

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод подъемного механизма

УДК 621.873-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Боков Сергей Артурович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	к.т.н. , доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ивашутинко А.С	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	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</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), УК-5 *(ОК-6)), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5 *(ОК-6), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5*(ОК-6), УК-7 *(ОК-8), УК-8 *(ОК-9), ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-6 *(ОК-7), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
По профилям подготовки		
P7	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>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-1 *(ОК-1, ОК-2), УК-2 *(ОК-3, ОК-4), УК-3 *(ОК-5), УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ОПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2 *(ОК-3, ОК-4), ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2*(ОК-3, ОК-4), ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016,</i>

		20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-4, ОПК-5, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8 ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> , 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180

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
 Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ «__» _____ 2019 г. А.С. Ивашутенко

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
35Г4Б1	Бокову Сергею Артуровичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод подъемного механизма
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:
--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p>Кран мостовой опорный грузоподъемностью 20 т., режим работы – циклический. Требования к механизму подъема: диапазон регулирования $D=1:10$, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1 Техническая характеристика механизма подъема крана Раздел 2 Выбор элементов силового канала электропривода Раздел 3 Разработка и исследование моделей электропривода с учетом ШИМ напряжения Раздел 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>

	Раздел 5 Социальная ответственность Заключение Список литературы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	- функциональная схема электропривода; -имитационная модель; -графики переходных процессов электропривода;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н., доцент		21.02.19

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
35Г4Б1	Боков Сергей Артурович		21.02.19

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Бокову Сергею Артуровичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость затрат технического проекта (ТП)</i>	<i>Затраты на Материальные затраты определяются согласно прейскурантам. Зарботная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.</i>
<i>2. Продолжительность выполнения ТП</i>	<i>По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 99 рабочих день</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности</i>	<i>Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.</i>
<i>2. Планирование графика работ по реализации ТП</i>	<i>При составлении графика работ по реализации ТП используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.</i>
<i>3. Составление сметы ТП</i>	<i>При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: - затраты на оборудование; - полная заработная плата исполнителей; - отчисления во внебюджетные страховые фонды; - накладные расходы .</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>Диаграмма Ганта</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Бокову Сергею Артуровичу		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-5Г4Б1	ФИО Боков Сергей Артурович
--------------------------	--------------------------------------

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

1. Характеристика объекта исследования	Объект исследования – асинхронный электропривод подъемного механизма, мостового крана на производственных складах.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Анализ правовых норм трудового законодательства, организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	<p>1. Анализ потенциально возможных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Неудовлетворительный микроклимат; – Повышенные шум и вибрация; – Неудовлетворительное производственное освещение. <p>2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Поражение электрическим током; – Механические травмы;
3. Экологическая безопасность	Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. <p>Пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Боков Сергей Артурович		

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
 Уровень образования: бакалавр
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Введение	10
	Техническая характеристика механизма подъема крана	20
	Выбор элементов силового канала электропривода	10
	Разработка и исследование моделей электропривода с учетом ШИМ напряжения	20
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	20
	Социальная ответственность	20
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страниц, 19 рисунков, 19 таблиц, 34 источника.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, концевой выключатель, преобразователь частоты, прямой пуск, плавный пуск.

Объект исследования: асинхронный электропривод главного подъема крюка крана КМ-20/10.

В процессе работы проводились расчеты мощности двигателя и выбор его по каталогу, естественных характеристик электродвигателя, механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – двигатель, параметров системы управления электропривода. Полученными результатами являются: переходные характеристики асинхронного двигателя с частотным преобразователем.

Область применения: производственные склады.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad, в текстовом редакторе MS Word.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	13
1. Техническая характеристика механизма подъема крана	14
1.1 Механизм главного подъема мостового электрического крана КМ20/10	15
Схема механизма подъема кранов общего и специальных назначений, зависит от многих факторов:.....	17
1.2 Кинематическая схема механизма подъема мостового электрического крана КМ20/10	20
1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода	24
2. Выбор элементов силового канала электропривода	27
Структура условного обозначения:	28
Технические данные электродвигателя приведены в таблице 1.....	29
2.1 Параметры приводного двигателя механизма главного подъёма мостового электрического крана КМ20/10.....	29
2.2 Механическая система электропривода и её параметры.....	30
2.3 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным	31
2.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя	35
2.5 Выбор способа частотного регулирования скорости вращения питателя электродвигателя	39
2.6 Выбор преобразователя частоты	39
2.7 Расчет механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – двигатель	41
3. Разработка и исследование моделей электропривода с учетом ШИМ напряжения	45
3.1 Разработка модели электропривода с учетом ШИМ напряжения инвертора	45
3.2 Расчет параметров системы управления электропривода	52
3.3 Исследование электропривода методом компьютерного моделирования	57
Основные требования к электроприводу	57
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ ,.....	60
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	60
4.1 SWOT-анализ по разработке проекта мостового крана КМ20/10	61
4.2. Определение структуры работ в рамках технического проектирования	65
4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования	66
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	67
4.3 составление сметы технического проекта	70
4.3.1. Расчет материальных затрат.....	70
4.3.2 Полная заработная плата исполнителей	71
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	73
4.3.4. Накладные расходы.....	73
4.4. Формирование сметы затрат технического проекта	74

Таблица 4.10 – Смета затрат технического проекта	74
4.5. Определение ресурсоэффективности проекта	74
5. Социальная ответственность	78
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
Специальные правовые нормы трудового законодательства	79
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	80
5.4 Электробезопасность	83
5.5 Экологическая безопасность	86
5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
Список литературы:	90

ВВЕДЕНИЕ

Многие промышленные предприятия, активно используют электрические грузоподъемные краны, сталкиваются с проблемами, одна из проблем это несоответствия подъемного оборудования современным техническим требованиям. В кранах, изготавлиющиеся серийно и находящиеся в эксплуатации, привод главного подъемного крана осуществляется двигателями постоянного тока с системой регулирования от полупроводниковых преобразователей или асинхронными двигателями с фазным ротором с параметрическим регулированием при помощи изменения сопротивления резисторов, подключаемых к контактным кольцам фазного ротора. Используемое для изменения скорости реостатное регулирование, отличается очень низкой энергетической эффективностью. По некоторым данным в электроприводах механизмов подъема до 70 % потребляемой электроэнергии уходит на обогрев воздуха, причем не только при спуске, но и при подъеме груза.

Подавляющее большинство грузоподъемных кранов оборудовано недорогой и привычной для обслуживания системой управления электроприводом на базе релейно – контакторных панелей, она очень далека от совершенства, характеризуется зависимостью скорости опускания груза от его массы, негативно влияет на ресурс работы механической части крана и требует больших расходов по поддержанию работоспособности механизма.

Среди направлений повышения эффективности использования кранового оборудования можно выделить два основных:

Достаточно большое снижение энергопотребления и повышение надежности. Использование частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может решить обе задачи достаточно невысокими затратами и является на сегодняшний день наиболее эффективным способом модернизации кранового оборудования. Преимуществами применения частотно-регулируемого электропривода по сравнению с другими схемами управления двигателями являются:

- повышение качества и значительная рационализация системы управления;
- автоматическое передвижение груза по заданной программе, т.е. введение крана в систему АСУ ТП;
- возможность согласованного действия нескольких кранов по заданной программе, например, при монтажно-сборочных работах;
- увеличение надежности и срока службы самого привода и всех его механизмов;
- экономия электроэнергии;
- создание предпосылок для дальнейшей модернизации как самих кранов, так и систем управления: введение дистанционного управления, ликвидация приборов контроля грузоподъемности, снижение передаточного соотношения редуктора, ликвидация полиспастов и т.д.

1. Техническая характеристика механизма подъема крана.

Многие грузоподъемные краны характеризуется постоянно меняющимися условиями использования, поэтому механизмы кранов, имеющие электроприводы, должны быть максимально приспособлены к постоянно изменяющейся работе с грузами, разнообразными по массе, размерам, форме, и в условиях производственных помещений или на открытых грузовых площадках. В мостовых крановых механизмов подъем груза размещен на крановой тележке. В зависимости от назначения крана, тележки комплектуют одним, двумя или, весьма редко, тремя механизмами подъема: главным - на номинальную грузоподъемность и вспомогательными на максимальную грузоподъемность, меньшую номинальной в 3- 5 раз для кранов средней грузоподъемности и в 4 - 10 раз для кранов большой грузоподъемности.

Схема механизма подъема кранов общего и специального назначений зависит от многих факторов: грузозахватного устройства, массы груза,

высоты подъема груза, необходимых скоростей подъема или опускания груза и т. д.

В основном для подъема груза используют редукторный привод с полиспастной подвеской. Подъем осуществляется со скоростью не более 1м/с и при ускорении $0,1 \div 0,5 \text{ м/с}^2$. Скоростные параметры определяют производительность подъемных механизмов, их энергоемкость и технологические условия работы. Механизмы подъема кранов должны иметь низкие установочные и посадочные скорости для обеспечения безопасной посадки грузов и грузозахватных органов или для снижения нагрузки на механические тормоза для обеспечения необходимого уровня их износостойкости. Нагрузка механизма подъема изменяется от номинального до холостого значения хода, так же и по направлению в режиме подъема и спуска. При номинальных скоростях подъема во время пуска и торможения в системах привода появляются ударные нагрузки, значительно превышающие номинальные значения, поэтому предусмотрены специальные меры по их ограничению.

1.1 Механизм главного подъема мостового электрического крана КМ20/10

В качестве приводного двигателя принят электродвигатель типа **4МТКН200LB6** асинхронный с короткозамкнутым ротором 380В. 30кВт. 945 об/мин. На лебедке привода установлен тормоз типа ТКГ – 400 МУ2, 380В. 50Гц. Управление электродвигателем производится при помощи преобразователя частоты 1UZ SINAMICS G120 POWER MODULE PM240, 37Кw, с управляющим модулем SINAMICS G120 CONTROL UNIT CU240S, производства SIEMENS.

С преобразователем SINAMICS G120 используется панель оператора, входящая в комплект привода. Панель используется для управления приводом, когда привод находится в режиме местного управления в процессе ремонта. Команды подаются с клавиатуры панели управления и всегда имеют приоритет над внешними сигналами управления. Коэффициент

полезного действия преобразователя – 0,97 и более. Коэффициент мощности – 0,95 и более.

Преобразователь частоты обеспечивает увеличение ресурса работы электротехнического и механического оборудования за счет плавности регулирования частоты при разгоне и торможении, отсутствия пусковых моментов повышенной кратности и механических ударных нагрузок.

Преобразователь частоты обеспечивает:

- оперативное включение – отключение приводного двигателя;
- плавный частотный разгон с заданной скоростью;
- осуществление заданных значений пускового тока и крутящего момента двигателя;
- поддержание значения частоты вращения;
- реверсирование и торможение привода;
- защиту преобразователя и двигателя в аварийном и внештатном режимах;
- сигнализацию и информацию о работе привода.
- включение тормоза только после автоматической проверки схемой появления выходного напряжения на двигателе;
- регулируемый статизм механической характеристики.

Преобразователь частоты комплектуется резистором динамического торможения двигателя. Для защиты от помех преобразователь частоты снабжен сетевым дросселем и выходным дросселем.

На всех скоростях система регулирования привода обеспечивает разгон и замедление механизма в функции времени с помощью задатчика интенсивности, который скачкообразный сигнал задания преобразовывает в сигнал с прямолинейным плавным изменением величины напряжения до заданного уровня. Управление приводом осуществляется из кабины команда контроллера типа ККП - 1108АУ2.

В мостовых кранах механизм подъема груза размещен на крановой тележке. В зависимости от назначения крана, тележки комплектуют одним, двумя или, очень редко, тремя механизмами подъема:

- главным — на номинальную грузоподъемность
- вспомогательными на грузоподъемность, меньшую номинальной в 3-5 раз для кранов средней грузоподъемности и в 4-10 раз для кранов большой грузоподъемности.

Схема механизма подъема кранов общего и специальных назначений, зависит от многих факторов:

- типа грузозахватного устройства
- массы поднимаемого груза
- высоты подъема
- необходимых устойчивых скоростей подъема или опускания груза и т.д.

Общая компоновка и размещение механизмов подъема на тележках кранов общего назначения грузоподъемностью 5...50т. и 80...320 т. на тележках кранов специального назначения.

Этот механизм состоит из грузового каната, сходящего с барабана и проходящий через блочки полиспаста, обводные блоки и уравнильные блоки редуктора, снабженного тормозом, промежуточного быстроходного приводного вала электродвигателя. Для увеличения тяговых усилий в механизмах подъема используют полиспаст, который представляет из себя систему подвижных и неподвижных обводных блоков. Механизмы кранов грузоподъемностью 80...320 т выполняют по такой же схеме, отличие их наличием дополнительной понижающей зубчатой передачи или дополнительного редуктора, с помощью которых ведущий вал главного редуктора соединен с барабаном. При этом второй редуктор, выполняет функцию быстроходной передачи. Колесо дополнительного редуктора жестко соединено с барабаном, а шестерня установлена на отдельном валу на опорах и присоединена к выходному валу основного редуктора с

помощью зубчатой муфты или установлена на выходном валу редуктора. Для уменьшения консольной нагрузки, действующей на вал редуктора, используют дополнительную опору - кронштейн, присоединяемый к корпусу редуктора.

На рисунке 1 показан общий вид расположения механизма главного и вспомогательного подъема, на тележке мостового крана общего назначения грузоподъемностью 20/10 т. В механизме главного подъема использован четырехкратный полиспаст. Привод главного и вспомогательного подъемов осуществляется соответственно электродвигателями через редукторы. На выходных валах редукторов, установлены тормозные барабаны для затормаживания.

В магнитных кранах, оборудованных грузовым электромагнитом, механизм подъема (рисунок 1) снабжен дополнительно кабельным барабаном и токосъемником для гибкого кабеля, подводящего электричество к грузовому электромагниту. Кабельный барабан установлен в опорах, вблизи барабанного механизма подъема, от которого через зубчатую или цепную передачу приводится в движение. Причем передаточное число выбирается таким образом, что-бы обеспечивалось синхронное движение электромагнита и кабеля при работе механизма подъема.

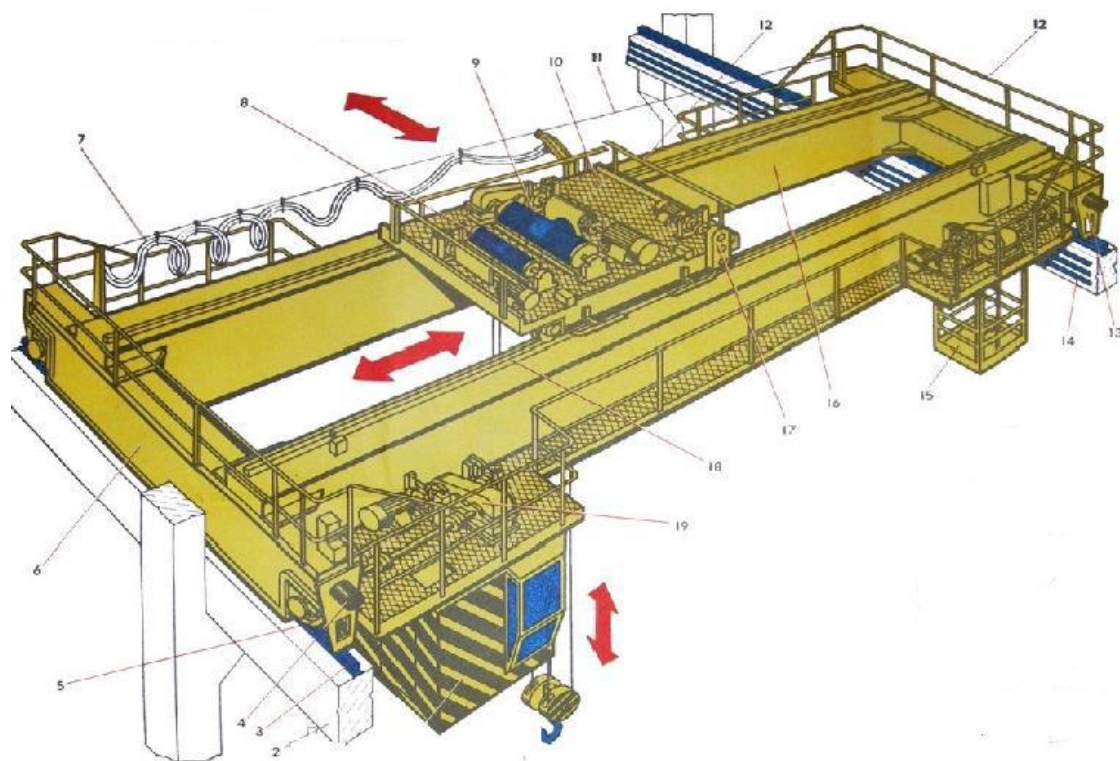


Рисунок 1 – механизмы главного и вспомогательного подъема на тележке крана общего назначения грузоподъемностью 20/10 т

- 1 - Кабина управления;
- 2 - Балка;
- 3 - Крановые рельсы;
- 4 - Эластичный буфер;
- 5 - Ходовое колесо;
- 6 - Концевая балка моста;
- 7 - Кабельный токопровод;
- 8 - Вспомогательный механизм подъема груза;
- 9 - Основной механизм подъема груза;
- 10 - Грузовая тележка;
- 11 - Несущий канат кабельного токопровода;
- 12 - Перила;
- 13 - Щит;
- 14 - Цеховые траншеи;
- 15 - Инвентарная люлька для выполнения осмотров; 18

16 - Главная балка моста;

17 - Механизм передвижения грузовой тележки;

18 - Рельсы грузовой тележки;

19 - Механизм передвижения крана.

1.2 Кинематическая схема механизма подъема мостового электрического крана КМ20/10

Кинематическая схема механизма (рисунок 2).

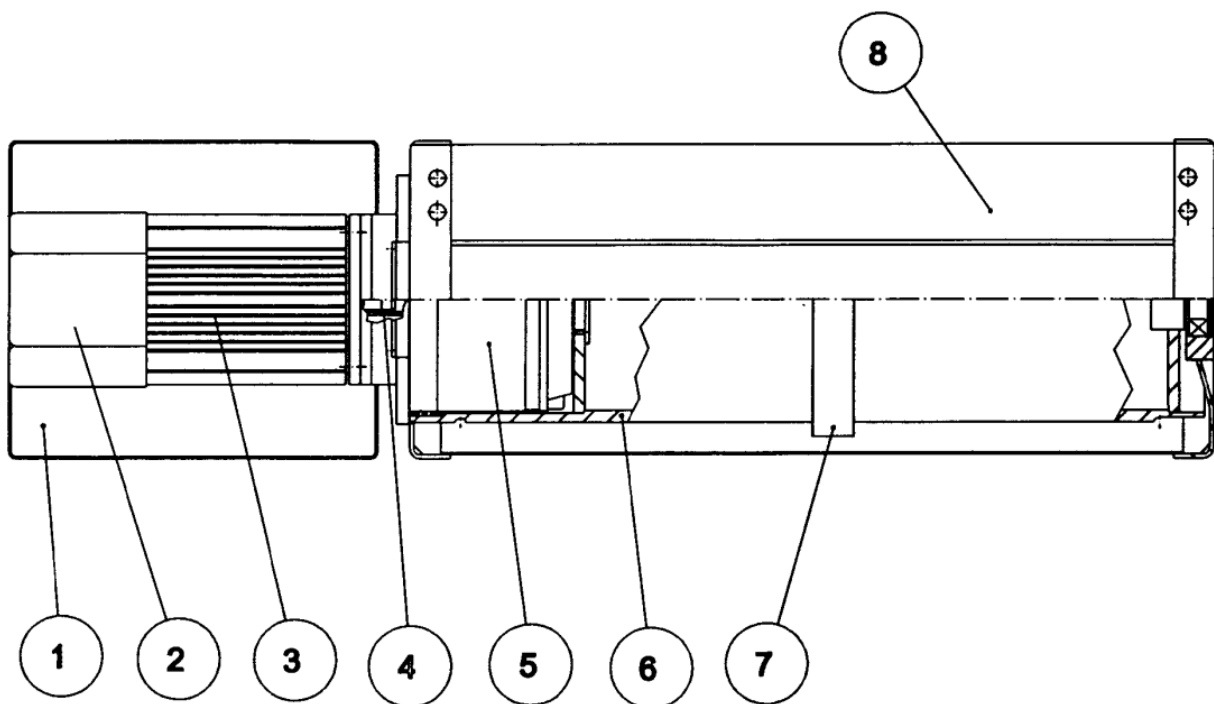
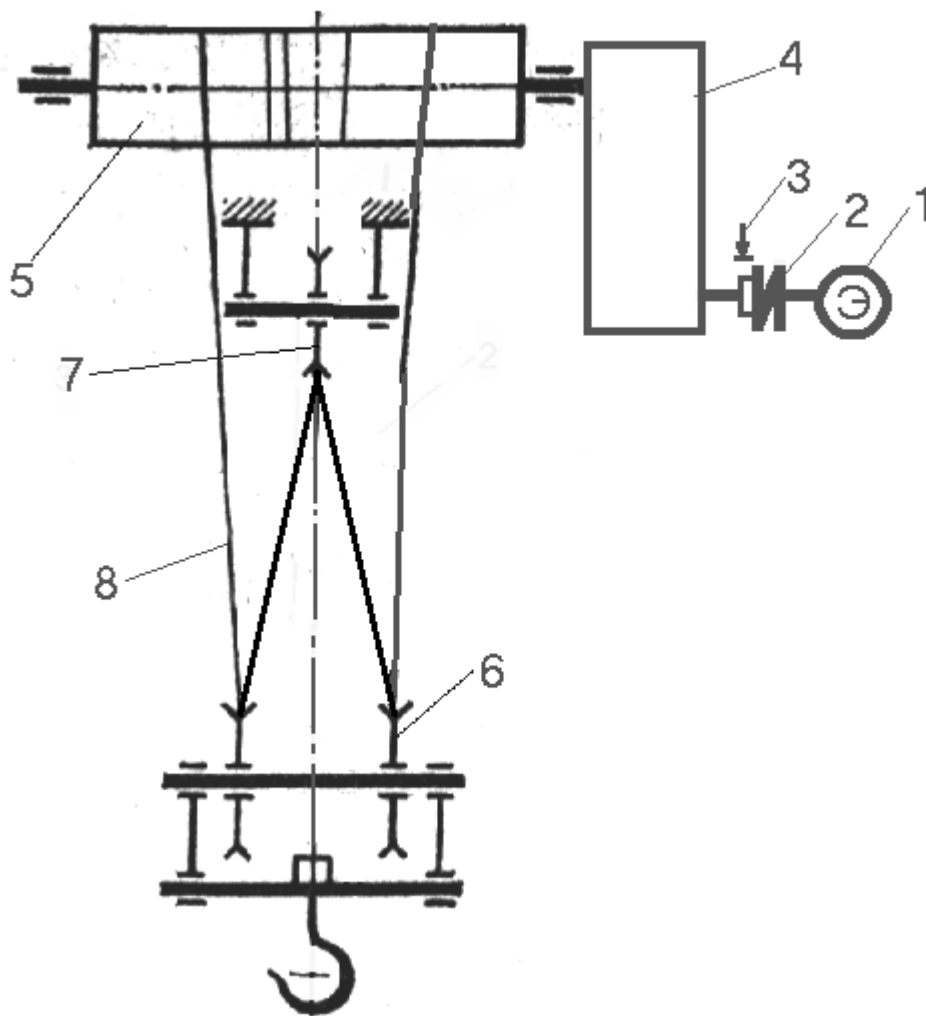


Рисунок 2.1. Кинематическая схема электропривода подъема крана:

1 - корпус; 2 - электромагнитный тормоз; 3 - электродвигатель; 4 - муфта; 5 - редуктор; 6 - барабан; 7 - канатоукладчик ; 8 – кожух

Механизма подъема работает следующим образом: питание подается одновременно на электродвигатель (3) и на электромагнитный тормоз (2). При подаче питания на электромагнитный тормоз, он разжимается, и вал двигателя начинает вращаться. Через муфту (4) крутящий момент передается на редуктор (5). Редуктор увеличивает крутящий момент и приводит в движение барабан (6). При вращении барабана вдоль него движется канатоукладчик (7). При этом грузовой канат укладывается равномерно в пазы барабана. Это необходимо для равномерной укладки каната. Если канат будет неравномерно укладываться, возможно его запутывание и дальнейшая работа будет осложнена.

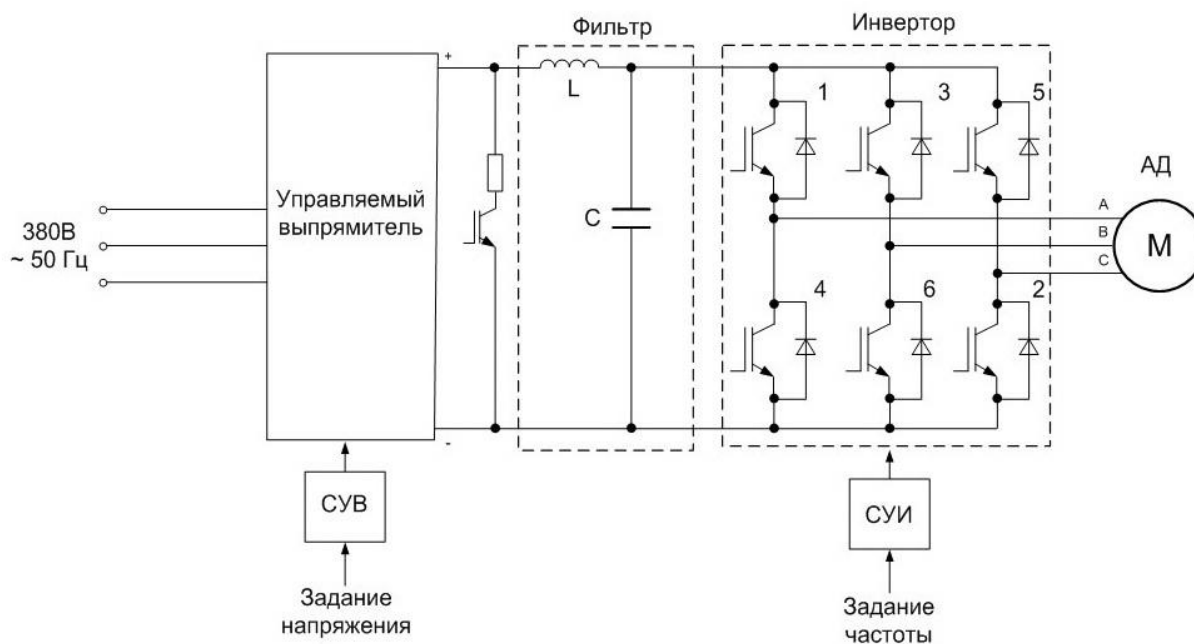


Рис. 2.2 Схема замещения ПЧ - АД

В данном механизме применен двухступенчатый редуктор с передаточным числом 71. Общий вид редуктора приведен на рисунке 3.

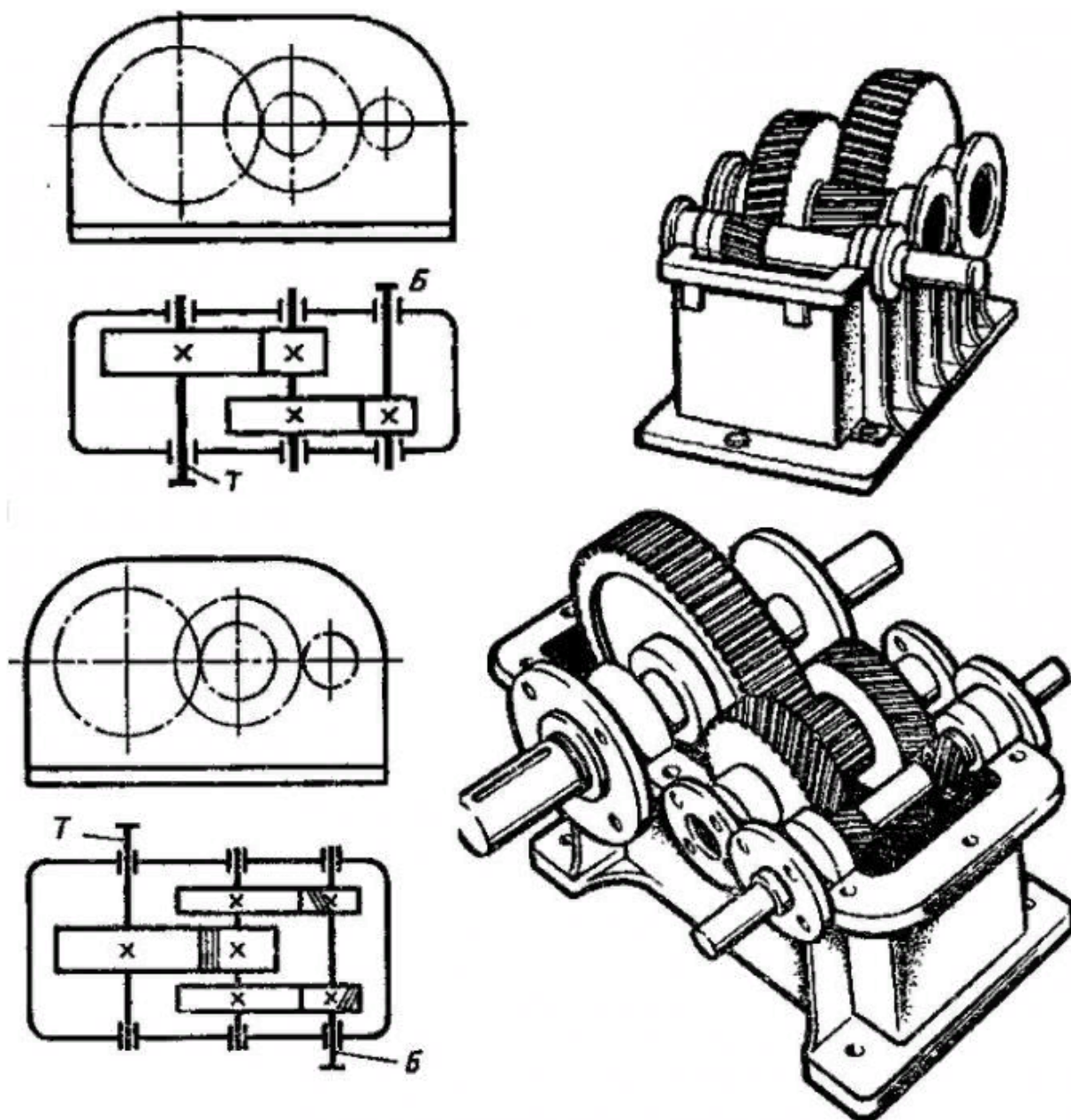


Рисунок 3 – Редуктор механизма подъема крана

1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода.

Много промышленных предприятий, использующие электрические грузоподъемные краны, сталкиваются с проблемой несоответствия подъемного оборудования новым техническим требованиям. Большинство крановых электроприводов находящихся в эксплуатации выполнены на базе асинхронных электродвигателей с фазным ротором, которые управляются силовыми контроллерами либо низковольтными комплектными устройствами (панелями управления). Достоинство таких электроприводов является простота их использования, низкая стоимость и ремонтпригодность. Но у этих электроприводов есть существенные недостатки:

- большие потери электроэнергии, обусловленные низким $\cos\phi$ и КПД
- выход из строя электродвигателя из-за перекоса в роторных цепях, вызванных потерей контактов в цепи сопротивлений или контакторах;
- ударное изменение крутящего момента двигателя, и из за этого динамические перегрузки узлов крана, обусловленные ступенчатым выведением сопротивлений из цепи ротора;
- невозможно получить посадочной скорости в электроприводах механизмов подъема с силовыми контроллерами;
- отсутствие режима силового спуска пустого крюка и легких грузов в электроприводах механизмов подъема с панелями управления;
- нельзя получить электрическое торможение в электроприводах механизмов передвижения;
- низкая износостойкость релейно - контакторной аппаратуры;
- большие потери энергии при спуске и торможении электропривода в интенсивном режиме работы.

Промышленные предприятия зачастую, использующие краны, изменяют технологию производства, а так же номенклатуру выпускаемой

продукции, производят перепланировку производственных и складских помещений, подъемные краны, управляемые из кабины, переводятся на управление с пола по радиоканалу и т.д.

На сегодняшний день наиболее эффективным методом модернизации (реконструкции) электрооборудования крана считается использование частотно - регулируемого электропривода.

Использование частотно - регулируемого электропривода обеспечивает следующие преимущества:

- существенно снижается электропотребление до 60%;
- повышается точность и качество регулирования скорости;
- плавность пуска и торможения увеличивают срок службы всех механических элементов, повышается комфортабельность управления и обеспечивают сохранность груза;
- асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором дешевле и надежнее электродвигателей с фазным ротором.

Встроенные функции преобразователя позволяют легко интегрировать их в электроприводы подъемно - транспортное оборудование. Преобразователь имеет систему диагностики с выдачей сообщения об ошибках и сбоях на графический монитор. Функция тормоз предназначена для подачи сигнала на открытие тормоза (по достижении электродвигателя необходимого крутящего момента) и сигнала на срабатывание тормоза (при снижении скорости до минимальной скорости). Для корректировки тока снятия тормоза, в зависимости от веса груза может использоваться функция весоизмерителя, для использования внешнего датчика груза (ограничитель грузоподъемности).

Разгон и торможение привода с использованием частотного преобразователя производится по S-образному закону, за счет чего происходит плавное повышение моментов и усилий во всех узлах и механизмах крана. В связи с тем что управление торможением выполняется самим электроприводом, а тормоз предназначен для удержания механизма после полной остановки

привода, уменьшается раскачивание груза после остановки. В ходе разгона и/или торможения электропривода возможно изменение времени пуска и торможения внешними сигналами или по достижению определенной выходной частоты преобразователя. Профиль кривых пуска и торможения позволяют выбрать наиболее подходящий для конкретного механизма закон управления скорости.

Функция позиционирования по конечным выключателям позволяет подключать контакты выключателей непосредственно к логическим контактам преобразователя. Концевые выключатели могут использоваться для предварительного снижения скорости и остановки.

Ограничение момента при векторном управлении позволяет устанавливать требуемую механическую характеристику, причем для двигательного и генераторного режима работы ограничение момента возможно задавать индивидуально.

Сложившаяся практика использования частотного электропривода основывается на том, что электроэнергия генерируемая двигателем при спуски груза или при торможении инерционного механизма, передается на блоки тормозных электрических сопротивлений и преобразуется в тепловую энергию. Торможение с подключением внешнего резистора получило наибольшее распространение в электроприводах с преобразователями частоты как отечественного, так и зарубежного производства.

У такого способа торможения есть некоторые недостатки. Тормозной резистор подключается к каждому преобразователю частоты, что увеличивает стоимость электропривода и увеличивает массу установки. Энергия торможения, за исключением потерь в элементах электропривода, выделяется в виде тепловой на тормозном резисторе, что приводит к его значительному нагреву и нерациональному использованию электрической энергии. Альтернативой такому нерациональному использованию энергии является применение модулей рекуперации, которые заменяют резисторы в приводах с длительной работой в генераторном режиме или имеющих

большую тормозную мощность, как, например, у подъемных и инерционных механизмов. В этом случае энергия торможения электропривода возвращается в питающую сеть.

На сегодняшний день, с развитием преобразовательной техники, с одной стороны, и постоянно растущими тарифами на электроэнергию, с другой стороны, применение модулей рекуперации становится все более востребованным.

Основные преимущества модулей рекуперации:

- компактность;
- простой ввод в эксплуатацию не требует программирования и настройки;
- возможность подключить к звену нескольких преобразователей частоты постоянного тока;
- дает возможность параллельного подключения до 4 модулей рекуперации;
- тормозные сопротивления окупаются в течении 1-2 лет.

Цена комплекта ” частотный преобразователь - асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором” сопоставима с ценой других решений как, к примеру «пусковой дроссель двигателя с фазным ротором». Применение частотно - регулируемого электропривода является современным решением для кранового электропривода.

2. Выбор элементов силового канала электропривода.

Частотные преобразователи используются с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Разработчики или изготовители кранов, модернизируя крановый электропривод, для частотно - регулируемого электропривода применяют традиционные электродвигатели кранов, с роторами специального исполнения, залитые сплавом повышенного сопротивления. Это необходимо для обеспечения повышенного момента в процессе частых пусков. Для создания теплового режима принимаются

специальные меры по снижению кратности пусковых токов, увеличиваясь расходы активных материалов. Все это приводит к увеличению стоимости и веса двигателя. Система изоляции и подшипниковые узлы серийных двигателей не приспособлены для работы с преобразователями частоты, что приводит к преждевременному выходу из строя обмоток статора, разрушение изоляции стержней ротора, разрушению подшипников и датчиков положения, в электроприводе главного подъема. Система управления получается нецелесообразной из-за необходимости применения более мощных частотных преобразователей и двигателей больших размеров. В связи с этим для частотно – регулируемых электроприводов необходимо применять специальные электродвигатели .

С учетом вышесказанного, для электропривода механизма подъема крана выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором крановой серии типа **4МТКН200LB6**, адаптированный для работы от частотного преобразователя.

Структура условного обозначения:

МТ - маркировка кранового электродвигателя от производителя
Н - нагревостойкость по ГОСТ Р 51689 (класс Н - 180°С);
200 - габарит наружного диаметра листов статора;
LB - условное обозначение длины сердечника статора;
6 - число полюсов отвечает за кол-во оборотов ротора до 1000 об/мин;
У1 - климатическое исполнение 1 - категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Технические данные электродвигателя приведены в таблице 1.

Технические данные двигателя	Мощность P ₂ , кВт	Синхронная частота вращения n ₀ об/мин	При номинальной нагрузке		
			Частота вращения n _н об/мин	КПД η _н , %	cos φ _н
МТН200ЛВ6	30	1000	960	88,3	0,83
M _{max}	M _{пуск}	I _{пуск}	J _{дв.} кг*м ²	Степень защиты	Климат исполн.
981 Н*М	932 Н*М	380 А	0,638	IP54	У1

Примечания к таблице 1

1 Технические характеристики приведены для основного режима работы S3 (ПВ = 40 %).

Номинальное напряжение 220/380 В, номинальная частота 50 Гц.

2.1 Параметры приводного двигателя механизма главного подъёма мостового электрического крана КМ20/10.

Расчетные параметры электродвигателя:

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104,712 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение электродвигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$$

Номинальная частота вращения электродвигателя

$$\omega_{\text{дв.н.}} = \frac{n_{\text{ном}}}{9,55} = \frac{960}{9,55} = 100.523 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент электродвигателя

$$M_{дв.н.} = \frac{P_H \cdot 1000}{\omega_{дв}} = \frac{30000}{100.523} = 298,439 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный ток электродвигателя.

$$I_{н.} = \frac{P_H \cdot 1000}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos\varphi_H \cdot \frac{\eta_H}{100}} = 62 \text{ А.}$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_{двн}} = \frac{981}{298,439} = 3,28$$

$$m_{пуск} = \frac{M_{пуск}}{M_{двн}} = \frac{932}{298,439} = 3,12$$

кратность пускового тока

$$k_{пуск} = \frac{I_{пуск}}{I_{1н}} = \frac{380}{62} = 6,1$$

2.2 Механическая система электропривода и её параметры

Расчетная схема замещения механической системы электропривода питателя может быть представлена в виде одномассовой системы (рисунок 4).

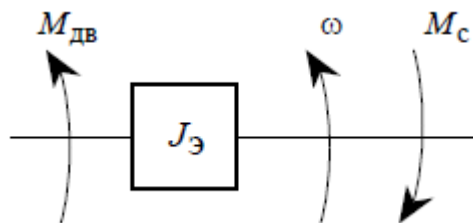


Рисунок 4 – Расчетная схема механической системы привода

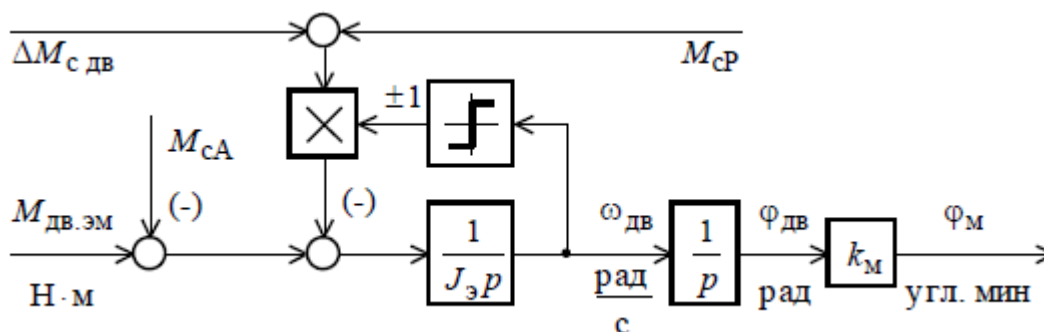


Рисунок 5 – Структурная схема одномассовой механической системы электропривода: а – регулируемого; б – следящего

На схеме рисунке 4 приняты следующие обозначения:

$M_{дв}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя, Н·м;

$M_{п}$ – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя, Нм;

ω – угловая скорость, с/рад ;

$J_э$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, кг · м²

Эквивалентный момент инерции

$$J_э = J_{дв} + k \cdot J_{дв} + J_{ш.пр} = 0.1 + 0.2 \cdot 0.638 + 0.0182 = 0.2458 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где

$k=0.2$ – коэффициент, учитывающий момент инерции соединительной муфты и первой шестерни редуктора.

2.3 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным.

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, соответствующей простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя Т-образной схеме замещения. Расчёт параметров схемы замещения асинхронного двигателя 4МТКН200LB6 по его

каталожным данным (таблица 1) произведён в соответствии с методикой, изложенной .

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{p^* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H)}{1 - p^* \cdot s_H} \right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{1 - p^* \cdot s_H} \right]^2}} = \sqrt{\frac{71,945^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 62 \cdot (1 - 0,04)}{1 - 0,75 \cdot 0,04} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,04)}{1 - 0,75 \cdot 0,04} \right]^2}} = 36,362A.$$

Где,

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0,75 \cdot 30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,867 \cdot 0,905} = 71,945A.$$

- ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$p^* = \frac{P}{P_H}$ - коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^*=0,75$

η_{p^*} - КПД двигателя при частичной нагрузке, $\eta_{0,75} = 0,905$

$\cos \varphi_{p^*}$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке,

$\cos \varphi_{0,75} = 0,867$.

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{овн}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,04)}{2 \cdot 3,28 \cdot 30000 \cdot 1,045^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,314} \right)} = 0,154 \text{ Ом}$$

Где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$, предварительно принимаем $\beta=1$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{идв}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{10,272}{2 \cdot 5,694 \cdot 62} = 1,045 - \text{расчетный коэффициент.}$$

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

$$= 0,04 \cdot \frac{3.28 + \sqrt{3.28^2 - [1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (3.28 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (3.28 - 1)} = 0,314$$

- критическое скольжение двигателя.

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1.045 \cdot 0.154 \cdot 0.8 = 0.128 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 3.023 \cdot 1.045 \cdot 0.154 = 0.486 \text{ Ом,}$$

Где

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,314^2} - 1^2} = 3.023.$$

Найденное значение коэффициента $\gamma = 3.023$, практически определяющее отношение индуктивного сопротивления короткого замыкания в номинальном режиме к приведенному активному сопротивлению обмотки ротора (коэффициент $C_1 \approx 1$), для двигателя мощностью 30 кВт является приемлемым.

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X_{2\sigma}' = 0.58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{0.486}{1.045} = 0.269 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2\pi \cdot f_1} = \frac{0.269}{2\pi \cdot 50} = 0.856 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{кн} = 0.42 \cdot 0.486 = 0.204 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi f_1} = \frac{0.204}{2\pi \cdot 50} = 0.649 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_{\mu}}{I_0} = \frac{173.83}{36,362} = 4.780 \text{ Ом.}$$

Где

$$\begin{aligned} E_{\mu} &= \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos\varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1н} \cdot \sin\varphi_n - I_{1н} \cdot X_{1н})^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.83 - 71.945 \cdot 0.128)^2 + (220 \cdot \sin(\arccos(0.83)) - 71.945 \cdot 0.204)^2} \\ &= 173.83 \text{ В.} \end{aligned}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме.

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2\pi f_1} = \frac{4.780}{2\pi \cdot 50} = 0.015 \text{ Гн.}$$

Полученные расчётные параметры Т-образной схемы замещения электродвигателя сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчётные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{кн}, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$X_{2\sigma'}, \text{Ом} \square$	$X_{\mu}, \text{Ом}$
0.128	0,154	0.486	0.204	0.269	4.780

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

$$\begin{aligned} \Psi_{2H(1)} &= \frac{M_{эм.н}^*}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2}} \\ &= \frac{333.979}{\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0.018}{(0.018 + 4.83 \cdot 10^{-4})} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{71.945^2 - 36.552^2}} \\ &= 0.913 \text{ Вб.} \end{aligned}$$

$$\Psi_{2H(2)} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 36.552 \cdot 0,018 = 0.913 \text{ Вб.}$$

$\Psi_{2H(1)} = \Psi_{2H(2)}$ - следовательно параметры схемы замещения рассчитаны верно.

$$M_{дв.и} = 308.846 \text{ Н.м}$$

$$M_{эм.н}^* = 1.05 \cdot M_{дв.и} = 1.05 \cdot 308.846 = 333.979 \text{ Н.м.}$$

$$\Delta M_{с.дв} = M_{эм.и}^* - M_{дв.и} = 333.979 - 308.846 = 25.937 \text{ Н.м.}$$

2.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$ рассчитывается по выражениям:

$$\begin{aligned} M(s) &= \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,154}{157.07 \cdot s \cdot \left[5.547^2 + \left(0.215 + \frac{0.258}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.215 \cdot 0.258}{s \cdot 5.547} \right)^2 \right]} \\ \omega &= \omega_0 \cdot (1 - s). \end{aligned}$$

Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ приведена на рисунке 6.

Номинальный электромагнитный момент электродвигателя

$$M_{эм.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,154}{157,07 \cdot 0,04 \cdot \left[4,780^2 + \left(0,128 + \frac{0,154}{0,04 \cdot 4,780} \right)^2 \right]}$$

$$= 350,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

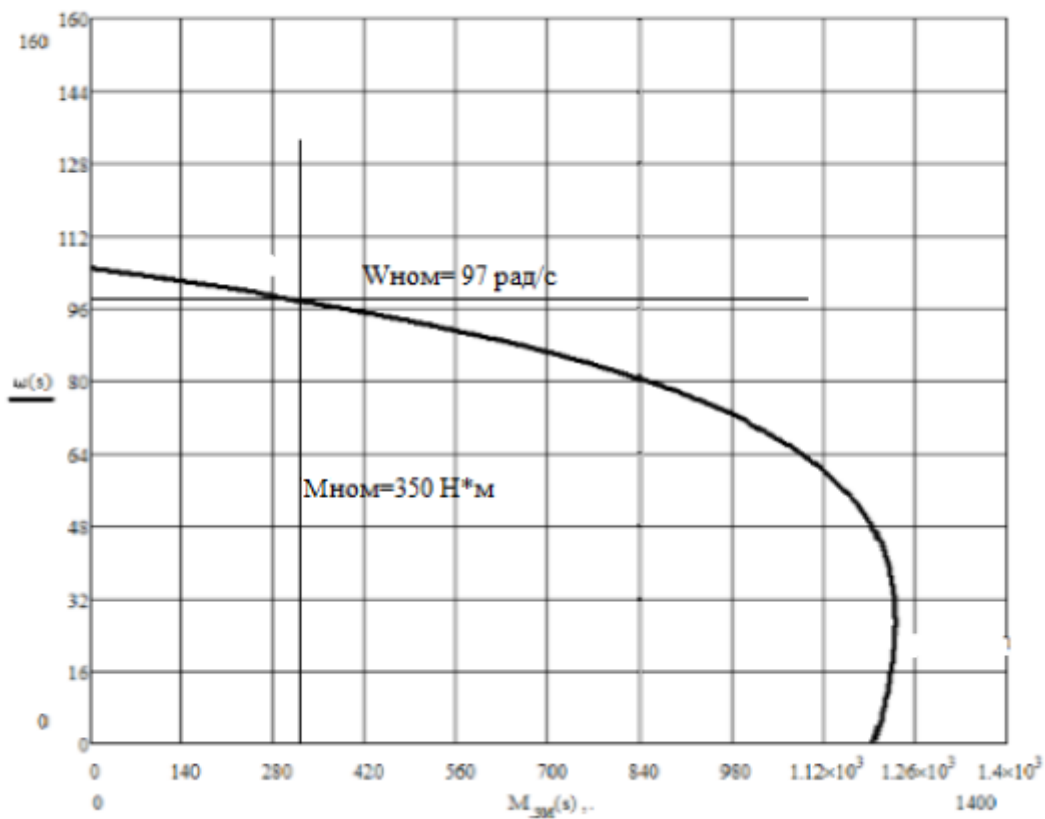


Рисунок 6 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$.

$$\begin{aligned}
I_2'(s) &= \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \\
&= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0.215 + \frac{0.258}{s}\right)^2 + 0.273^2 + \left(\frac{0.215 \cdot 0.258}{s \cdot 5.547}\right)^2}} \\
I_1(s) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot 38.826 \cdot I_2'(s)^2 \cdot \sin\varphi_2}
\end{aligned}$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$$

Где

$$\sin\varphi_2 = \frac{x_{KM}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{KM}^2}} = \frac{1.059}{\sqrt{\left(0.215 + \frac{0.258}{s}\right)^2 + 0.273^2}}$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя и $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$ приведены на рисунке 7.

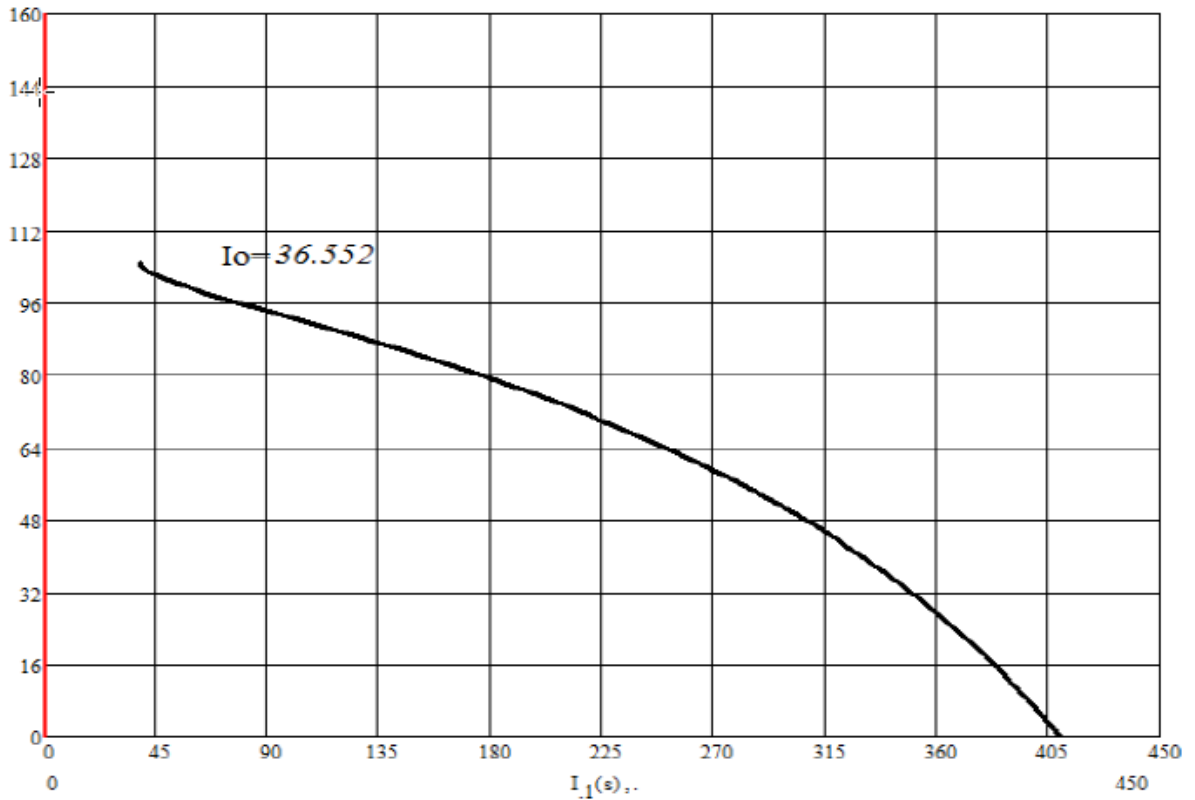


Рисунок 7- Естественные электромеханические характеристики асинхронного двигателя $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$.

$$I_0 = 36,552 \text{ A.}$$

Рассчитанные характеристики на рабочих участках соответствуют каталожным данным электродвигателя:

$$M_{max} = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 3.824 \cdot 308.042 = 1178 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_n = m_n \cdot M_{\text{дв.н}} = 3.759 \cdot 308.042 = 1158 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{1n} = k_{i_{\text{дв}}} \cdot I_{1н} = 5.69 \cdot 34.8 = 409.652 \text{ A}$$

Это значит то, что параметры схемы замещения соответствуют действительным параметрам электродвигателя и могут быть использованы для расчета статических характеристик, а так же моделирование

динамических процессов в асинхронном электродвигателе с частотным регулированием.

2.5 Выбор способа частотного регулирования скорости вращения питателя электродвигателя.

В простом случае частотное регулирование скорости вращения асинхронного двигателя производится с помощью разомкнутой системы, скалярного управления изменения частоты и амплитуды трехфазного напряжения, подаваемого на электродвигатель. Векторное управление является более сложным, но позволяет получить более высокие качественные показатели регулирования напряжения. Для выбора способа управления частотного регулирования системы преобразователя частоты асинхронного двигателя воспользуемся рекомендациями, представленными в подразделе 3. Технические требования к электроприводу питания ПСУ и показателей, приведенных в таблице, показывает, что достаточно применить разомкнутую систему скалярного управления. Но, учитывая произвести необходимый запас по моменту не только в нижней, но и в верхней части диапазона регулирования скорости, конечный выбор частотного управления асинхронным двигателем осуществим по решению расчета механических и электромеханических характеристик системы, преобразователь частоты асинхронный электродвигатель.

2.6 Выбор преобразователя частоты

В соответствии с техническими требованиями к электроприводу и рекомендациями, выбираем преобразователь частоты 3G3RV-A4185-E компании *Omron*. Эксплуатация таких преобразователей на практике подтвердила их хорошие технические, эксплуатационные, а так же энергетические характеристики. Технические характеристики преобразователя приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики преобразователя частоты
3G3RV-A4185-E

Наименование параметра	Параметры
Номинальная выходная мощность, кВА	30
Максимальная мощность двигателя, кВт	37
Номинальный выходной ток, А	39
Максимальный выходной ток в течение 1 минуты, %	150 (0.5 Гц)
Максимальное выходное напряжение, В	380-480
Диапазон регулирования частоты, Гц	0.01–150
Количество фаз сети	3
Частота сети, Гц	(50÷60)±2
Защитное исполнение	IP20
Потребляемая мощность, Вт	634
Диапазон регулирования скорости	1:40 – скалярное управление 1:100 – векторное разомкнутое управление
Разрешение по выходной частоте, Гц	0.001
Время ускорения/замедления, с	0.01–6000
Защита от перегрузки по току, %	200

Допустимый ток преобразователя (в период 1 минуты)

$$I_{u \max} = k'_i \cdot I_{u.n.} = 1.5 \cdot 39 = 58.5 \text{ A.}$$

Ток отключения преобразователя

$$I_{u \text{ откл}} = k_i'' \cdot I_{ин} = 2 \cdot 39 = 78 \text{ A.}$$

2.7 Расчет механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – двигатель

Нагрузка электропривода ПСУ является постоянной по значению в технологическом цикле, поэтому регулирование скорости вниз от основной (номинальной) скорости двигателя $n_0 = 1500 \frac{\text{мин}}{\text{об}}$. до минимальной рабочей скорости $n_{p.min} = 500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ($\omega_{p.min} = 52.36 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$) осуществляется при реализации закона управления $U_1/f_1 = \text{const}$. Вверх от основной скорости до максимальной скорости $n_{p.max} = 1900 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ($\omega_{p.max} = 198.95 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$) регулирование осуществляется при постоянном значении напряжения $U_1 = \text{const}$ путем повышения частоты.

Механические характеристики двигателя $\omega(M)$ при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]}$$

$$= \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2(f_1) \cdot 0.202}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[0.273^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0.215 + \frac{0.252}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.215 \cdot 0.252}{s \cdot 5.547 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]}$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$$

Где $U_1(f_1) = U_{1\phi H} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}$ при $f_1 < f_{1H}$

$$U_1(f_1) = U_{1\phi_n} \text{ при } f_1 \geq f_{1n}$$

По результатам расчета построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ (рисунок 9).

Электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0(f_1)^2 + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin\phi_2(s, f_1)}$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_s'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}}$$

$$= \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\sqrt{\left(0,215 + \frac{0,258}{s}\right)^2 + 0,273^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,215 \cdot 0,258}{s \cdot 5,547 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}}$$

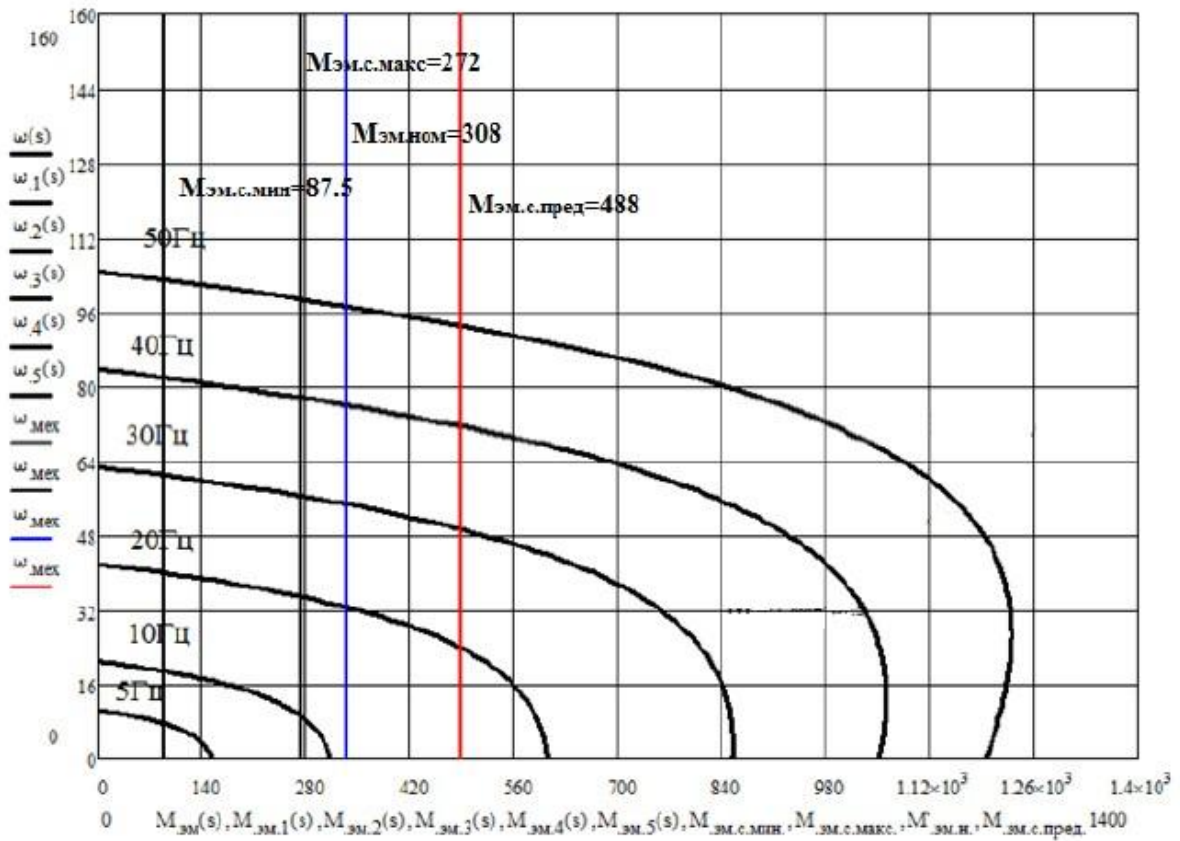


Рисунок 9 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при скалярном управлении и законе регулирования

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

$$\begin{aligned} \sin\varphi_2(s, f_1) &= \frac{x_{км} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} \\ &= \frac{0,273 \cdot \frac{f_1}{50}}{\sqrt{\left(0,215 + \frac{0,258}{s}\right)^2 + 0,273^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}} \end{aligned}$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1H} + x_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\sqrt{0,275^2 + (0,115 + 5,547)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}}$$

По результатам расчетов построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ (рисунок 10).

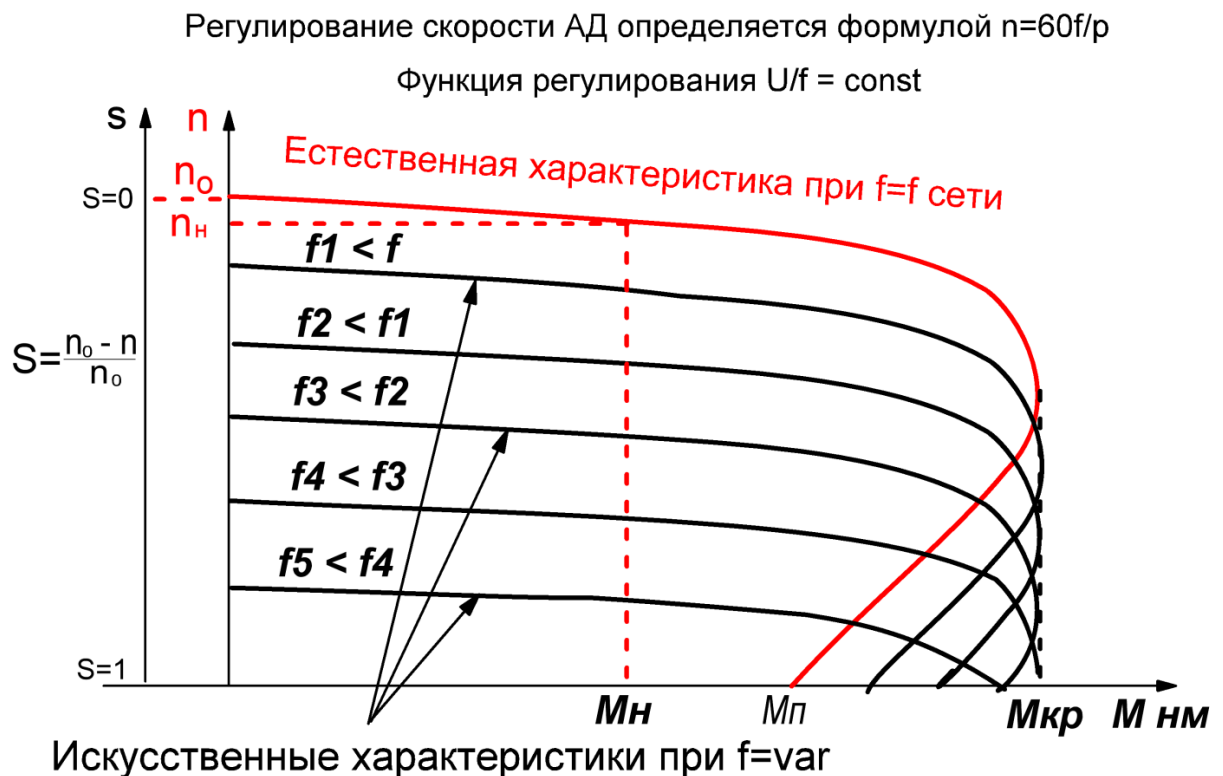


Рисунок 10 - Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ системы преобразователь – двигатель при скалярном управлении и законе управления

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$$

3. Разработка и исследование моделей электропривода с учетом ШИМ напряжения

3.1 Разработка модели электропривода с учетом ШИМ напряжения инвертора

При учете ШИМ выходного напряжения инвертора предполагается синусоидальная система ШИМ управления инвертором с наложением третьей гармоники.

Справочные технические данные асинхронного двигателя приведены в таблице 1. Справочные и расчетные параметры двигателя приведены в разделах 2.2, 2.4 и 2.6, справочные параметры преобразователя частоты – в разделе 2.6.1, а механической системы электропривода – в разделе 2.3.

Имитационная модель регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением реализуются на основе моделей асинхронного двигателя, трехфазного инвертора напряжения с ШИМ и механической системы (рисунки 11, 12, 13, 14 и 15).

Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением в общем случае являются:

- модель двухфазного двигателя в неподвижной системе координат в моделях электропривода без учета ШИМ; β α ,
- модель асинхронной машины Asynchronous Machine из библиотеки блоков SimPowerSystems Simulink – Matlab с коррекцией типового блока Mechanical model [часть 8];
- преобразователь частоты из библиотеки блоков SimPowerSystems Simulink – Matlab;
- формирователь 6-канального ШИМ – сигнала;
- блок одномассовой механической системы;
- блок формирователя управлений, включающий в себя формирователи вольт - частотной характеристики $U_1(f_1)$, напряжений двухфазной

$$U_{\alpha}(t) = \sqrt{2} \cdot U_1(f_{1зад}) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{1зад} \cdot t)$$

$$U_{\beta}(t) = \sqrt{2} \cdot U_1(f_{1зад}) \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1зад} \cdot t)$$

с максимальной амплитудой $U_m = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi n}, B.$, напряжений управления с единичной максимальной амплитудой двухфазным $u_{\alpha}^*, u_{\beta}^*$, или трехфазным $u_{\alpha}^*, u_{\beta}^*, u_c^*$ преобразователем.

- формирователь сигнала третьей гармоники U_{3f}^*
- задатчик интенсивности скорости с линейной или S - образной характеристикой.
- датчики в общем случае линейных токов двигателя
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок IR-компенсации;
- блок компенсации скольжения – s -компенсации;
- блок коррекции (U_d -компенсатор) управлений инвертором в зависимости от напряжения звена постоянного тока U_d в моделях с учетом ШИМ.

Максимальное значение выходного напряжения двигателя зависит от напряжения питающей сети, нагрузки двигателя и выбранного способа широтно-импульсной модуляции. При пониженном напряжении сети возможно ограничение значения максимально достижимой скорости двигателя при номинальном значении потока.

Система управления электропривода формирует напряжения двухфазного двигателя U_{α}, U_{β} , частота и амплитуда которых зависит от заданной частоты $f_{1зад}(t)$, принятой вольт - частотной характеристики $U_1(f_1)$, работы блоков IR-компенсации, s-компенсации и регулятора ограничения тока ROT.

Асинхронный электропривод с частным скалярным управлением имеет разомкнутую систему регулирования, управляется от задатчика частоты и задатчика интенсивности скорости, установленного на входе. Проблемой разомкнутых систем скалярного управления являются ограничение минимального значения заданной частоты $f_{1зад.мин} \geq (2 - 5)Гц.$, отсутствие управления потоком двигателя и резонансные колебания двигателя в области частот менее 20 Гц. Отсутствие управления потоком затрудняет выбор оптимального соотношения U_1/f_1 .

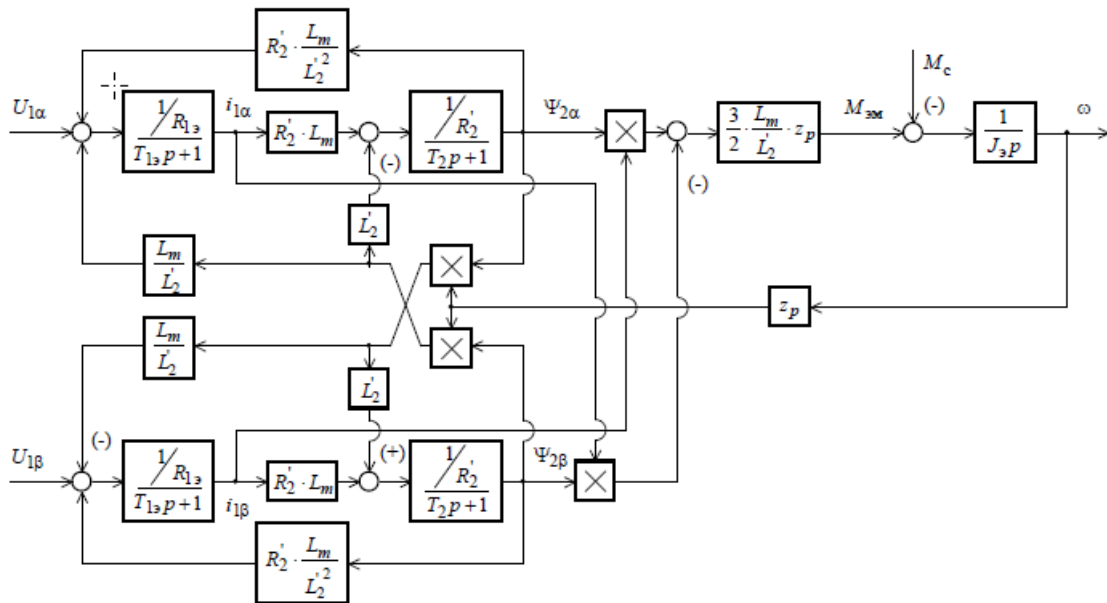


Рисунок 11 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора, α, β .

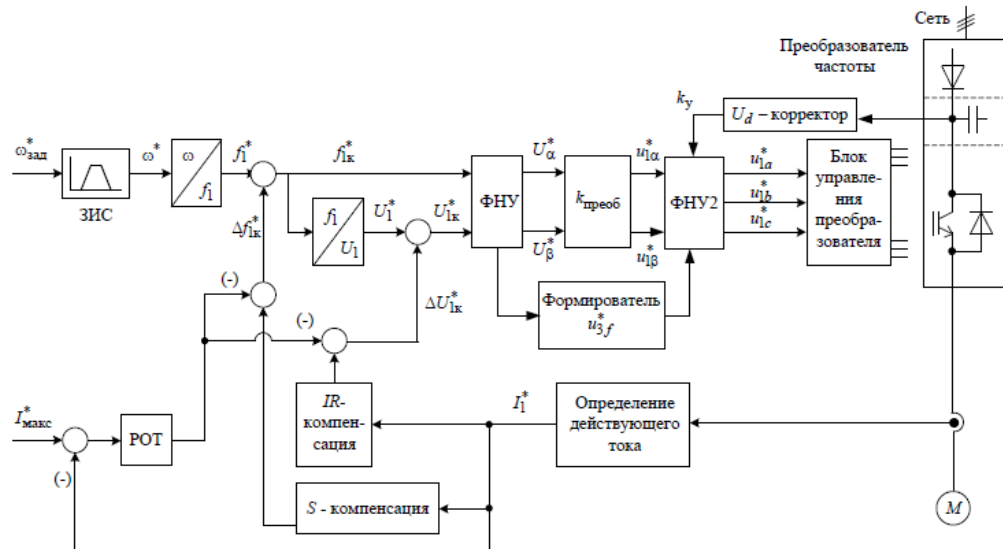


Рисунок 12 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ.

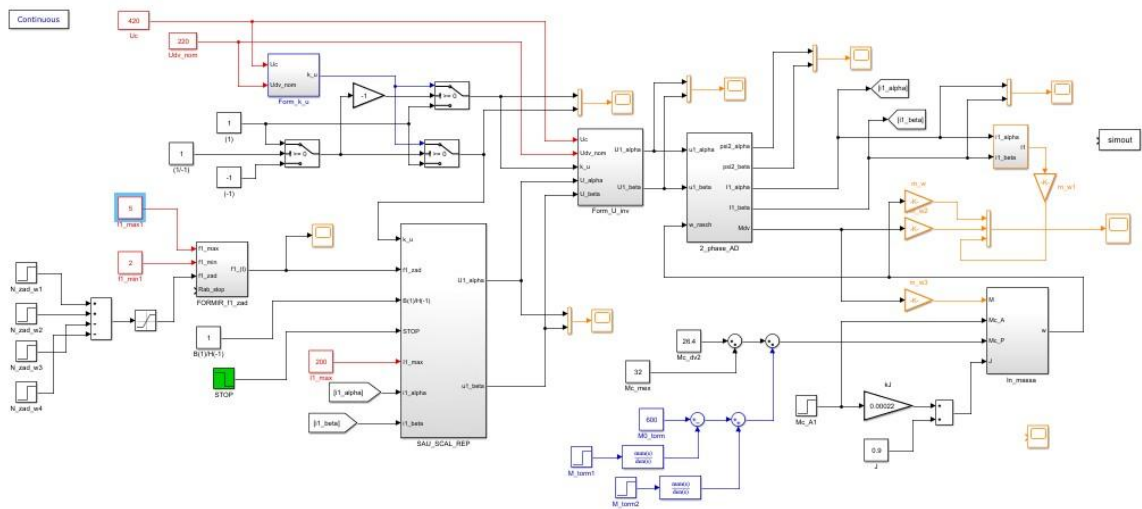


Рисунок 13 – Имитационная модель электрической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»

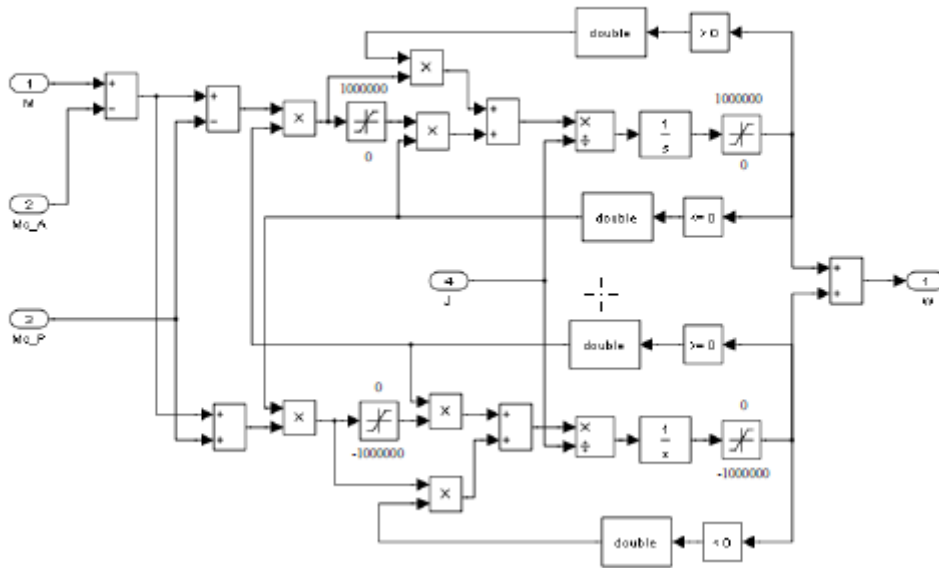


Рисунок 14 – Имитационная модель блока механической одномассовой системы с моментами нагрузки активного и реактивного характера.

При разработке модели электропривода вместо стандартного аналогового сигнала управления $U_{зад} = 10В$. используется единичное воздействие $N_{зад} = 1В$. в относительных единицах.

Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma} + X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.115 + 5.547}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.018 Гн$$

– ротора

$$L_2 = \frac{X_{2\sigma} + X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.152 + 5.547}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.169 Гн$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0.018^2}{0.018 \cdot 0.169} = 0.893.$$

Где:
$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{5.547}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.018 \text{ Гн.}$$

Индуктивность

обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре.

Эквивалентное сопротивление

$$R_\sigma = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0.215 + 0.258 \cdot \frac{0.018^2}{0.169^2} = 0.46 \text{ Ом.}$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_\sigma = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_\sigma} = \frac{0.046 \cdot 0.018}{0.46} = 0.00182 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0.018}{0.258} = 0.07 \text{ с.}$$

Параметры входной цепи и звена постоянного тока при учете ШИМ выходного напряжения инвертора

Параметры сетевого трансформатора или реактора выбираются в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

$I_{рфн}, \text{ А.}$	12.3	20.5	41	82	165	265	410	660	820
$L_p, \text{ мГн}$	3	2	1	0.5	0.25	0.156	0.1	0.064	0.05
$R_p, \text{ мОм.}$	450	265	100	37	13	7.2	3.8	2.1	1.4
$I_{дн}, \text{ А.}$	15	25	50	100	200	320	500	800	1000

При соединении обмоток статора двигателя в звезду номинальный ток обмотки фазы трехфазного трансформатора или реактора

$$I_{p\phi n} = I_{1\phi n} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_{1\phi n}}{U_{cn}} = 69.79 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 220}{380} = 73.3 \text{ A.}$$

где коэффициент 1.05 учитывает падение напряжения на элементах цепи инвертор – двигатель.

$$\text{Принимаем } L_p = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$R_p = 0.037 \text{ Ом}$$

Ёмкость конденсатора звена постоянного тока выбирается из условия

$$C \approx (100 \div 300) \cdot P_n \text{ мкФ.}$$

где P_n – номинальная мощность двигателя, кВт.

$$\text{Принимаем } C = 100 \cdot 30 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Напряжения срабатывания ключа тормозного резистора:

– ключ закрывается при напряжении на конденсаторе звена постоянного тока

$$U_{off} > \sqrt{2} \cdot 1.1 \cdot 380 = 591.14 \text{ В.}$$

– ключ открывается при напряжении на конденсаторе

$$U_{on} \geq (1.05 \div 1.1) \cdot U_{off} = 1.05 \cdot 591.14 = 620.7 \text{ В.}$$

$$\text{Принимаем: } U_{on} = 630 \text{ В.}$$

$$U_{off} = 600 \text{ В.}$$

Параметры механической системы электропривода:

$$\Delta M_{с.дв} = 26.418 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad \Delta M_{с.мех} = 32 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{сА мин} = 28 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad M_{сА макс} = 300 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$J_{э мин} = 0.87 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad J_{э макс} = 0.93 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$k_j = \frac{J_{э макс} - J_{э мин}}{M_{сА макс} - M_{сА мин}} = \frac{0.93 - 0.87}{300 - 28} = 0.00022$ – коэффициент изменения момента инерции электропривода при изменении статического момента нагрузки.

3.2 Расчет параметров системы управления электропривода

Выбор вольт-частотной характеристики $U_1(f_1)$

Выбор вольт-частотной характеристики определяется характером нагрузки, требуемым значением пускового момента и значением активного сопротивления обмотки фазы статора.

Необходимый диапазон изменения частоты при диапазоне регулирования скорости $D_\omega = 10$ определяется значениями:

$$f_{1 \text{ раб. мин}} \approx \frac{f_{1н}}{D_\omega} = \frac{50}{10} = 50 \text{ Гц}.$$

$$f_{1 \text{ раб. макс}} = f_{1н} = 50 \text{ Гц}.$$

Для механизма подъемной лебедки с постоянным моментом нагрузки, значение которого изменяется в значительных пределах, выбираем закон регулирования

$$U_1(f_1) = \left(\frac{U_{1фн}}{f_{1н}} \right) \cdot f_1.$$

Учитывая, что момент нагрузки подъёмной лебедки изменяется в значительных пределах, дополнительно применяем **IR**-компенсацию, а для повышения жесткости характеристик при малых скоростях еще и компенсацию скольжения (**s**-компенсацию).

Настройка вольт-частотной характеристики

Для компенсации постоянной нагрузки выбираем вольт - частотную характеристику с коррекцией напряжения при малых частотах:

$$U_{1кор}(f_1) = \left(\frac{U_{1фн}}{f_{1н}} \right) \cdot f_1 + \Delta U_{1кор}(f_1).$$

Результирующая вольт-частотная характеристика задается в виде графической (по точкам) зависимости. При настройке вольт-частотной характеристики принимаем: принимать:

$$\Delta U_{1кор.макс} < R_1 \cdot I_{1ф.н} = 0.246 \cdot 69.79 = 17.17 \text{ В.}$$

$$f_{1мин} = 2 \text{ Гц. условие } f_{1мин} \leq f_{1раб.мин}, f_{1кор.мин} = f_{1мин} = 5 \text{ Гц.}$$

$$f_{1кор.макс} = 30 \text{ Гц.}$$

Скорректированная вольт - частотная характеристика формирователя фазных напряжений $U_1(f_1)$ преобразователя представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры вольт - частотной характеристики преобразователя.

$f_1, \text{ Гц.}$	0	0.1	5	30	50	100
$U_{1ф}, \text{ В.}$	0	10	30	132	220	220

Настройка контура IR-компенсации.

IR - компенсацию целесообразно применять для механизмов с переменным значением статического момента нагрузки, например, электропривод подъёмной лебедки.

Максимальное значение коэффициента положительной обратной связи при частоте $f_{1кор.мин}$.

$$k_{IRмакс} \approx (0.7 \div 0.85) \cdot R_1 = (0.7 \div 0.85) \cdot 0.246 = 0.202$$

В области больших частот значение коэффициента k_{IR} подбирается при настройке из условия .

$$k_{IR}(f_1 > f_{1кор.мин}) < k_{IRмакс}.$$

Постоянная времени фильтра в цепи обратной связи

$$T_{IR} \geq \frac{4}{2\pi \cdot f_{1н} \cdot S_k} = \frac{4}{2\pi \cdot 50 \cdot 0.572} = 0.022 \text{ с.}$$

Характеристика блока IR-компенсации представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика блока IR-компенсации

$f_1, Гц.$	0	2	30	50	100
$U_{1\phi}, В.$	0.246*0.7	0.246*0.7	0	0	0

Настройка контура компенсации скольжения (s-компенсация)

Компенсацию скольжения следует применять при необходимости повысить жесткость механических характеристик электропривода в нижней части диапазона регулирования скорости.

Минимальное значение коэффициента положительной обратной связи при номинальной частоте и нагрузке.

$$k_{f1 \text{ мин}}(f_{1н}) \leq (0.7 \div 0.85) \cdot \frac{f_{1н} \cdot S_H}{I_{1н}} = 0.8 \cdot \frac{50 \cdot 0.065}{69.79} = 0.03725.$$

В области малых частот значение коэффициента k_{fI} подбирается при настройке из условия $k_{fI}(f_{1кор}) > k_{fI \text{ мин}}(f_{1н})$.

Постоянная времени фильтра в цепи обратной связи

$$T_{fI} \geq \frac{4}{2\pi \cdot f_{1н} \cdot S_K} = \frac{4}{2\pi \cdot 50 \cdot 0.572} = 0.022 \text{ с.}$$

Характеристика блока s -компенсации представлена в таблице 7 .

Таблица 7 – Характеристика блока s -компенсации

$f_I, \text{Гц}$	0	2	5	30	100
$U_{1\phi}, \text{В}$	0.037	0.037	0.03	0.01	0.01

Настройка контура ограничения тока

Циклическое обновление сигналов обратной связи по току (интервал времени $T_{ос.т.}$) и выходных сигналов регулятора ограничения тока (интервал $T_{нк.т.}$) выполняется последовательно в течение одного временного интервала ШИМ $T_{ос.т.} = T_{нк.т.} = T_{шим}$.

Соответствующее обновление управления ключами инвертора происходит на следующем временном интервале ШИМ.

Установка сглаживающего фильтра в цепи обратной связи контура ограничения тока не желательна.

$$I_{эн.макс} = 1.5 \cdot I_{1\phiн} = 120 \text{ А.}$$

Принимаем $n_{\text{ацн.дт}} = 10$.

$I_{\text{изм.макс}} = 200 \text{ А}$. из условия

$$I_{\text{изм.макс}} \geq \sigma_m \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эн.макс}} = 1.1 \cdot \sqrt{2} \cdot 140 = 186.7, \text{ где } \sigma_m > 1.1.$$

$$k_{\text{дт}} = \frac{0.5 \cdot 2^{n_{\text{ацн.дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{512}{200} \text{ 1/А.}$$

$$N_{\text{эт.макс}} = I_{\text{эн.макс}} = 120 \text{ А.}$$

$$k_{\text{ос.т.}} = \frac{I_{\text{изм.макс}}}{0.5 \cdot 2^{n_{\text{ацн.дт}}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{200}{512 \cdot \sqrt{2}} \text{ А.}$$

$$k_m = \frac{N_{\text{эт.макс}}}{I_{\text{эн.макс}}} = 1 \text{ 1/А.}$$

Принимаем $T_{\text{ос.т.}} = T_{\text{нк.т.}} = T_{\text{шум}} = 0.0002 \text{ с.}$

$$T_{\text{ф.от}} = 0.$$

$$n_m = 2 \text{ из условия } n_m = (1 \div 3)$$

$$\text{Тогда } T_{\text{мтэ}} = n_m \cdot \frac{T_{\text{шум}}}{2} = 2 \cdot \frac{0.0002}{2} = 0.0002 \text{ с.}$$

Принимаем $\alpha_m = 2$

$$k_{IU} = \frac{1}{R_{13}} = \frac{1}{0.466} \text{ А/В.}$$

$$T_{\text{рот}} = T_{13} = 0.002 \text{ с.}$$

$$k_{\text{помУ}} = \frac{T_{1э}}{k_{IU} \cdot k_m \cdot \alpha_m \cdot T_{\mu\text{мэ}}} = \frac{0.002 \cdot 0.466}{1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0.0002} = 2.33.$$

3.3 Исследование электропривода методом компьютерного моделирования

Основные требования к электроприводу

- диапазон регулирования скорости не менее 10:1;
- обеспечить плавный пуск и останов механизма;
- реверсирование должно осуществляться с остановкой механизма на нулевой скорости;
- во время паузы должен быть наложен тормозной момент.

Исследования электропривода должны включать следующие режимы работы электропривода производственного механизма:

- пуск для двух направлений вращения вала двигателя до любой скорости и при любом значении активного момента нагрузки в заданных диапазонах изменения;
- торможение при любом значении начальной скорости и нагрузки до нулевой скорости.

Исследования электропривода выполняются в режиме отработки следующего типового рабочего цикла механизма подъёмной лебедки: «Плавный пуск в режиме подъема или спуска на малую рабочую скорость – работа на малой рабочей скорости – плавный пуск до промежуточной рабочей скорости – работа на промежуточной рабочей скорости – плавный пуск до максимальной рабочей скорости – работа на максимальной рабочей скорости – плавное торможение до промежуточной рабочей скорости – плавное торможение до начальной малой рабочей скорости – работа на малой рабочей скорости – останов – пауза». Во время паузы накладывается тормоз. Рабочий цикл исследуется в режимах подъема и спуска при разных значениях нагрузки $M_{сА}$. Реверсирование должно осуществляться с остановкой механизма на нулевой скорости.

При прямом пуске двигателя имеют место большие пусковые токи и момент двигателя и колебательный характер переходного процесса, что недопустимо для двигателя, преобразователя и производственного механизма. Введение контура ограничения тока позволяет ограничить ток двигателя и преобразователя (в данном случае на уровне $I_{\text{эл.макс}} = 1.5 \cdot I_{1\text{фн}} = 120 \text{ А}$).

однако перегрузки по моменту и колебательность процесса пуска двигателя сохраняется. Для обеспечения плавности процессов пуска и торможения механизма электроприводом будем управлять от задатчика интенсивности скорости с полным временем пуска 2 секунды.

На рисунках 15 – 18 приведены диаграммы изменения действующего фазного тока, момента и скорости двигателя электропривода, соответственно, при отработке рабочих циклов подъема и спуска без груза и с максимально тяжелым грузом. В режиме спуска груза потенциальная энергия масс груза преобразуется электрической машиной в электрическую и выделяется в тормозном резисторе $R_{\text{дт}} = 10 \text{ Ом}$, предотвращая рост напряжения на конденсаторе звена постоянного тока.

Проведенные исследования имитационной модели электропривода подъёмной лебедки позволяют сделать следующий вывод. Асинхронный электропривод с частотным скалярным управлением имеет удовлетворительные регулировочные свойства, что позволяет регулировать скорость вращения двигателя в широких пределах и обеспечить диапазон регулирования скорости не менее чем 10:1, формировать переходные процессы с ограничением ускорения и рывка, ограничить максимальный момент двигателя. Недостатком электропривода с частотным скалярным управлением является невозможность его работы при нулевой скорости, когда при неподвижном роторе двигатель развивает на валу движущий или тормозной момент, равный выбранному максимальному значению.

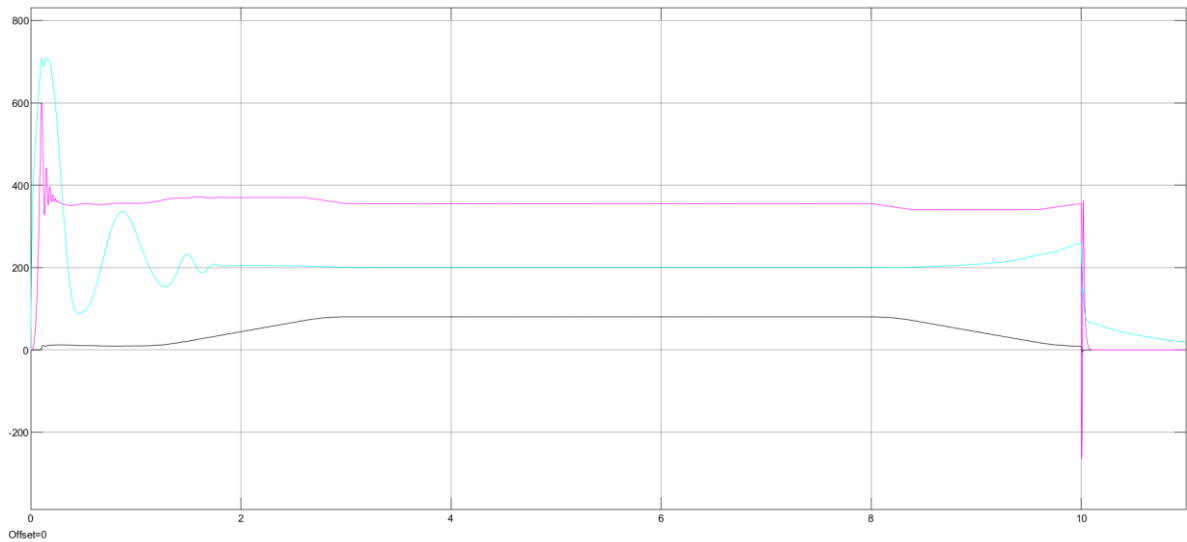


Рисунок 15 – Диаграммы действующего тока $I_{1\phi}$, электромагнитного момента $M_{эм}$ и скорости ω двигателя при отработке электроприводом типового цикла подъема при $f_{1зад} = 20$ Гц.

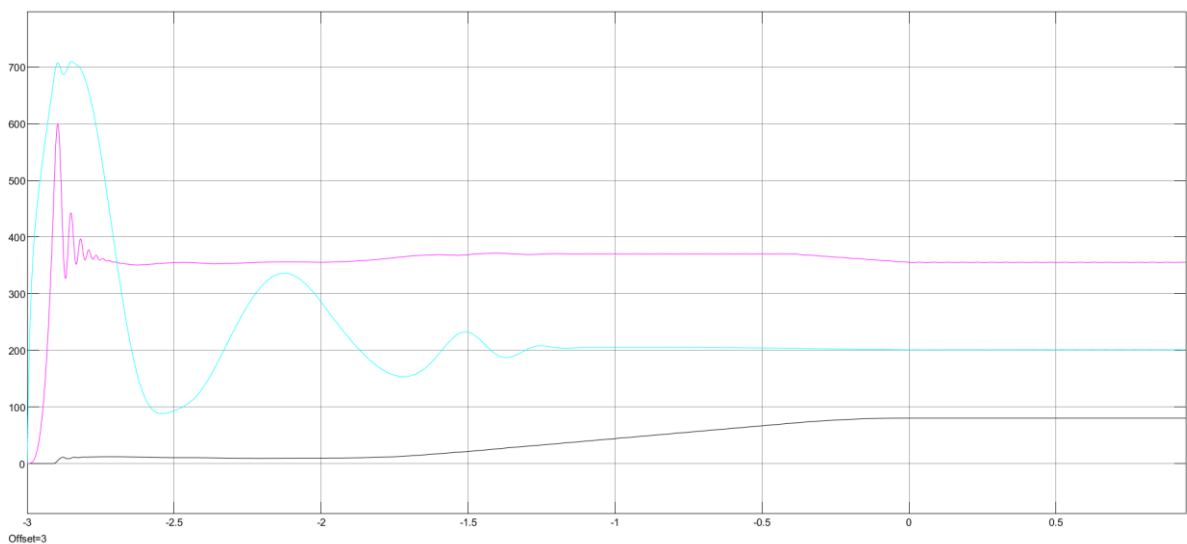


Рисунок 16 – Диаграммы действующего тока $I_{1\phi}$, электромагнитного момента $M_{эм}$ и скорости ω двигателя, при отработке электроприводом типового цикла подъема, время переходные характеристики 3.5с. при $f_{1зад} = 20$ Гц.

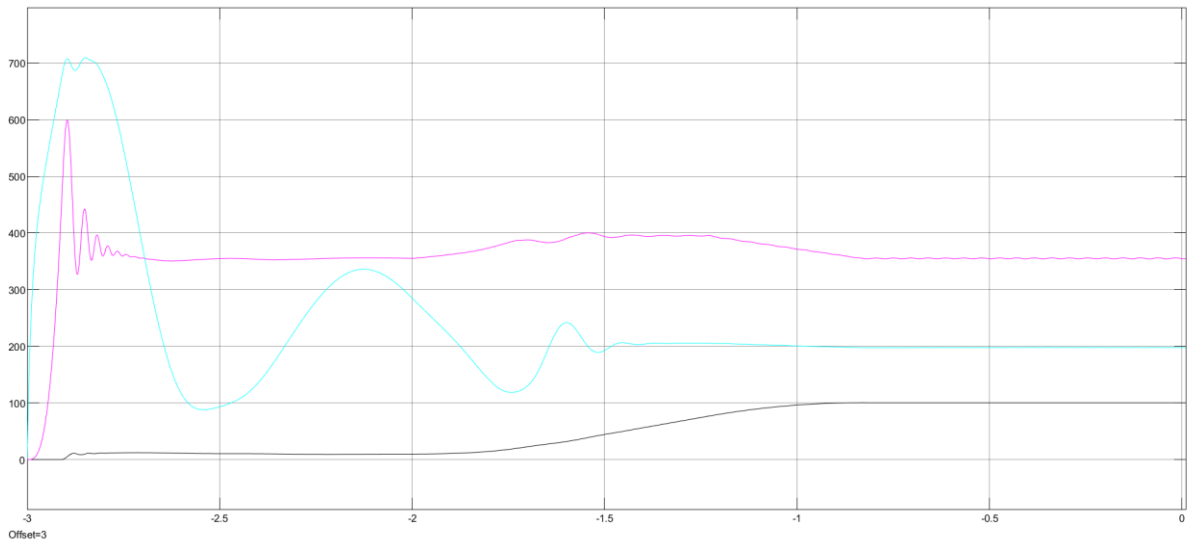


Рисунок 17 – Диаграммы действующего тока $I_{1\phi}$, электромагнитного момента $M_{эм}$ и скорости ω двигателя при пуске и работе электроприводом на подъем. Время переходные характеристики 2.3с. при $f_{1зад} = 50$ Гц.

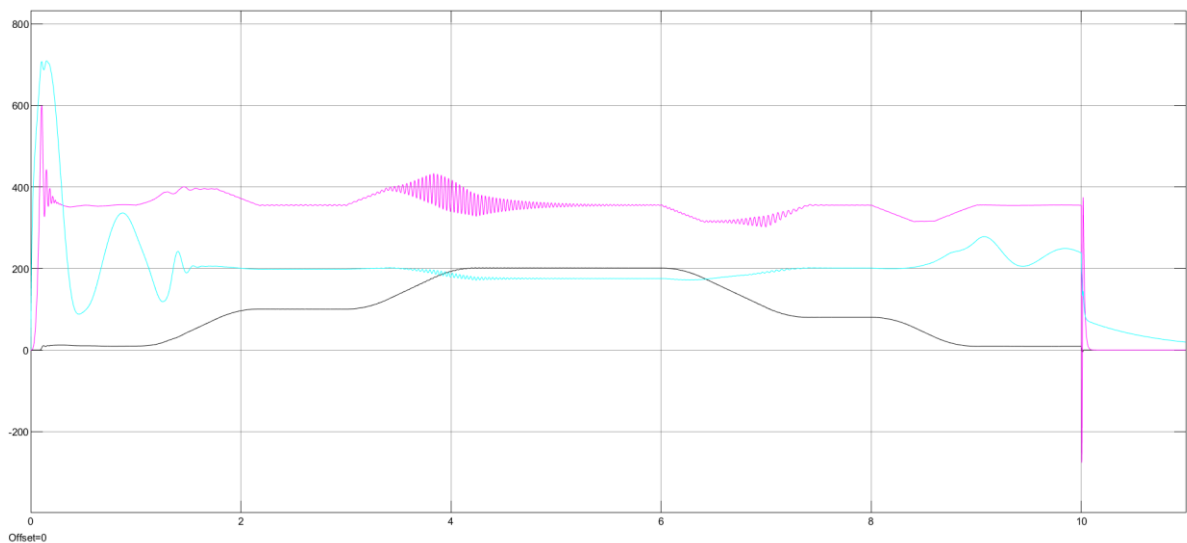


Рисунок 18 – Диаграммы действующего тока $I_{1\phi}$, электромагнитного момента $M_{эм}$ и скорости ω двигателя при отработке электроприводом типового цикла подъема при $f_{1зад} = 50$ Гц.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразности проектирования и создания технологического проекта, выполняемого в

рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе производится расчет суммы затрат на проектирование асинхронного электропривода мостового крана КМ20/10 и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технологического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проведение проектной работы;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

4.1 SWOT-анализ по разработке проекта мостового крана КМ20/10

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

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и	Слабые стороны проекта: Сл1. Высокая цена на оборудование и
--	--	---

	<p>энергосбережение технологии</p> <p>C2. Экологичность технологии</p> <p>C3. Повышение безопасности производства</p> <p>C4. Большая экономия электрической энергии</p> <p>C5. Снижение затрат на содержание и обслуживание</p>	<p>комплектующие</p> <p>Сл2. Отсутствие квалифицированного персонала</p> <p>Сл3. Большой срок поставки оборудования и комплектующих</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Автоматизация технологического процесса</p> <p>V2. Энерго и ресурсосбережение</p> <p>V3. Сокращение рабочих площадей</p> <p>V4. Повышение износостойкости элементов и деталей электропривода</p>	<p>V1 C1C2C3C4C5</p> <p>V2 C1C3C4C5</p> <p>V3 C2C3C5</p> <p>V4 C1C2C4C5</p>	<p>V1 Сл1Сл2Сл3</p> <p>V2 Сл1Сл3</p> <p>V3 Сл2</p> <p>V4 Сл1Сл3</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологию производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологии производства</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Риск несвоевременной поставки оборудования</p>	<p>У1 C5</p> <p>У2 C5</p>	<p>У1 Сл3</p> <p>У2 Сл3</p> <p>У3 Сл2</p> <p>У4 Сл3</p>

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» - сильное соответствие;

«-» - слабое соответствие.

Анализ интерактивных таблиц приведен в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2. Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	-	+	+	+
	В3	-	+	+	-	+
	В4	+	+	-	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	-	-
	В1	+	+	+		
	В2	+	-	+		
	В3	-	+	-		
	В4	+	-	+		

Таблица 4.3. Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	-	-	-	+
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	-	-
	У1	-	-	+		
	У2	-	-	+		
У3	-	+	-			
У4	-	-	+			

В результате проведения SWOT-анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта, оказалось, что самой сильной стороной проекта является большая экономия потребляемой электрической энергии, так как электропривод позволяет двигателю работать при разном питающем напряжении, в зависимости от нагрузки. Кроме того, вследствие автоматизации технологического процесса повышается безопасность производства. Как слабую сторону проекта, можно отметить рост конкуренции, появление схожих технологий.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4.2 и 4.3, показывает соответствие сильных сторон с возможностями, нежели с угрозами. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

4.2. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

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

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Перечень этапов работ и распределение исполнителей.

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

4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

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

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4.4.:

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

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

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

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

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

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

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

№8 - Расчет и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, расчет и построение семейства механических и электромеханических

характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты подаваемого напряжения в среде MATLAB.

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

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

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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

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

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

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

Результаты продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5. расчет продолжительности работ, чел.-дн.

№ работы	Содержание работ	Трудоёмкость работ, чел-дни			
		Исполнитель	<i>t_{min}</i>	<i>t_{max}</i>	<i>t_{ож}</i>
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	10	12	11
3	Выбор оборудования	Дипломник	12	14	13
4	Расчет элементов электропривода	Дипломник	8	10	9
5	Построение естественных и искусственных характеристик	Дипломник	8	12	10
6	Проверка правильности выбора оборудования	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	12	14	13
7	Расчет и проверка модели АД	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	14	16	15
8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Руководитель	1	1	1
		Дипломник	12	14	13
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	8	12	10
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	1	3	2
		Дипломник	4	6	5

Таблица 4.6 – Диаграмма Ганта

№ ра бо т	Вид работ	Исполнители	T_{pi} раб. дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.	Март			Апрель			Май			Июнь			
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Р	1	-													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Д	11	—													
3	Выбор оборудования	Д	13		—												
4	Расчет элементов электропривода	Д	9			—											
5	Построение естественных и искусственных характеристик	Д	10				—										
6	Проверка правильности выбора оборудования	Д	13					—									
		Р	1							-							
7	Расчет и проверка модели АД	Д	15						—								
		Р	1								-						
8	Расчет и проверка модели АД-ПЧ	Д	13								—						
		Р	1										-				
9	Составление пояснительной записки	Д	10										—				
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Д	5												—		
		Р	2												-	-	

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с третьей декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 99 дней. Из них:

99 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

6 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

4.3 составление сметы технического проекта

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

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

Материальные затраты на комплектующие, провода, шлейфы и т.д. не рассчитываются, так как они укомплектованы вместе с оборудованием.

4.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

[32]

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Привлечение сторонней организации „Pechat 24” для типографических работ.

Таблица 4.7. – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Бумага	1	320	320
Ручка	1	12	12
Брошюровка	1	50	50
Калькулятор	1	220	220
Линейка	1	40	40
Печать	200	1.7	340
Итого			1200

4.3.2 Полная заработная плата исполнителей

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

Полная заработная плата рассчитывается по формуле: [31]

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле: [33]

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле: [31]

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

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

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

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33 664	10 099	43 763	1 683	6	10 098
Дипломник	12 300	3 690	15 990	615	99	60 885

Оклад [34]

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 4.9 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб	Дополнительная заработная плата руб	Полной заработной платы, руб.
Руководитель	0,15	10 098	1 514	11 600
Дипломник	0,12	60 885	7 306	68 200
Итого		70 983	8 820	79 800

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:
[32]

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: [33]

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

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 79,8 = 24,1 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.4. Накладные расходы

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

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{затраты на тех.проект}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы [33].

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

4.4. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [31].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Смета затрат технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат
1. Материальные затраты ТП	1,2	1
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	79,8	63,7
3. Отчисления во внебюджетные фонды	24,1	19,3
4. Накладные расходы	19,9	16,0
5. Итого	125,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 99 раб. дней для инженера и 6 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 125,0 тыс.руб., из которых более половины (63,7 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы

4.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности: [32]

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

где $I_p i$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент разработки;

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

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

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

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
----------	---------------------	----------------------------

1. Повышение производительности труда пользователя	0,20	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Энергоэкономичность	0,20	5
4. Надежность	0,20	5
5. Уровень шума	0,10	4
6. Безопасность	0,15	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 4 \cdot 0.2 + 5 \cdot 0.15 + 5 \cdot 0.2 + 5 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.1 + 5 \cdot 0.15 = 4.7$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,7, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

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

- 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 или нет;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.