схема электропривода «преобразователь частоты – асинхронный двигатель», реализующая различные законы управления класса $U_1 / f_1^n = const$, приведена на рис. 11.

Основными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются: M – асинхронный двигатель; ПЧ – преобразователь частоты; ПКП – прямой координатный преобразователь; ПЧН – преобразователь «частота - напряжение»; ЗИ – задатчик интенсивности; ДТА, ДТС – датчики тока двигателя; элемент сравнения допустимого максимального $I_{13\max}$ и фактического значения действующего фазного тока двигателя I_{10c} ; ФТС – формирователь тока статора.

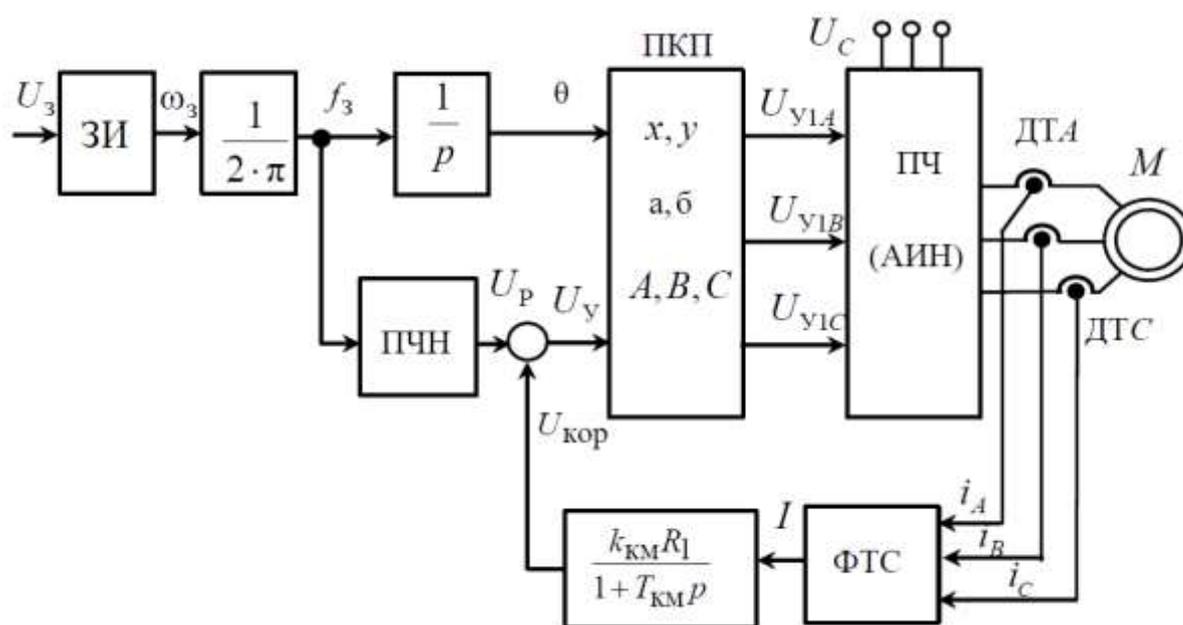


Рисунок 11 – Функциональная схема скалярной системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

В массовом регулируемом асинхронном электроприводе общепромышленного назначения наибольшее распространение получили преобразователи частоты ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока, построенные по схеме неуправляемый выпрямитель – инвертор напряжения. Инвертор напряжения выполняется на $IGBT$ -транзисторах. Так как $IGBT$ -

транзисторы переключаются при больших частотах, то форма тока, протекающего через обмотки двигателя M близка к синусоидальной.

2.5 Электромеханические и механические частотные характеристики

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50;30;20;8,8$ Гц. Выбираем частотный закон управления $\frac{U_1}{f_1} = const$ для механизма поворота ротора вагоноопрокидывателя. Механизмы поворота относятся к механизмам с реактивной нагрузкой.

При построении частотных характеристик системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» были учтены потери напряжения на диодах выпрямительного моста $U_{VD} = 1$, на $IGBT$ -транзисторах инвертора напряжения $U_{VT} \approx 1,5$.

Также было учтено активное сопротивление кабеля, соединяющего обмотки статора асинхронного двигателя и преобразователя частоты:

$$R_{\text{доб}} = R_{\text{уд}} \cdot L_{\text{каб}} \cdot 10^{-3} = 3,09 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,077 \text{ Ом}; \quad 2.1$$

где $R_{\text{уд}}$ - удельное сопротивление медного кабеля сечением 6 мм², мОм/м;

$L_{\text{каб}}$ - длина кабеля от преобразователя частоты до электродвигателя, м.

При синусоидальной ШИМ модуляции присутствуют только действующие фазные значения первой гармоники выходного напряжения инвертора при частоте выходного напряжения 50 Гц, равные:

$$U_{1\phi} = \frac{U_d}{2 \cdot \sqrt{2}} = 181,37 \text{ В}; \quad 2.2$$

где $U_d = 513$ В - напряжение в звене постоянного тока, В.

Исследования показывают, что при значении величины напряжения всего в $U_{1\phi} = 181,37$ В происходит недоиспользование двигателя по моменту на 14,3%. На практике простейшим способом повышения критического момента асинхронного электропривода при его разработке является введение в сигнал управления инвертором U_{y1A} , U_{y1B} , U_{y1C} (рис. 1) третьей гармоники. Напряжение каждой фазы при номинальной частоте, в этом случае, увеличивается с $U_{1\phi} = 181,37$ В до $U_{1\phi1} = 209,3$ В, а третья гармоника напряжения момента не создает [2].

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50;30;20;8,8$ Гц. При законе регулирования:

$$Z_p = \frac{U_{1н}}{f_{1н}} = \frac{209,3}{50} = 4,186. \quad 2.3$$

Минимальная частота работы электропривода :

$$f_{мин} = \frac{n_{мин} \cdot p}{60} = \frac{176,8 \cdot 3}{60} = 8,8 \text{ Гц};$$

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{- при } f_{1н1}=50 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж1} = \frac{f_{1н1}}{f_{1н}} = \frac{50}{50} = 1; \quad 2.4$$

$$\text{- при } f_{1н2}=30 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж2} = \frac{f_{1н2}}{f_{1н}} = \frac{30}{50} = 0,6; \quad 2.5$$

$$\text{- при } f_{1н3}=20 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж3} = \frac{f_{1н3}}{f_{1н}} = \frac{20}{50} = 0,4; \quad 2.6$$

$$\text{- при } f_{1н4}=8,8 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж3} = \frac{f_{1н3}}{f_{1н}} = \frac{8,8}{50} = 0,1768. \quad 2.7$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1} = 4,186 \cdot 50 = 209,3 \text{ В.} \quad 2.8$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2} = 4,186 \cdot 30 = 125,58 \text{ В.} \quad 2.9$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H} = 4,186 \cdot 20 = 83,72 \text{ В.} \quad 2.10$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2} = 4,168 \cdot 8.8 = 37 \text{ В.} \quad 2.11$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с.} \quad 2.12$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{3} = 62,83 \text{ рад/с.} \quad 2.13$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{3} = 41,8 \text{ рад/с.} \quad 2.14$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8.8}{3} = 18.514 \text{ рад/с.} \quad 2.15$$

Построим вольт-частотную характеристику для закона регулирования $\frac{U_1}{f_1} = const$ (рис.12.).

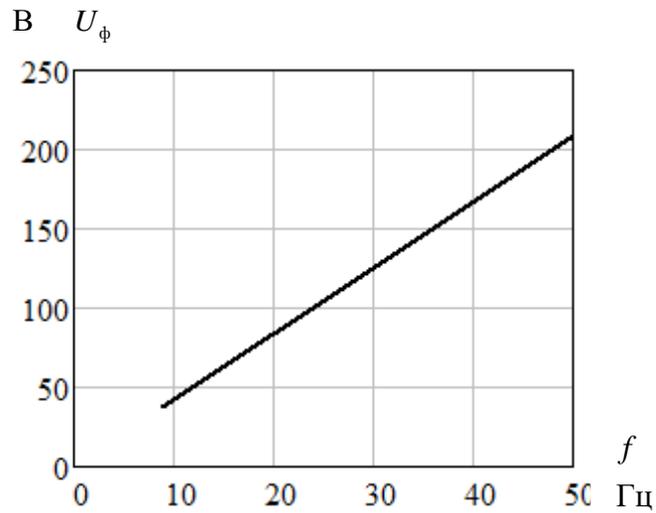


Рисунок 12 – Вольт-частотная характеристика при $\frac{U_1}{f_1} = const$

Строим электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_2^1(s, f) = \frac{U_{1H}(f) - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT}}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж}^2(f) + \left(\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж}(f)}\right)^2}}, \quad 2.16$$

также, в одних осях, строим естественную электромеханическую характеристику по выражению:

$$I_2^1(s) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}}, \quad 2.17$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

рад/с ω

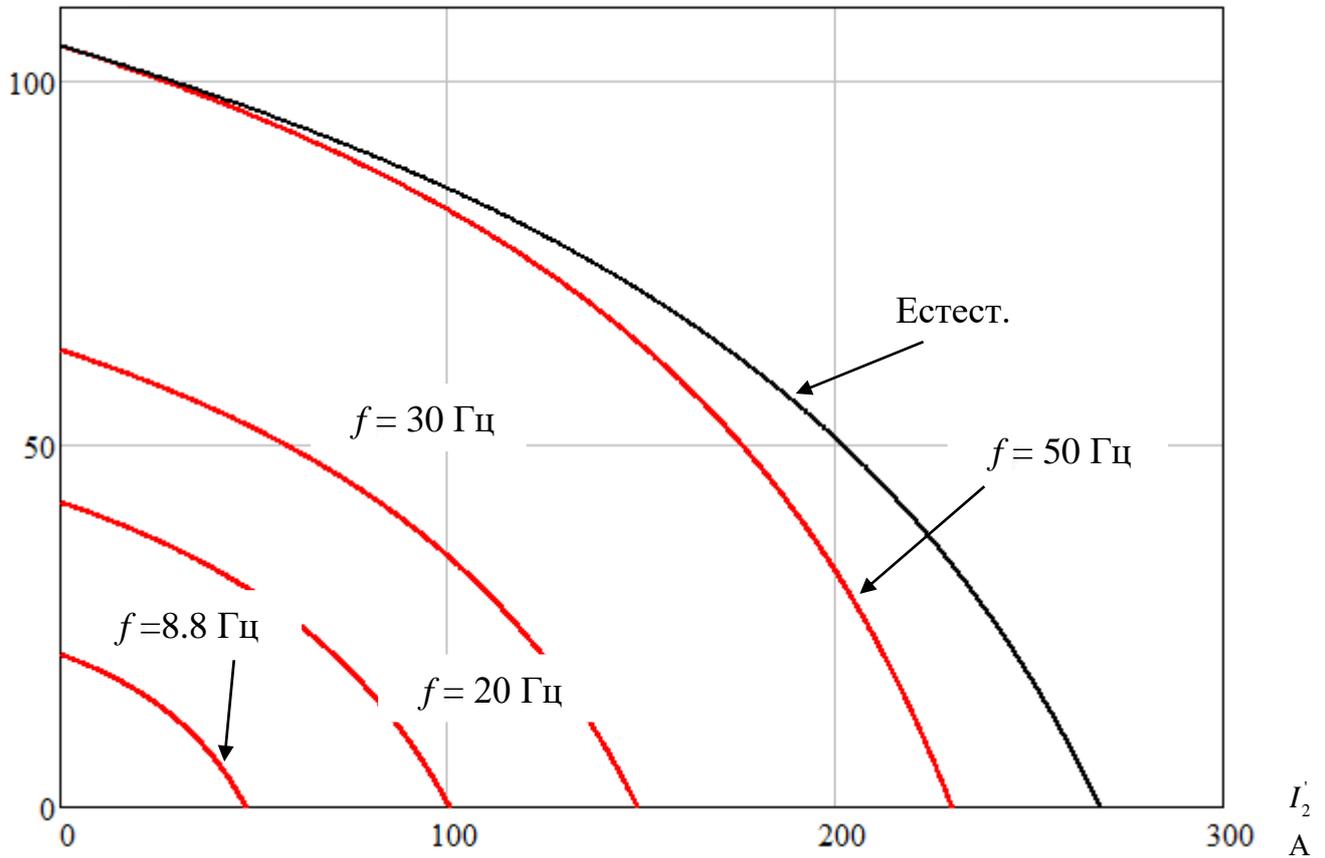


Рисунок 13 – Электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$

Строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{I_0^2 + (I_2^1(s, f))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^1(s, f) \cdot \sin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1\text{ж}}(f)}{\sqrt{(R_1 + R_{1\text{доб}} + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\text{ж}}^2(f)}} \right]}, \quad 2.18$$

также, в одних осях, строим естественную электромеханическую характеристику по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + (I_2^1(s))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^1(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{\text{кн}}^2}} \right]}, \quad 2.19$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

рад/с ω

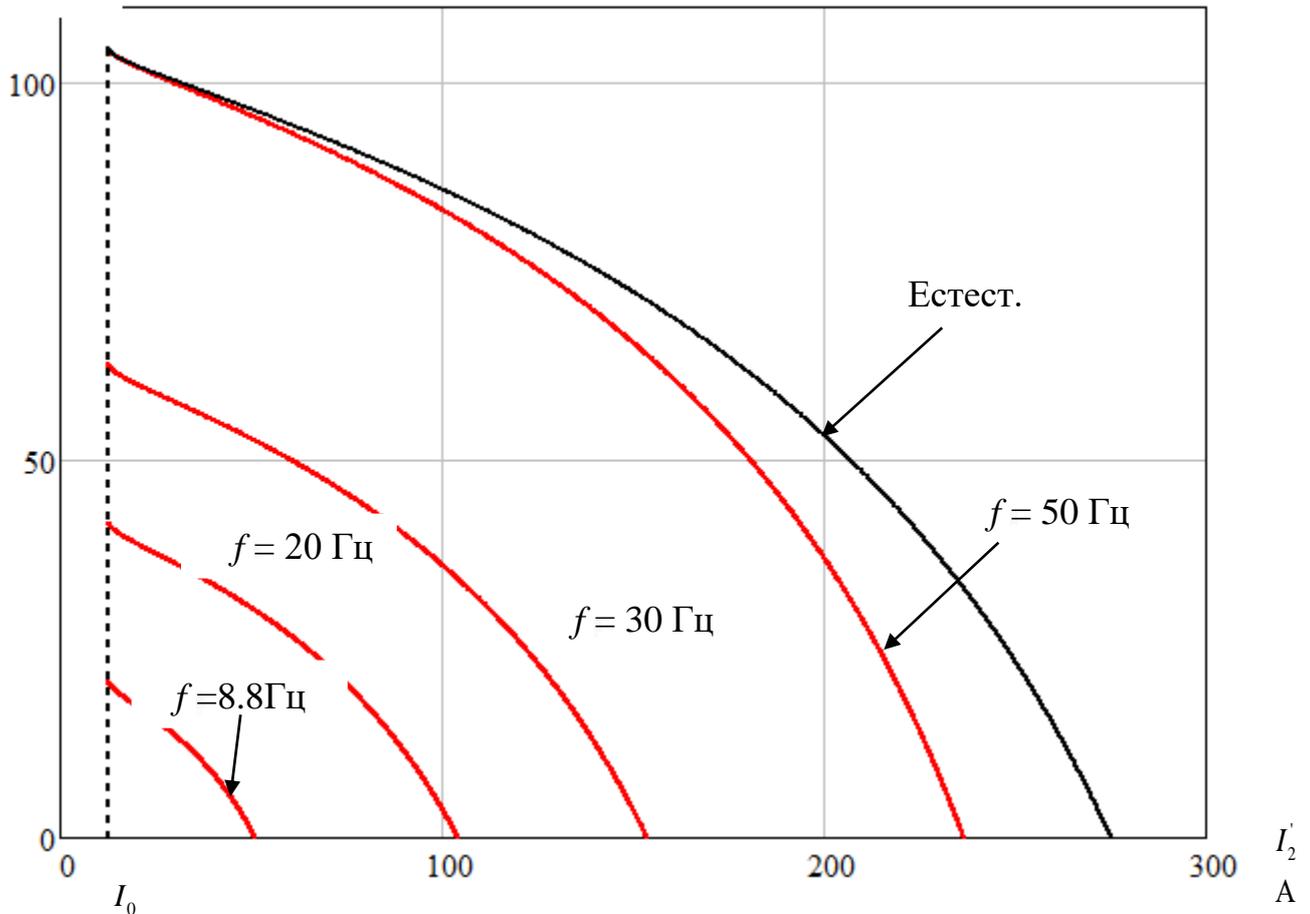


Рисунок 14 – Электромеханические характеристики $I_1(\omega)$

Строим механические характеристики $M(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_{1н}(f) - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R_2^1}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot (f_{1ж}(f))^2 + \left(R_1 + R_{1доб} + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{(R_1 + R_{1доб}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu к}} \cdot f_{1ж}(f) \right)^2 \right]}, \quad 2.20$$

Также, в одних осях, строим естественную механическую характеристику по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{\mu к}^2 \right]}, \quad 2.21$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

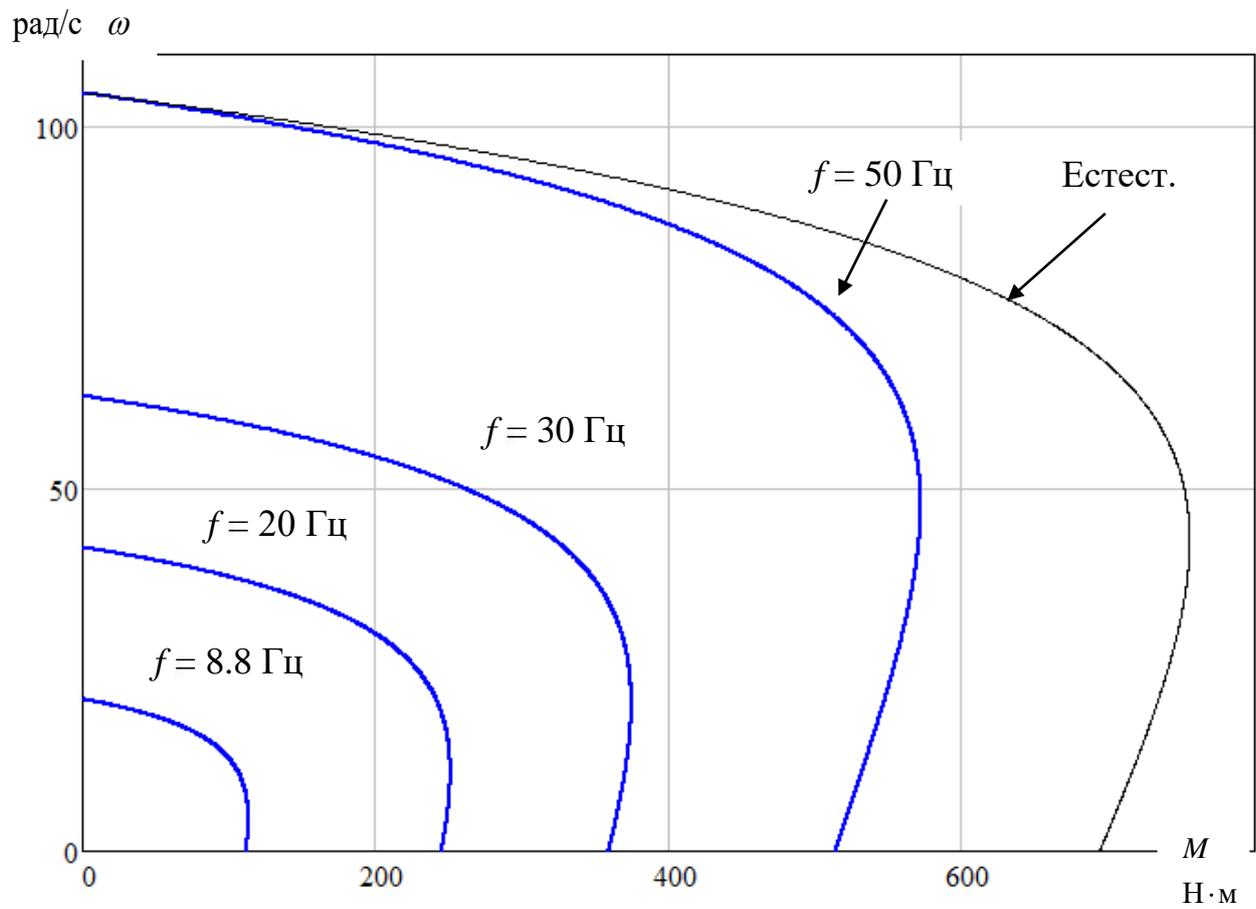


Рисунок 15 – Механические характеристики $M(\omega)$

2.6 Электромеханические и механические характеристики системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с IR -компенсацией

Строим семейство электромеханических характеристик с IR -компенсацией и без неё для каждой из фиксированной частот $f_1=50;30;20;8,8$ Гц. Принимаем следующие коэффициенты IR -компенсации:

$$K_{KM1} = 0,25; K_{KM2} = 0,5; K_{KM3} = 0,75.$$

Тогда, с учетом IR -компенсации сопротивления статора двигателя будут равны:

$$R_{эkv1} = R_1(1 - K_{KM1}) = 0,345 \cdot (1 - 0,25) = 0,26; ,$$

$$R_{эkv2} = R_1(1 - K_{KM2}) = 0,345 \cdot (1 - 0,5) = 0,17;$$

$$R_{эkv3} = R_1(1 - K_{KM3}) = 0,345 \cdot (1 - 0,75) = 0,086.$$

На рис.16 представлены электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$ двигателя с IR -компенсацией.

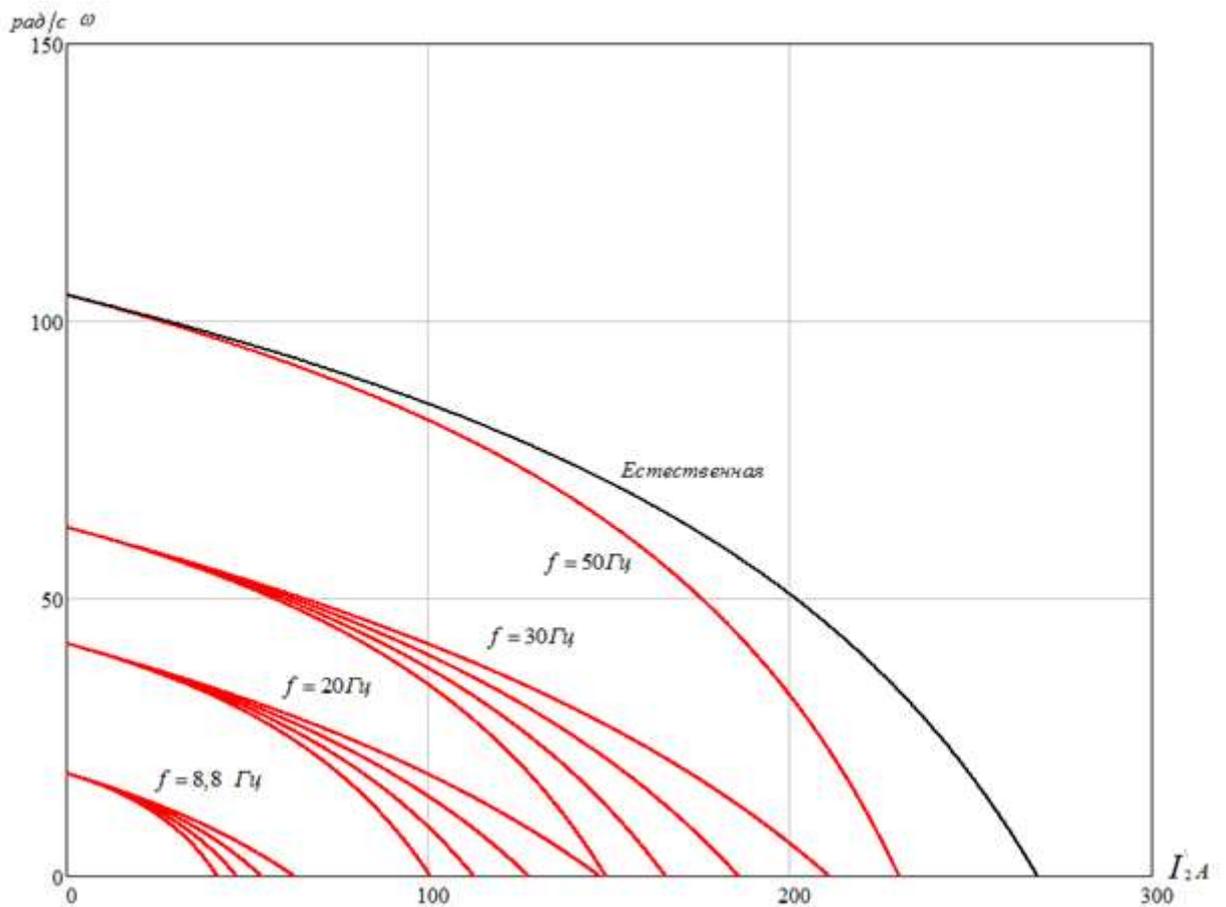


Рисунок 16 – Искусственные электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$ с ИР-компенсацией

Строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{I_0^2 + (I_2^1(s, f))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^1(s, f) \cdot \frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1\text{ж}}(f)}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\text{ж}}^2(f)}}};$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

Рассчитаем токи холостого хода для каждого значения частоты:

-при $f_{1н1}=50$ Гц -

$$I_{01} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1н} + X_{\mu H})^2 \cdot f_{1ж1}}} = \frac{220}{\sqrt{0,345^2 + (0,192 - 15,878)^2 \cdot 1}} = 13.68 \text{ A};$$

- при $f_{1н2}=30$ Гц -

$$I_{02} = \frac{U_{1н2}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1н} + X_{\mu H})^2 \cdot f_{1ж2}}} = \frac{125.58}{\sqrt{0,345^2 + (0,192 - 15,878)^2 \cdot 0.6}} = 10.085 \text{ A};$$

- при $f_{1н2}=15$ Гц -

$$I_{03} = \frac{U_{1н3}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1н} + X_{\mu H})^2 \cdot f_{1ж3}}} = \frac{83.72}{\sqrt{0,345^2 + (0,192 - 15,878)^2 \cdot 0.4}} = 8.233 \text{ A};$$

- при $f_{1н4}=8,8$ Гц -

$$I_{04} = \frac{U_{1н4}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1н} + X_{\mu H})^2 \cdot f_{1ж4}}} = \frac{37}{\sqrt{0,345^2 + (0,192 - 15,878)^2 \cdot 0.2}} = 5.469 \text{ A}.$$

На рис.17 представлены электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ двигателя с IR-компенсацией.

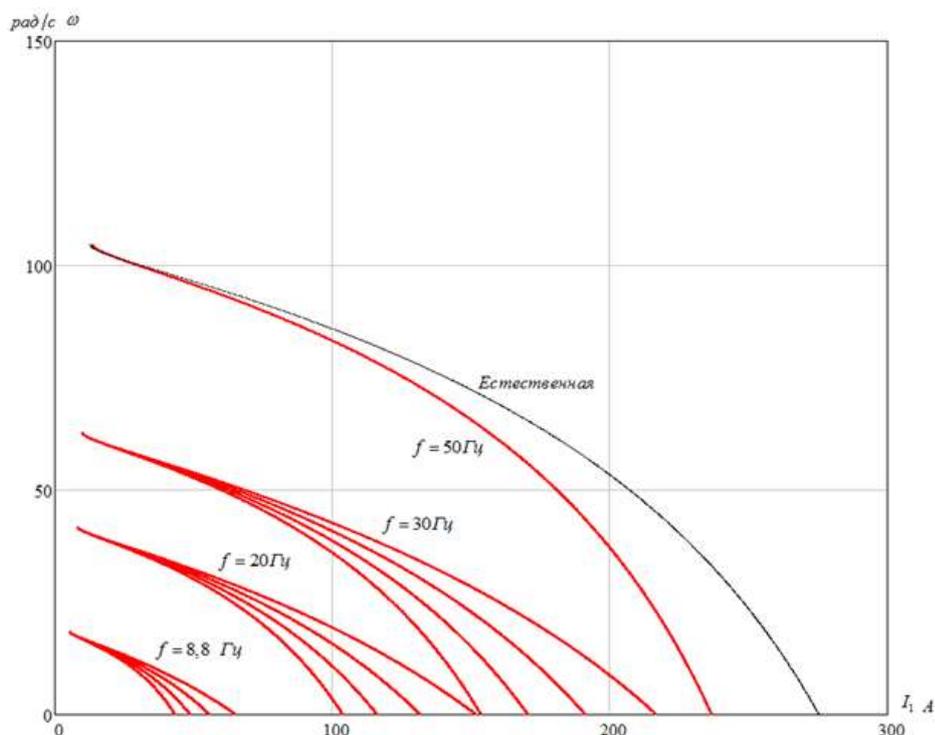


Рисунок 17 – Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ с IR-компенсацией

Строим механические характеристики $M(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_{\text{лн}}(f))^2 \cdot R_2^1}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{\text{лж}}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2^1}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2^1}{s \cdot X_{\text{мк}} \cdot f_{\text{лж}}(f)} \right)^2 \right]}$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

На рис.18 представлены механические характеристики $M(\omega)$ двигателя с IR-компенсацией.

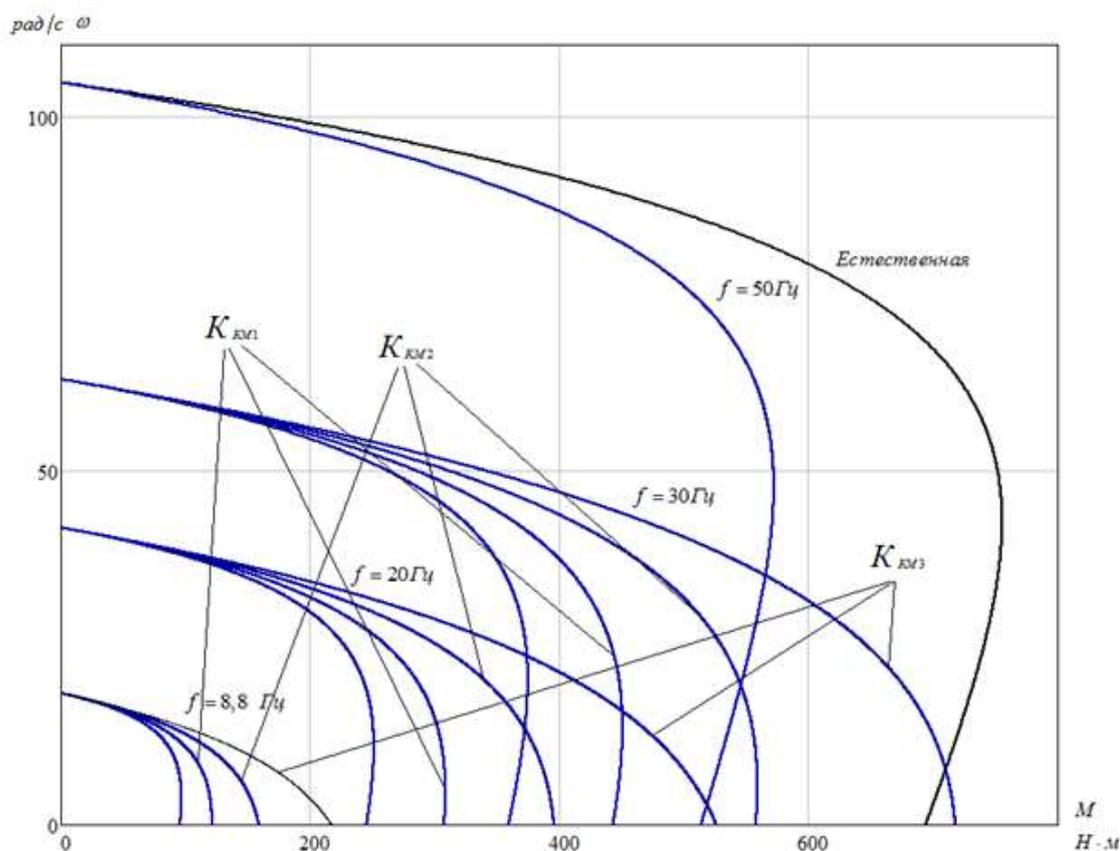


Рисунок 18 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ с IR-компенсацией

Анализ характеристик, приведенных на рис. 16-18, показывает значительное увеличение критического момента асинхронного двигателя при введении компенсации падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора, особенно на низких скоростях вращения, и увеличение их

жесткости. Как следствие увеличения критического момента возрастают пусковые токи асинхронного электродвигателя. В дальнейшем предполагается применение задатчика интенсивности в качестве ограничителя тока в переходных режимах. В результате анализа характеристик был выбран коэффициент $K_{\text{кМЗ}} = 0,75$, так как он обеспечивает наибольшую величину критического момента, необходимого при работе вагоноопрокидывателя.

3. ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Имитационная модель прямого пуска электродвигателя МТКН 411-6

Для исследования переходных процессов асинхронного электродвигателя МТКН 411-6 при прямом пуске была собрана модель в имитационной среде *MatLab Simulink*.

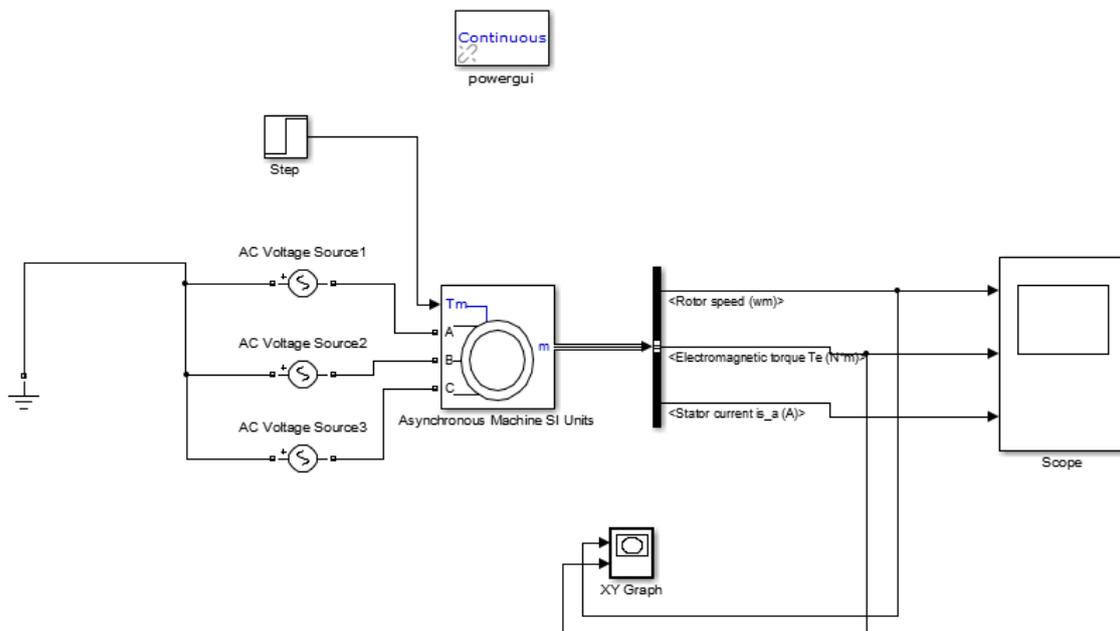


Рисунок 19 – Модель прямого пуска асинхронного электродвигателя МТКН 411-6

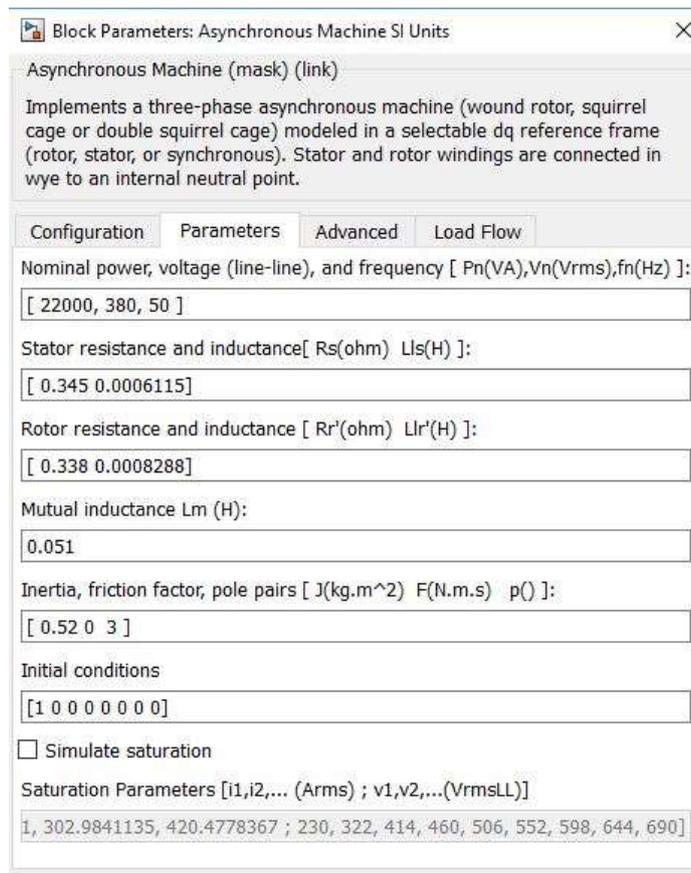


Рисунок 20 – Параметры асинхронного электродвигателя в среде *MatLab Simulink*.

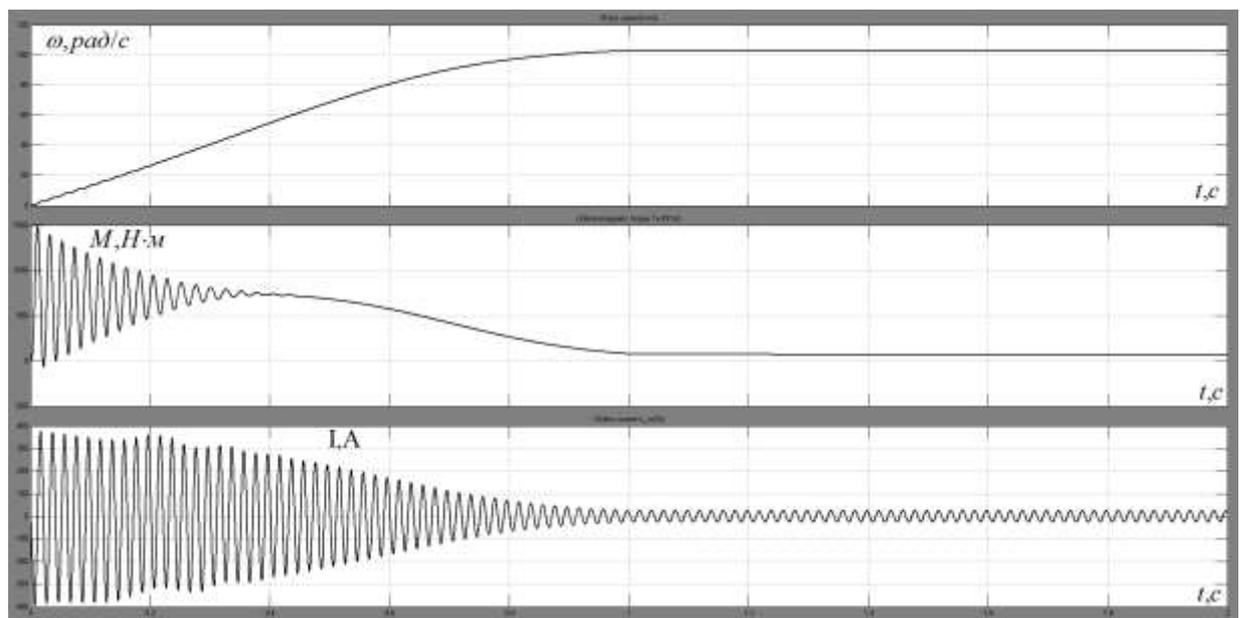


Рисунок 21 – Графики переходных процессов при прямом пуске.

Анализ графиков переходных процессов при прямом пуске показал, что наблюдается малое время пуска, а так же отсутствие перерегулирования по скорости, однако, имеют место значительные броски тока $I_{\max} \approx 370A$ и момента $M_{\max} \approx 1500H \cdot m$, что является неприемлемым для исследуемого механизма.

3.2 Имитационная модель частотного управления системы скалярного управления с IR-компенсацией

На рис.21 представлена имитационная модель системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией собранная в среде *MatLab Simulink*.

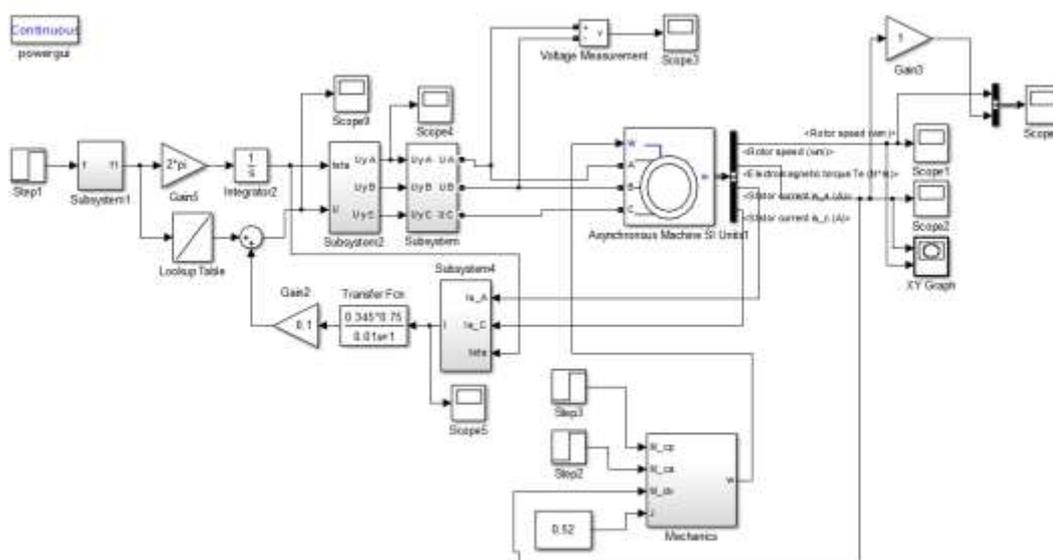


Рисунок 22 – Модель системы частотного управления со скалярной IR-компенсацией

В процессе работы было проделано 3 опыта с различными значениями коэффициентов компенсации момента и 1 опыт без компенсации, величины этих коэффициентов такие же, которые были использованы в *MathCad*:

$$K_{KM1} = 0,25 ; K_{KM2} = 0,5 ; K_{KM3} = 0,75.$$

На рис.22 - 25 представлены графики переходных процессов по скорости и по электромагнитному моменту двигателя при различных коэффициентах компенсации.

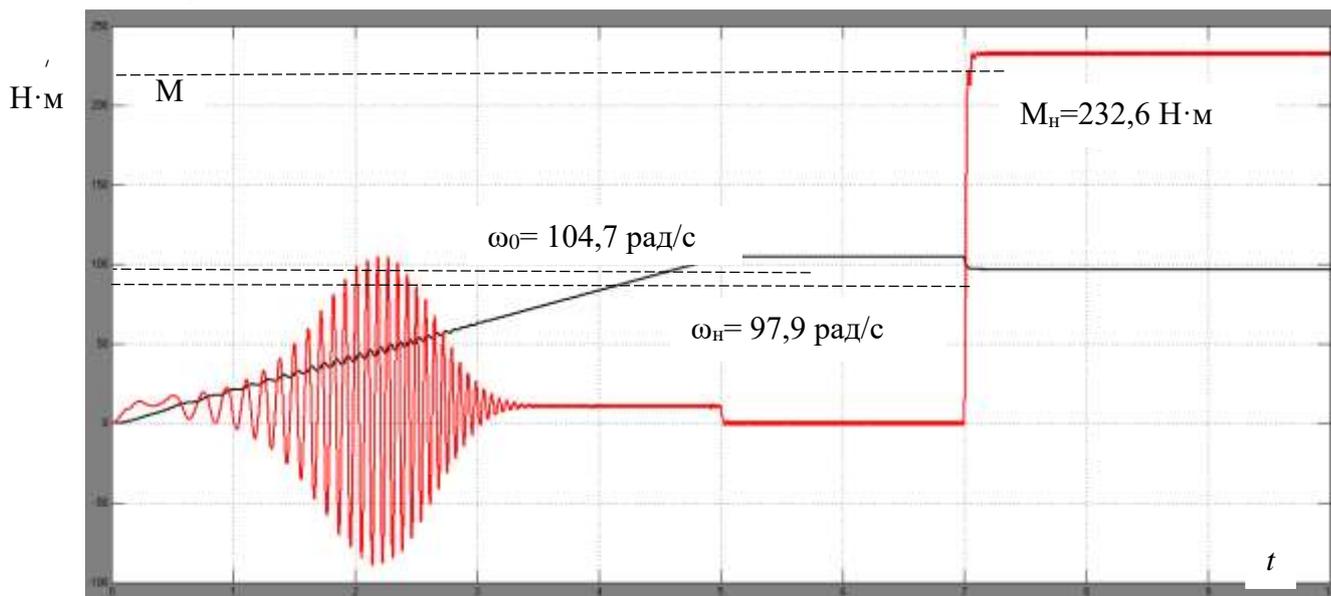


Рисунок 23 – Переходные процессы по скорости и моменту без IR-^c компенсации

Величина критического момента без компенсации $M_K = 110 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

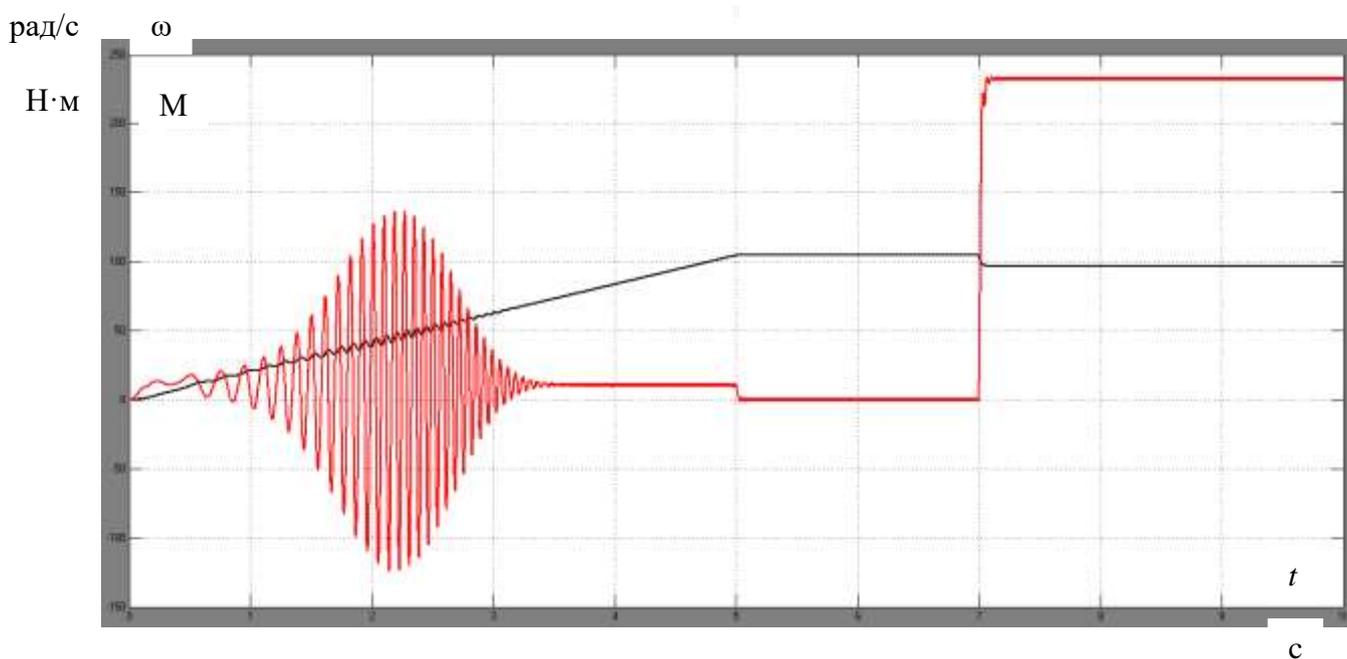


Рисунок 24 – Переходные процессы по скорости и моменту при $K_{KM1} = 0,25$

Величина критического момента возросла при $K_{KM1} = 0,25$ $M_K = 137 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

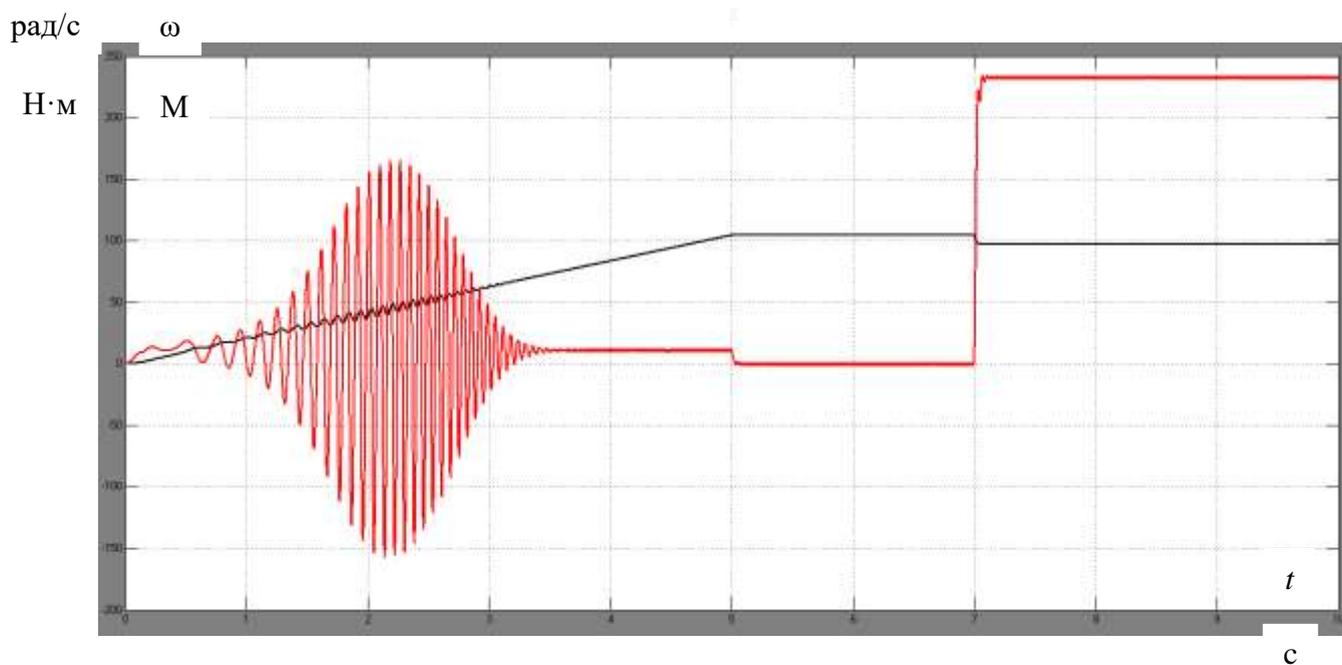


Рисунок 25 – Переходные процессы по скорости и моменту при $K_{KM2} = 0,5$

Величина критического момента возросла при $K_{KM2} = 0,5$ $M_K = 165H \cdot м.$

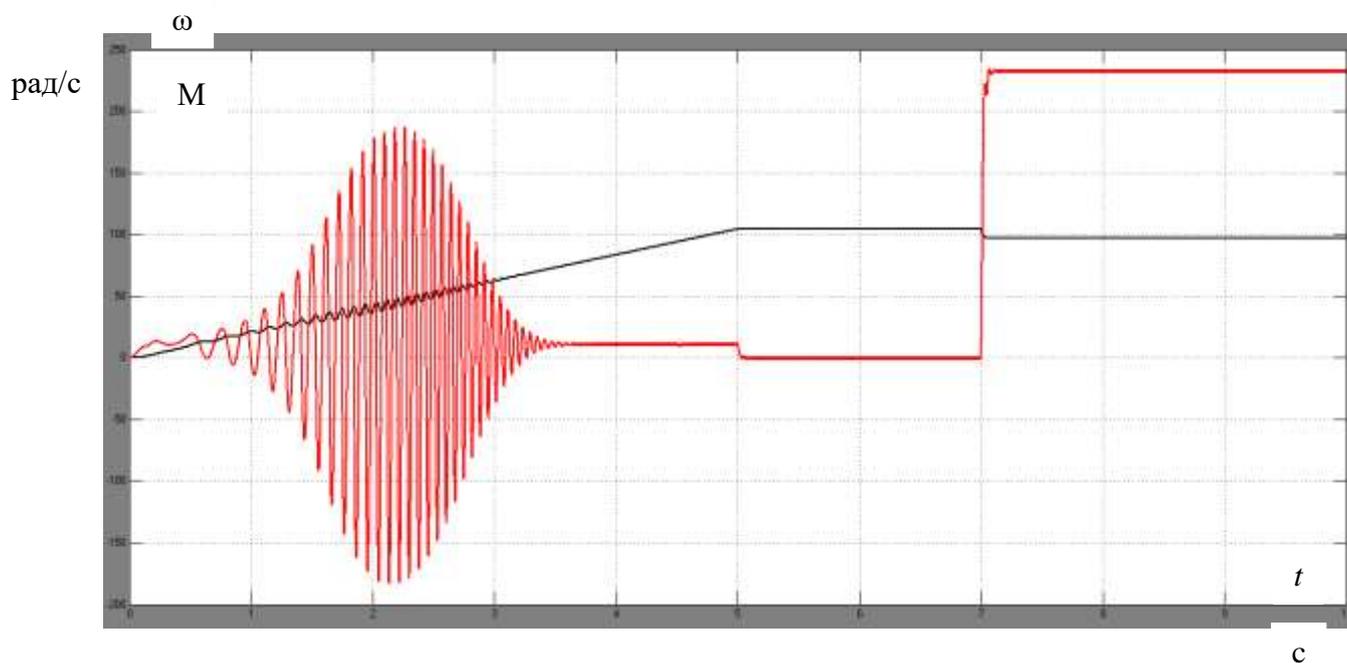


Рисунок 26 – Переходные процессы по скорости и моменту при $K_{KM3} = 0,75$

Величина критического момента при $K_{KM1} = 0,75$ составила наибольшее значение $M_K = 180H \cdot м.$

Анализ графиков переходных процессов позволяет выделить характерные особенности:

- применение скалярной \mathbf{IR} -компенсации позволяет добиться увеличения величины критического момента необходимой для работы комплекса в точках наибольшей нагрузки, определенных в соответствии с нагрузочной диаграммой
- применение задатчика интенсивности позволяет задать более плавный характер изменения скорости из-за ограничения тока статора в переходных режимах
- применение частотного привода в общем позволяет снизить динамические нагрузки на двигатели и снизить потери в системе за счет плавной работы в переходных режимах и возможности рекуперации энергии на ступенях останова ротора вагоноопрокидывателя

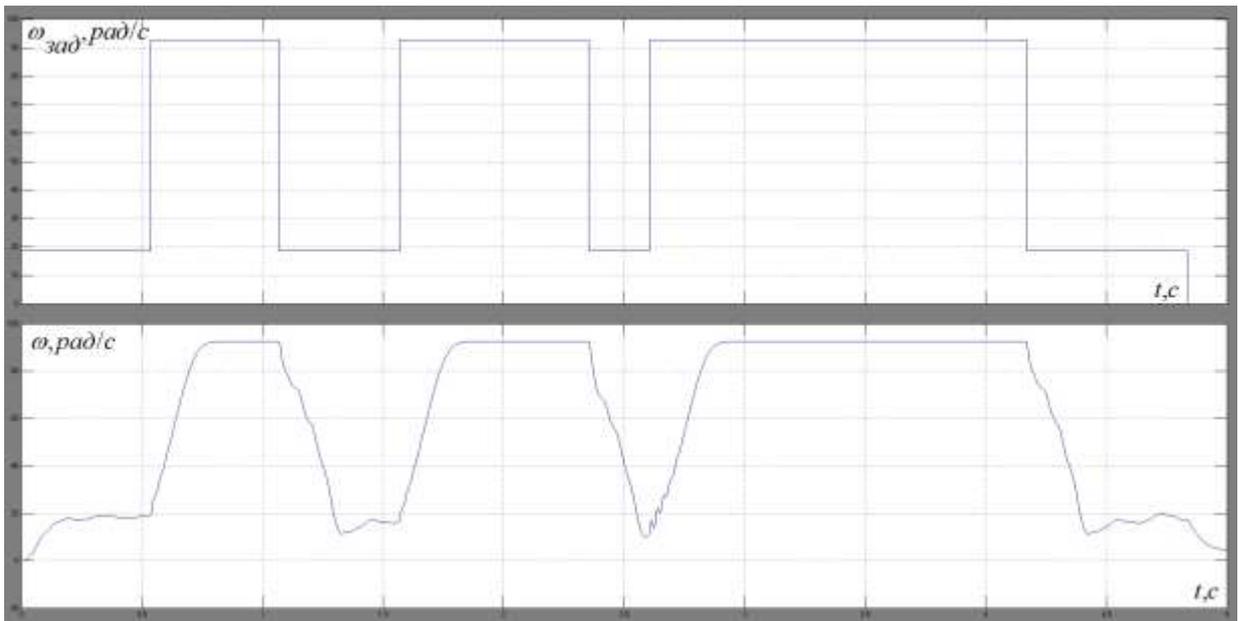


Рисунок 28 – График задания скорости, задания частоты и реальной скорости на двигателях без нагрузки

На графике отмечается отличие реальной скорости от заданной, что связано с инерционностью системы.

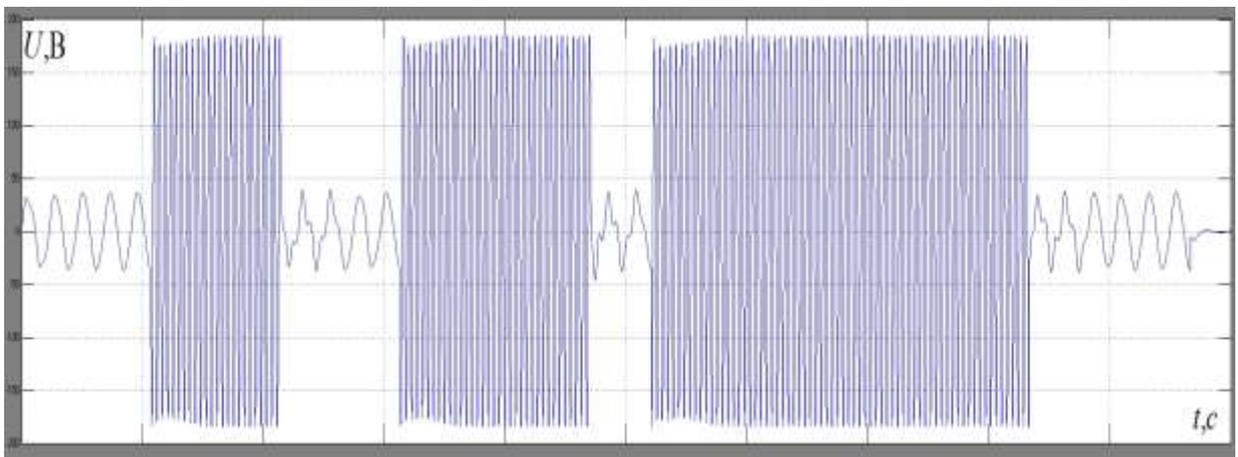


Рисунок 29 – График задания напряжения на выходе преобразователя в двухфазной неподвижной системе координат статора α, β

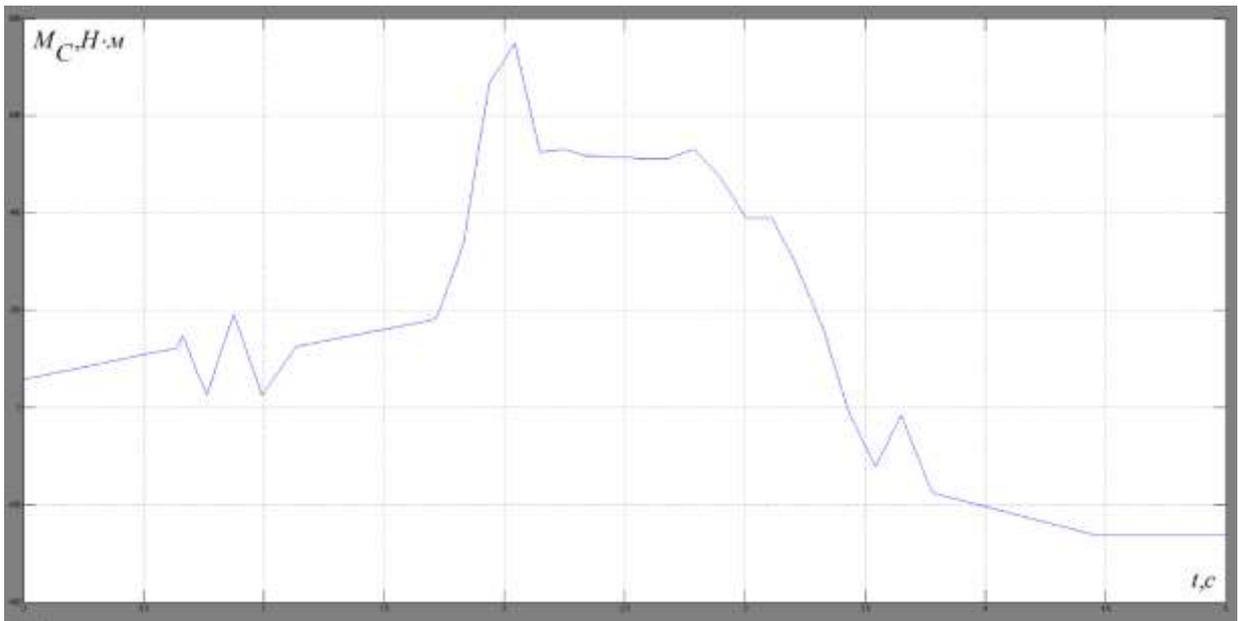


Рисунок 30 – Нагрузочная диаграмма вагонопрокидывателя

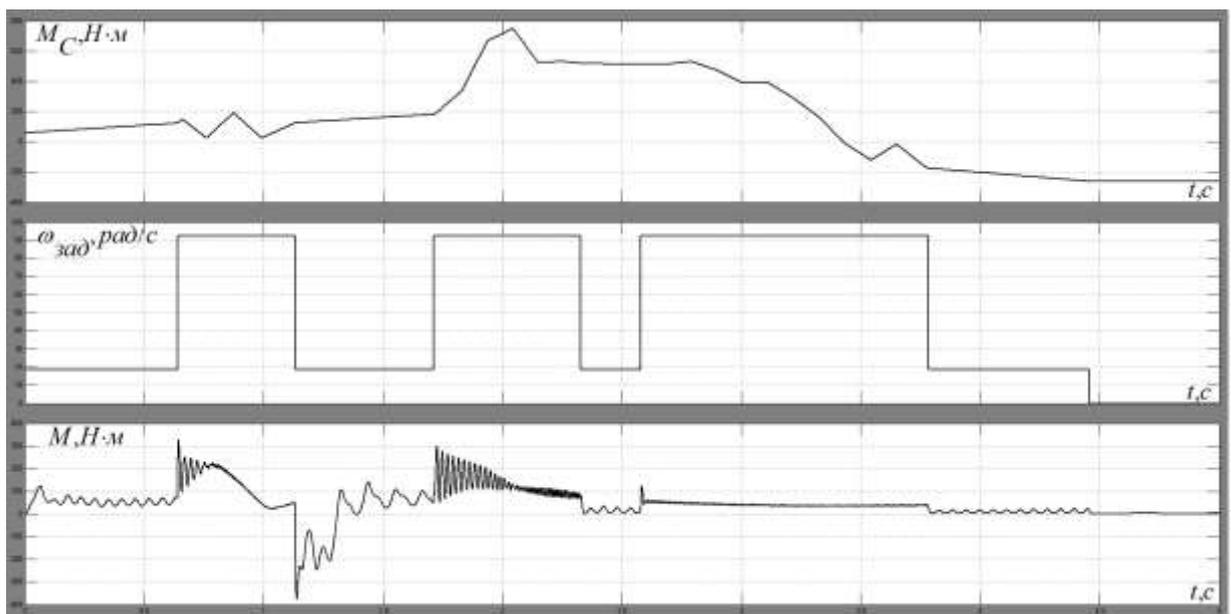


Рисунок 31 – Нагрузочная диаграмма, задание на скорость и график момента двигателей вагонопрокидывателя

Характерные просадки момента объясняются изменением задания на скорость согласно циклограмме.

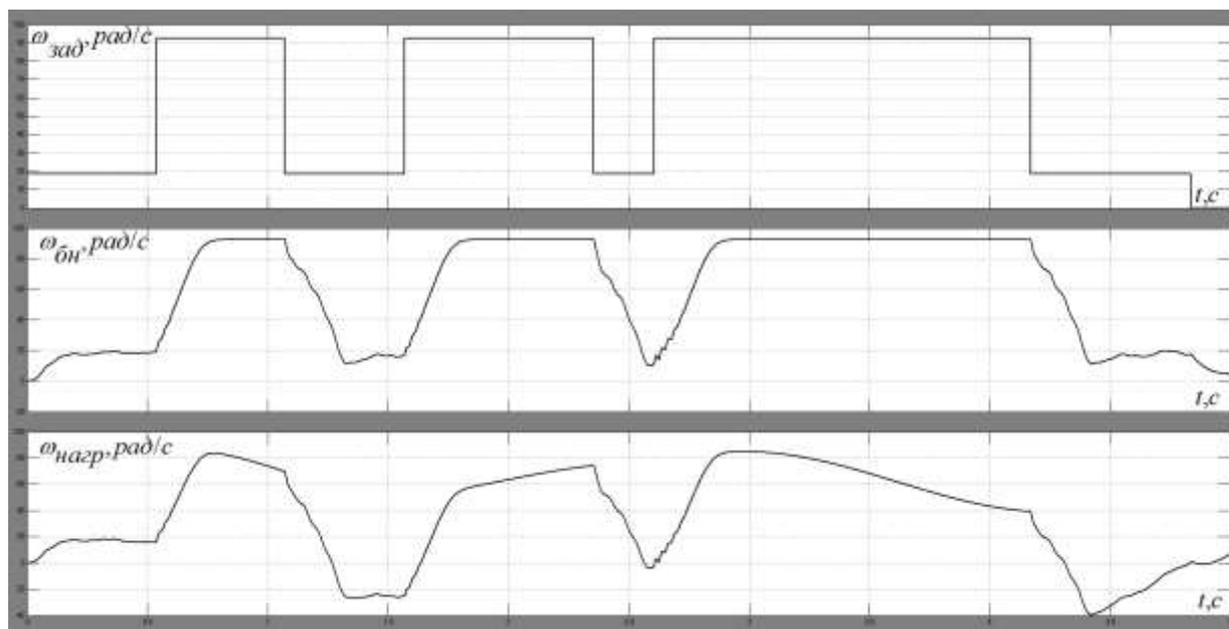


Рисунок 32 – Графики задания на скорость, скорости без нагрузки и с нагрузкой соответствующей нагрузочной диаграмме вагоноопрокидывателя

Из графиков переходных процессов видно, что применение преобразователя частоты позволяет улучшить динамические характеристики электропривода. Удаётся избежать динамических ударов при пуске и торможении, которые ведут к перегрузкам двигателя. Анализируя графики скорости можно сделать вывод что вследствие большого нагрузочного момента имеют место просадки скорости, однако, характерные ступени работы вагоноопрокидывателя присутствуют, и сохраняется необходимое время цикла, то есть производительность комплекса достигнута.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Э1	Юлдашев Мирвохид Абдуманнабович

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов исследовательской работы (ИР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИИ ТПУ.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ конкурентных технических решений (ИР)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (ИР)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (ИР)</i>	<i>Расчет: Расчет бюджетной стоимости ИР по разработке асинхронного электропривода вагоноопрокидывателя.</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности (ИР)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет ИР
5. Основные показатели эффективности ИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Э1	Юлдашев Мирвохид Абдуманнабович		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ИР. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

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

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для анализа выберем три объекта занимающиеся разгрузкой сыпучих грузов:

Вариант 1 – Западно-Сибирский металлургический комбинат;

Вариант 2 – Разгрузка вручную, с применением средств механизации;

Вариант 3 – Фирма по разработке вагопрокидывателей «SCHADE»;

Таблица 11. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,02	4	2	3	0,08	0,04	0,06
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	3	1	1	0,45	0,15	0,15
3. Помехоустойчивость	0,01	1	1	1	0,01	0,01	0,01
4. Энергоэкономичность	0,09	4	3	2	0,36	0,27	0,18
5. Надежность	0,1	5	2	1	0,5	0,2	0,1
6. Уровень шума	0,03	2	2	1	0,06	0,06	0,03
7. Безопасность	0,09	4	3	1	0,4	0,3	0,09
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	2	1	1	0,1	0,05	0,05
10. Простота эксплуатации	0,08	3	3	5	0,24	0,24	0,4
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	2	2	1	0,04	0,04	0,01
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	1	1	1	0,04	0,04	0,04
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	3	3	1	0,24	0,24	0,8
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	1	1	2	0,01	0,01	0,02
3. Цена	0,078	1	1	3	0,095	0,095	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	2	1	1	0,1	0,05	0,05
5. Послепродажное обслуживание	0,06	1	1	1	0,06	0,06	0,06
6. Финансирование научной разработки	0,02	1	2	1	0,02	0,04	0,2
7. Срок выхода на рынок	0,09	1	1	2	0,09	0,09	0,18
8. Наличие сертификации разработки	0,169	1	1	1	0,17	0,17	0,17
Итого	1				2,805	1,895	2,45

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i;$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №3 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

4.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 12 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	<p>S1. Техническая простота конструкции;</p> <p>S2. Возможность демпфирования колебаний от усилия, возникающего под некоторым углом;</p> <p>S3. Возможность регулирования параметров гидравлического оборудования;</p> <p>S4. Возможность демпфирования колебаний на резонансном режиме;</p> <p>S5. Широкая применимость устройства виброзащиты;</p> <p>S6. Высокая чувствительность метода;</p> <p>S7. Возможность внедрения устройства в производство.</p>	<p>W1. Большое количество гидравлического оборудования.</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок</p> <p>W4. Сложность и необходимость индивидуального подхода для подключения гидравлического оборудования.</p>

Продолжение табл. 2

<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Новые технологии демпфирования колебаний.</p> <p>O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ.</p> <p>O3. Требования к повышению качества демпфирования колебаний.</p> <p>O4. Эффективное демпфирование колебаний на резонансном режиме.</p>	<p>Получение нового, экологичного, высококачественного устройства для демпфирования колебаний.</p>	<p>Трудозатратное, дорогостоящее устройство виброзащиты с использованием новых технологий.</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность покупателей.</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта.</p> <p>T3. Узкоспециализированное направление.</p>	<p>Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями устройства.</p>	<p>Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.</p>

Таблица 13 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	-	+	+	-	+
O2	-	-	-	-	+	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 14 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	-	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	-	-	+

Таблица 15 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	+	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	-	+	+	+	-	-	+

Таблица 16 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	-	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

В результате проведенных оценки конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант устройства №3 является наиболее предпочтительным, выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства по сравнению с вариантами №1 и №2. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность демпфирования колебаний от усилия, возникающего под некоторым углом. Среди слабых сторон - большое количество гидравлического оборудования.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проектирования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов проектирования.

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 17.

Таблица 17 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
	6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ определяется по формуле:

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

где t_{mini} – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

4.3.3 Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где $k_{кап}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кап}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ож i} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел. - дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{ч} = \frac{3,8}{1} = 3,8 \text{ раб. дн.},$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3,8 \cdot 1,56 = 5,93 \approx 6 \text{ кал. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3,8 \cdot 1,28 = 5,93 \text{ кал. дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 18.

Таблица 18 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	6	-	7	-	6,4	-	6,4	-	9	-
Выбор направления исследований	5	3	7	5	5,8	4,2	2,9	2,1	4	3
Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Календарное планирование работ по проекту	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	-	12	-	14	-	12,8	-	12,8	-	20
Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
Оценка эффективности полученных результатов	4	1	6	5	4,8	2,6	2,4	1,3	4	2
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Разработка принципиальной схемы	5	3	7	5	5,8	3,8	5,8	3,8	8	6
Технико-экономические расчеты	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	11

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

Таблица 19 - Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{Kl} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	9	■														
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	7		■	■												
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4			■												
4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель	8			■	■											
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	20				■	■	■									
6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	Инженер	8						■	■								
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	6							■	■							
8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель	8								■	■						
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер, Руководитель	14										■	■				
10	Технико-экономические расчеты	Инженер	6											■	■			
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	11												■	■	■	

■ - Инженер; ■ - Руководитель;

Таблица 20 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	101
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	60
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	41

4.3.4 Бюджет исследовательской работы

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей. Затраты на НИР делятся на единовременные и текущие. Единовременные затраты включают стоимость лабораторного оборудования, приборов необходимых для проведения НИР. Текущие затраты включают в себя: затраты на проведение испытаний экспериментальных образцов.

В затраты на разработку данного проекта включается стоимость всех расходов, которые необходимы для реализации работ.

В смету на выполнение данной работы входят следующие элементы затрат:

- Материальные затраты;
- Спецоборудование;
- Расчет затрат на электроэнергию;
- Прочие затраты.

К материальным затратам относятся затраты на материалы, покупные изделия, необходимые для выполнения данного проекта. Затраты определяются по действительным ценам с учетом расходов на их покупку.

К затратам на спецоборудование относят затраты на приобретение и изготовление сторонними организациями специального оборудования,

стендов, аппаратов и других специальных приборов, необходимых для реализации данного проекта.

К прочим затратам относят выплаты, предусмотренные законодательствам за работу во внерабочее время, отпускные выплаты и т.д.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты по данной статье заносятся в табл. 21.

4.3.5 Расчет амортизации

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 21 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Ко л-во, шт.	Марка размер	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Электродвигатель	1	МТКН 411-6	10	17500	17500
2	ПЧ	2	SIEMENS 6SE70	7	6000	12000
3	АРМ	1	КУ-701AY2	7	14500	14500
4	Индуктивный датчик	1	NJ10-30GM	10	2000	2000
5	Итого:					46 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t,$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для электродвигателя 2,2 кВт, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Электродвигатель:

$$A = \frac{0,1 \cdot 17500}{12} \cdot 4 = 584 \text{ руб.}$$

Гидропневмоаккумулятор:

$$A = \frac{0,143 \cdot 12000}{12} \cdot 4 = 572 \text{ руб.}$$

Гидронасос аксиально-поршневой:

$$A = \frac{0,143 \cdot 14500}{12} \cdot 4 = 692 \text{ руб.}$$

Бак металлический:

$$A = \frac{0,1 \cdot 2000}{12} \cdot 4 = 67 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 584 + 572 + 692 + 67 = 1915 \text{ руб.}$$

4.3.6 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские

принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 22.

Таблица 22 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	320	320
Файлы для бумаги	1	50	50
USB накопитель	1	500	500
Распечатка текста	200	1.7	330
Итого			1200

4.3.7 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 18).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{39000 \cdot 11,2}{233} = 1875 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 23); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11,2}{270} = 1294 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 20000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.}$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 23 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	56/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	233	270

Таблица 24 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}, руб$	k_{np}	k_o	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{он}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	20000	0,3	0,2	1,3	39000	1875	41	76875
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1294	60	77640
Итого:								154515

4.3.8 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 76875 = 11531 \text{руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 77640 = 11646 \text{руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (76875 + 11531) = 26522 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (77640 + 11646) = 26786 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.10 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{нр} =$$

$$= (1915 + 1200 + 24400 + 154515 + 16510 + 37970) \cdot 0,2 = 46823$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 25 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
1915 руб	1200	154515	23177	53308	234115	46823	280938

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу

расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Пружинный виброизолятор с демпфером в маятниковом подвесе;
2. Динамический гаситель;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{280938}{300000} = 0,94$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{270000}{300000} = 0,90$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{295000}{300000} = 0,98$$

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

4.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффетивности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 26.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка системы TDM-M	Бальная оценка системы R1500
1. Безопасность при использовании установки	0,3	5	5	4
2. Стабильность работы	0,3	4	3	5
3. Технические характеристики	0,1	5	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,5$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,9$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4,5}{0,94} = 4,8$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 27). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,2}{4,8} = 0,88$$

Таблица 27 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,90	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,8	4,3	4,18
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,88	0,88

Вывод:

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 101 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 41 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 60;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 280938 руб;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,95, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
 - Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 3,9 и 4,1;
 - Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 4,2 и 4,14, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Юлдашев Мирвохид Абдуманнабович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Асинхронный электропривод вагоноопрокидывателя

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.

Объектом исследования является асинхронный электропривод вагоноопрокидывателя в цехе разгрузки полувагонов. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для переработки промышленных продуктов. (первичные концентраты) железных рудников.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

ТК РФ, ГОСТ 12.0.003-2015, СН 2.2.4/2.1.8.562–9, СП 51.13330.2011, СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03, СанПиН 2.2.4.548 – 96, ГОСТ 12.1.038–82, ГОСТ 12.1.045–84, ГОСТ Р 22.0.07-95, ГОСТ 12.2.032-78; Федеральный закон РФ от 22.07.2008г. №123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

2. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Основными вредными факторами являются:
 - Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания;
 - Повышенный уровень шума на рабочем месте;
 - Повышенный уровень пыли на рабочем месте;
 - Повышенный уровень вибрации;
 - Недостаток естественного освещения;
Опасными факторами цеха являются:
 Возможность получения травм вследствие:
 - Движущиеся машины и механизмы;
 - Возможность поражение электрическим током;

3. Экологическая безопасность:

- Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

Возможные ЧС:
 - пожар;
 - природные катастрофы.
 Типичная ЧС: пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Юлдашев Мирвохид Абдуманнабович		

5 Социальная ответственность

Данный раздел необходим для оценки анализа вредных и опасных факторов, условий труда, разработки мер защиты от них, рассмотрения вопросов производственной санитарии, техники безопасности, пожарной профилактики, охраны окружающей среды, защиты в ЧС при работе персонала, который обслуживает асинхронный электропривод вагонопрокидывателя в цехе разгрузки полувагонов.

Для осуществления технологического процесса применяется следующее основное оборудование: вагонопрокидыватель, приемное устройство, дробильный комплекс. Технологический процесс разгрузки полувагона включает в себя следующие виды работ: настройку работы оборудования, работу с оборудованием, контроль уровня шума, вибрации с помощью специального оборудования. Персонал, которой обслуживает рассматриваемый электропривод, находится в условиях возможного воздействия ряда неблагоприятных факторов для здоровья, которые зависят от состояний помещений и характера производства. Поэтому, необходимо соблюдать санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения на обогатительной фабрике ОАО «ЗСМК» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[12], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[12]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[12]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[12]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[12].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочим местом называется та часть площади цеха с расположенными на ней оборудованием, инструментом и инвентарем, которая находится в распоряжении рабочего, выполняющего порученную ему работу. В качестве примера рассмотрим рабочее место машиниста вагоноопрокидывателя.

Организация рабочего места машиниста должна обеспечивать безопасность выполнения работ. Рабочее место организовано в специальной кабине и должно быть максимально приближено к месту выгрузки полувагонов. Рабочее место должно иметь достаточную освещенность, а также быть оборудованным звуковой и световой сигнализацией.

Управление работой вагоноопрокидывателя машинист осуществляет со специального пульта с пусковой аппаратурой.

Рабочее место не должно загромождаться, также, как и проходы и подходы к вагоноопрокидывателю. В рабочей зоне должны быть вывешены знаки безопасности.

Не допускается пребывание посторонних лиц на месте производства работ по разгрузке.

При проверке технического состояния вагоноопрокидывателя машинист должен:

- очистить оборудование от пыли и грязи;
- убедиться в отсутствии течи масла;
- убедиться в наличии ограждений вращающихся частей оборудования;
- проверить крепление сборочных единиц;
- проверить состояние электрооборудования, обратив особое внимание на исправность заземления;
- проверить натяжение цепей привода ротора;
- произвести смазку оборудования вагоноопрокидывателя;
- записать в сменном журнале обнаруженные неполадки и расписаться о приеме смены.

Если обнаруженные неполадки препятствуют дальнейшей работе вагоноопрокидывателя, машинист должен немедленно сообщить об этом непосредственному руководителю работ.

При сдаче смены машинист не должен оставлять своего места до прихода сменщика, а в случае его опоздания должен сообщить об этом непосредственному руководителю работ.

Машинист обязан следить за чистотой своего рабочего места. Загрязнение рабочего места могут быть причиной несчастного случая.

5.1.2 Производственная безопасность

В ходе технологического процесса рабочие, которые обслуживают проектируемый прокатно-ремонтный цех), могут быть подвержены влиянию опасных (приводящие к травмам) и вредных (приводящие к заболеваниям) производственных факторов[13].

Таблица 28 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).		+	+	ГОСТ 12.1.005-88 [24]
Повышенный уровень вибрации;		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [17]
Повышенный уровень шума на рабочем месте		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [16], СП 51.13330.2011[25]
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [14]
Недостаток необходимого естественного освещения	+	+	+	СП 52.13330.2016 [18]
Движущиеся машины и механизмы		+	+	ГОСТ 12.2.003-91 [26]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.			+	ГОСТ Р 12.1.019-2017 [20]

5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

➤ Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).

В процессе переработки промышленных продуктов, в воздушной среде повышается уровень запыленности и загазованности. Неблагоприятное воздействие пыли на организм может быть причиной возникновения различных заболеваний: специфических (пневмокониозы, аллергические болезни) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи) пылевые поражения. Производственные пыли относятся к четвёртому классу опасности (малоопасные). ПДК пыли в воздухе рабочей зоны не должны превышать для углеродной пыли с содержанием диоксида кремния: 6 мг/куб.м (антрацит) и 10 мг/куб.м (уголь, сланцы) - до 5%; 4 мг/куб.м - 5 - 10%; 2 мг/куб.м - более 10%.[23].

➤ Повышенный уровень вибрации

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа вагоноопрокидывателя. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [17] цеху разгрузки полувагонов ОАО «ЗСМК –90дБ.

➤ Повышенный уровень шума на рабочем месте

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании питателя, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты питателя в рабочем состоянии. Максимально допустимые уровни шума приведены в таблице 29 [16].

Таблица 29 – Максимально допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, ДБ								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех разгрузки подувагонов	107	95	87	82	78	75	73	71	80

➤ Отклонение показателей микроклимата

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных. Работы оператора по обслуживанию вагоноопрокидывателя относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [14].

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [14]:

- температурой воздуха:
 - в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;
 - в тёплый период года $t=20-22^{\circ}\text{C}$;
- влажностью воздуха:
 - в холодный период года 60-40 %;
 - в тёплый период года 60-40%;
- скорость движения воздуха:
 - в холодный период года 0,2 м/с;

- в тёплый период года 0,2 м/с.

➤ Недостаток естественного и искусственного освещения

Безопасность на фабрике в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV [18]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Наименьшие нормативные значения КЕО для разряда зрительной работы IV помещений при совмещенном освещении приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Наименьшие нормативные значения КЕО для производственных помещений при совмещенном освещении

Разряд зрительных работ	Нормативные значение КЕО e_n , %, при совмещенном освещении	
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
IV	1,5	0,5

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

5.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм вследствие:

Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации шнекового питателя является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, приводов, барабанов; расштыбовка барабанов шнекового питателя при его работе; ремонт и смазка шнекового питателя во время его работы; включение шнекового питателя без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (проход под шнековым питателем во время его работы, эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе на шнековом питателе допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления питателем и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Источником возникновения фактора может выступать:

- При утечке тока на корпус оборудования;
- При неверных действиях персонала при обслуживании электроустановок.

Опасность поражения человека электрическим током оценивается величиной тока I (А), проходящего через его тело, или напряжением прикосновения U (В). Это означает, что опасность поражения током зависит от схемы включения человека в цепь, напряжения сети, режима нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, емкости линии и т. д.

На организм человека электрический ток может оказывать термическое, биологическое и электролитическое воздействие.

Электрический ток подразделяется на постоянный и переменный. Токи промышленной частоты имеют частоту 50 Гц [19].

По напряжению электрический ток подразделяется на низковольтный и высоковольтный. Высоковольтным считается напряжение свыше 1000 В.

Критические значения тока. Существуют критические значения сетевого переменного тока, воздействующего на организм.

- 0,6-1,5 мА - ток начала ощущения (в точках прикосновения);
- 10-20 мА - порог неотпускающего тока, т.е. тока, вызывающего судорожное сокращение мышц, человек в этом случае не может сам освободиться от действия тока, например, разжать пальцы;
- 100 мА - ток фибрилляции сердца, т.е. явления беспорядочного сокращения волокон сердечной мышцы, вызывающего остановку сердца.

При токе 5 А и более происходит асфиксия - удушье, вызванное рефлекторным спазмом голосовой щели.

Виды электрических сетей. Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) разрешается эксплуатировать два вида трехфазных электрических сетей [19]:

- а) трехпроводные с изолированной нейтралью;
- б) четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью.

Трехпроводные сети с заземленной нейтралью и четырехпроводные с изолированной запрещены, как не обеспечивающие безопасности в аварийных режимах.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам показаны в таблице 31 по [20].

Таблица 31 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело человека при нормальном режиме электроустановки.

Род тока	U, В	I, мА
не более		
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Примечания:1 Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения		

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям предусмотрена изоляция токоведущих частей, а также изоляция рабочего места.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции предусмотрено применение в комплексе защитного заземления, зануления и защитного отключения.

Для исключения воздействия электрического тока на организм человека применяются следующие мероприятия:

- использование устройств защитного отключения при утечке тока на корпус оборудования;
- соблюдения правил по охране труда при эксплуатации электроустановок;
- обучение персонала методам электробезопасности и оказания первой помощи при поражении человека электрическим током;
- соблюдение требований правил устройства электроустановок;
- применение средств визуализации, вывешивание запрещающих и предупреждающих плакатов.

5.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность). В рассматриваемой фабрике борьба с пылью ведётся с помощью промышленного пылесборника, так как технологический процесс требует ликвидации пыли. К индивидуальным средствам защиты относятся противо-пылевые респираторы, защитные очки, специальная противопылевая одежда. Производственный процесс относится к 1а группе (избытки явного

тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ)[23].

Повышенный уровень вибрации. Снижение неблагоприятного воздействия общей вибрации устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих, используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготовляют из упругодемпфирующих материалов.

Повышенный уровень шума на рабочем месте. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха.

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, каски с встроенными наушниками от шума, спецодежда с поверхностным слоем для отражения шума).

Для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

- установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов;
- звукоизоляция ограждающих конструкций;
- уплотнение по периметру притворов окон, дверей, ворот;
- звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями;
- устройство звуко-изолированных кабин наблюдения и дистанционного управления технологическим процессом;
- укрытия в кожухи источников шума.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, каски с встроенными наушниками от шума, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

5.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации перерабатываемой фабрики образуются отходы производства: отходы углеобогащения, отходы чёрного металла, отработанные ртутные лампы, отработанные промышленные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у ОАО «ЗСМК» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия в районе на «ОАО ЗСМК» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно - защитной зоны предприятия;
- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на промплощадку и при выходе с промплощадки.

Функции и обязанности по соблюдению норм в области охраны окружающей среды выполняет инженер по охране окружающей среды, действующий на основании «Положения о производственном контроле...» и Должностной инструкции инженера по охране окружающей среды.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Техногенные пожары и взрывы — это происшествия, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В связи с насыщенностью сферы

производства сложной техникой, такие чрезвычайные ситуации происходят все чаще, что вызывает большое беспокойство специалистов.

Техногенное происшествие содержащее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудований и т.п.

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников что приводит к воспламенению изоляционного материала, получению травм обслуживающего персонала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Предупреждение ЧС, готовность к ним и реагирование должны быть составной частью системы управления охраной труда в организации.

В соответствии с этим в каждой организации должны быть определены мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

Данный цех относится к негорючим, так как выполнен из железобетонных конструкций и негорючих материалов. Для обеспечения безопасности против пожаров и взрывов применяются следующие меры: 1) производственное помещение вентилируется восьмикратной сменой воздуха в час; 2) гидравлическая уборка полов, смыв пыли со стен, перекрытий конструкций и оборудования в конце каждой рабочей смены во всех отапливаемых помещениях топливоподачи; 3) оснащение конвейеров топливоподачи блокировками, исключающими пуск конвейеров при неработающих системах обеспыливания, щепо- и металло- улавливания; 4) выполнение электрооборудования трактов топливоподачи пылезащитного исполнения с учётом требований гидроуборки пыли; 5) герметизация (от пыления) всех устройств по пересыпке топлива внутри помещений, а также бункеров сырого топлива; 6) для обеспечения рассеивания пыли, выходящей

из вентиляционной системы, высота вытяжной трубы должна быть не менее 3 м над самым высоким зданием (около 30 м).

5.4.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

5.4.2 Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

- а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании)
- б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а также работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;
- в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;

г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетание последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания

- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями)

- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

Выводы по разделу

В разделе социальная ответственность были рассмотрены правовые вопросы обеспечения безопасности. Произведен анализ возможных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе разработки, монтажа и эксплуатации оборудования цеха. По каждому выявленному фактору были определены допустимые нормы, а также намечены необходимые мероприятия

для устранения воздействия вредных и опасных факторов на организм человека. Все мероприятия возможно выполнить в условиях производства.

Также были рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях (при пожаре). На предприятии соблюдаются все необходимые требования в области экологической политики, а при возможной ЧС (пожар) соблюдены все требования исключению возникновения пожара.

По разделу социальная ответственность можно сделать вывод что на объекте исследования соблюдаются необходимые требования промышленной безопасности и охраны труда.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является снижение электрических нагрузок на электродвигатели и динамических нагрузок на механическую часть вагоноопрокидывателя и полувагон и повышение за этот счет срока эксплуатации при интенсивных повторно-кратковременных режимах работы с помощью высоконадежной двухдвигательной системы электропривода с улучшенной энергоэффективностью.

- разработанный электропривод позволит снизить потери в системе электропривода, а также повреждаемость механизма и подвижного состава (полувагонов и вагонов), что позволит увеличить срок эксплуатации как асинхронных электродвигателей, так и конструкции вагоноопрокидывателя;

- система скалярного двухдвигательного частотного электропривода приведет к снижению износа механической части вагоноопрокидывателя, продлению срока эксплуатации двигателей за счет исключения тяжелых пусковых режимов и применения простых в обслуживании недорогих и надежных АДКЗ;

- разработанная система электропривода позволит в среднем на 20% снизить энергопотребление и уровень реактивной мощности во всех режимах работы за счет применения частотных преобразователей с рекуперацией энергии в сеть и исключения роторных сопротивлений.

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, 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;

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

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе «Социальная ответственность» был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации вагоноопрокидывателя. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения аварийной ситуации.

Conclusion

The purpose of this exhaust qualification operation is to reduce electric loads on electric motors and dynamic loads on the mechanical part of the car driver and gondola car and to increase the service life at intensive repeated-short-term operation modes with the help of a highly reliable two-engine electric drive system with improved energy efficiency.

- The developed electric drive will reduce losses in the electric drive system, as well as damage of the mechanism and rolling stock (gondola cars and cars), which will allow to increase the service life of both asynchronous electric motors and the design of the car driver;

- System of scalar two-engine frequency electric drive will lead to reduction of wear of mechanical part of car driver, extension of service life of engines due to elimination of heavy start-up modes and application of easy-to-maintain inexpensive and reliable ADKZ;

- The developed electric drive system will allow to reduce power consumption and reactive power level by 20% on average in all operating modes due to the use of frequency converters with power recovery to the network and elimination of rotor resistances.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving," a technical project has been completed and the following tasks have been solved:

- SWOT analysis revealed both strengths and weaknesses of the technical project. In such cases, interactive capability and threat matrices are used. Analysis of the matrix data, found that the mapping of threats with strengths and weaknesses have a low probability, which is not the case with capabilities. As a result, this technical project has several important advantages, such as high production safety and energy efficiency, which will improve productivity, safety and cost-effectiveness of technical production;

- Gantt tape chart was compiled during technical work planning. This chart allows to optimally plan the working time of the project performers (manager and diploma);

- The preparation of the technical project estimate made it possible to estimate the initial cost of the technical project. From this data, you can determine whether additional project cost optimization activities should be carried out;

- The evaluation of the project resource efficiency, carried out according to the integral indicator, gave a rather high result (4.6 on a 5-point scale), which indicates the efficiency of the technical project implementation.

In the section "Social responsibility," an analysis of dangerous and harmful factors arising during the operation of the car driver was carried out. Issues of safety, industrial sanitation, fire safety are covered. Environmental safety issues are also considered, measures and actions carried out by employees during the emergency situation are drawn up.

Список используемых источников

- 1 Иванов Г.М., Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод в химической промышленности. М., «Машиностроение», 1975, 312 с.
- 2 Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6. Механическая система электропривода постоянного тока. Томск, изд-во ТПУ, 2004. — 144с.
- 3 Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Томск, изд-во ТПУ, 2010. — 472с.
- 4 О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин, Системы управления электроприводов. Томск: изд-во ТПУ, 2007. — 152 с.
- 5 Преобразователи частоты для одно- и многодвигательных электроприводов мощностью от 2.2 кВт до 230 кВт. Каталог DA65.10.201 – www.siemens.de/masterdrivevectorcontrol
- 6 Каримсаков Т.К. Варианты модернизации электроприводов шахтных вагоноопрокидывателей // ЭС и К . 2014. №3 (24)
- 7 Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: изд-во ТПУ, 2006 – 248с.
- 8 Электронный каталог продукции www.ame-i.ru/price35/.asp.
- 9 Электронный каталог продукции www.kamkabel.ru/catalogue .
- 10 Электронный каталог продукции www.keaz.ru/production/catalogue/switch/va57.
- 11 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
- 12 Теличко Л. Я., Корчагин А. А. Разработка и исследование оптимальной системы двухдвигательного электропривода механизма опрокидывания // Вестник ВГТУ . 2010. №2
- 13 В.Н. Извеков Методические указания по разработке раздела «Производственная и экологическая безопасность» выпускной

квалификационной работы для студентов заочного и очного обучения всех направлений и специализаций. - Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 31с.

14 Гриневич Г.П. Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте. Учебник для вузов ж.-д. трансп. 4-е изд., перераб. и доп. – М. Транспорт, 1981 – 343 с.

15 Технический регламент по пожарной безопасности.

16 Методические указания для выполнения экономической части ВКР.

17 Петров М. Н., Лещин М. Б. Современные проблемы железнодорожного транспорта российской федерации // международный журнал прикладных и фундаментальных исследований . 2011. №12.

18 Саушев Александр Васильевич, Троян Дмитрий Игоревич Идентификация электроприводов портовых перегрузочных машин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова . 2015. №5 (33).

19. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001. №197-ФЗ// принят ГД ФС РФ 21.12.2001;

20. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

21. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;

22. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

23. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;

24. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

25. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;

26. Правила устройства электроустановок.

27. ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность общие требования и номенклатура видов защиты.

28. ГОСТ Р 22.0.07-95 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров;

29. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

30. ПОТ РО 14000-001-98 Правила по охране труда на предприятиях и в организациях машиностроения.

31. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

32. СП 51.13330.2011. Защита от шума.

33. ГОСТ 12.2.003–91. Система стандартов безопасности труда оборудование производственное общие требования безопасности.