

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод запорной арматуры при работе в условиях низких температур внешней среды

УДК 62-83-523:621.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зубов Александр Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Букреев Виктор Григорьевич	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева Полина Васильевна	к.т.н.		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Тютева П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Зубову Александру Александровичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод запорной арматуры при работе в условиях низких температур внешней среды	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	59-78/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – асинхронный электропривод запорной арматуры</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Общие сведения о запорной трубопроводной арматуре. 2. Выбор и расчет параметров электродвигателя 3. Создание имитационной модели в среде Matlab Simulink 4. Разработка раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». 5. Разработка раздела «социальная ответственность».

	6. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Графики переходных процессов переменных состояний и статические характеристики асинхронного электропривода запорной арматуры; функциональная схема электропривода со скалярным управлением.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кандидат экономических наук Киселева Елена Станиславовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Букреев Виктор Григорьевич	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зубов Александр Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Зубову Александру Александровичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и Электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-30% премии; -20% надбавки; -16% накладные расходы; -30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию асинхронного электропривода 4А100S2 V3 • оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы; • определить трудоемкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта.
3. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: • материальные затраты; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зубов Александр Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Зубову Александру Александровичу

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

Тема ВКР:

Асинхронный электропривод запорной арматуры при работе в условиях низких температур внешней среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электропривод 4A100S2Y3. Объект исследования применяется на запорно-регулируемой арматуре нефтепровода.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации электропривода 4A100S2Y3 – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.</p>	<p>Основными вредными и опасными факторами являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень вибрации; – повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – движущиеся части машин и механизмов; – наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок; – возгорания изоляции вследствие повышения температуры; – разработка мер по предотвращению перегрузок

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зубов Александр Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 79 страниц, 14 рисунков, 15 таблиц, 22 источников, 1 приложение.

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросам разработки и исследования электропривода запорной арматуры в условиях низких температур внешней среды.

Ключевые слова: асинхронный регулируемый электропривод, запорная арматура, скалярное управление с IR-компенсацией, синтез системы управления, показатели качества регулирования.

Предмет исследования: практические проблемы, возникающие при эксплуатации асинхронного двигателя запорной арматуры при работе в отрицательном диапазоне температур внешней среды.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя, преобразователя частоты и способа управления. Предложен способ учета влияния отрицательных температур на параметры двигателя.

Работа выполнена с использованием пакета программ: MathCAD, Office Word 2010, Matlab Simulink.

Содержание	
Список сокращений.....	10
Введение	11
1 Общие сведения о запорной трубопроводной арматуре.....	12
1.1 Критерии работоспособности асинхронного электропривода при низких температурах	14
1.2 Требования к электроприводам запорной арматуры	16
1.3 Повышение износостойкости и долговечности деталей механизма запорной арматуры при низких температурах окружающей среды	17
1.4 Влияние температуры на статические характеристика асинхронного электродвигателя с учетом влияния эффекта вытеснения токов в стержнях ротора	18
1.5 Выводы по главе.....	20
2 Выбор и расчет параметров электродвигателя.....	22
2.1 Определение параметров двигателя по справочным техническим данным.....	22
2.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя	25
2.3 Расчет естественных механической и электромеханической характеристик.....	26
2.4 Выбор преобразователя.....	30
2.5 Выбор закона частотного скалярного управления и применение IR-компенсации.....	31
2.6 Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при изменении частоты	32
2.7 Механические искусственные статические характеристики с IR-компенсацией	35
2.8 Синтез параметров регулятора скорости АД при скалярном регулировании скорости	36
2.9 Оптимизация контура положения.....	39
2.10 Выводы по главе.....	42
3 Создание имитационной модели в среде Matlab Simulink	43
3.1 Проверка адекватности работы модели.....	43
3.2 Выводы по главе.....	46
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 SWOT-анализ по разработке проекта асинхронного электропривода 4A100S2Y3.....	47
4.2 Планирование технического проекта	51
4.3 Определение структуры работ в рамках технического	51
проектирования.....	51
4.4 Определение трудоемкости выполнения работ.....	52
4.5 Составление сметы технического проекта	55
4.6 Затраты на специализированное оборудование.....	55
4.7 Полная заработная плата исполнителей ВКР.....	56
4.8 Накладные расходы.....	58
4.9 Формирование сметы технического проекта.....	58
4.10 Определение ресурсоэффективности проекта	58
4.11 Выводы по главе.....	60
5 Социальная ответственность	62
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения	62

безопасности	62
5.2 Производственная безопасность	64
5.3 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды	65
5.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	68
5.5 Отклонение параметров микроклимата	69
5.6 Недостаточная освещенность рабочей зоны	70
5.7 Экологическая безопасность	70
5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	72
5.9 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок	72
5.10 Воспламенения изоляции вследствие повышения температуры	73
5.11 Выводы по разделу	74
Заключение	76
Список литературы	77
Приложение А	79

Список сокращений

ЭП – электропривод;

АД – асинхронный двигатель;

ПЧ – преобразователь частоты;

ЗА – запорная арматура;

ЗТА – запорная трубопроводная арматура;

ЗЭл –запирающий элемент.

Введение

Сегодня электропривода занимают лидирующее место среди новых сложных технологических комплексов и обеспечивают надежную работу механизмов во многих областях техники и жизнедеятельности человека, в таких отраслях как, например, нефтегазовая промышленность, сельское хозяйство и тд. Функциональные возможности и эксплуатационные параметры современных ЭП во много определяются характеристиками применяемых систем управления, которые широко используются в ЭП запорной арматуры в трубопроводе при поставке воды, нефти, газа потребителю.

При эксплуатации любого трубопровода невозможно обойтись без элементов запорной арматуры (ЗА), которые в свою очередь представляют собой сложный мехатронный модуль, объединяющий в своем составе систему управления, силовой преобразователь, асинхронный двигатель. Система управления предназначена для обеспечения требуемых режимов эксплуатации ЗА, с учетом изменения внешних условий среды и возмущающих воздействий, поддержки защитных функций и коммуникаций с другими устройствами в составе распределенной промышленной сети. Также важно учитывать пагубное влияние внешней среды на параметры двигателя и внутренние процессы, возникающие в составных частях ЭП.

В данной ВКР модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором представлена в неподвижной система координат α , β . Система управления реализована на базе классической системы ПЧ-АД.

1 Общие сведения о запорной трубопроводной арматуре

Назначение запорной арматуры – перекрывать поток рабочей среды по трубопроводу в зависимости от требований технологического процесса, обслуживаемого данным трубопроводом. Кроме того, запорную арматуру применяют:

- для переключения потока или его части из одной ветви системы в другую;
- для дросселирования потока среды, т.е. изменения его расхода, давления и скорости. Такое применение запорной арматуры нежелательно, т.к. в условиях дросселирования запорная арматура быстрее изнашивается из-за эрозии, вибрации и других причин.

Основные требования к запорной трубопроводной арматуре линейной части магистральных трубопроводов: минимальное гидравлическое сопротивление полностью открытой арматуры; легкость срабатывания после длительной эксплуатации в открытом положении; высокая надежность; долговечность; безотказность; герметичность затвора и всех уплотнений; коррозионная стойкость [7].

Выбор типа запорной трубопроводной арматуры выполняется в зависимости от конкретных условий и технологического процесса, свойств перекачиваемой среды, характера работы арматуры, вида нагрузок, температурного режима. Большую роль играют габариты и масса запорной трубопроводной арматуры, вид привода для срабатывания и быстрота срабатывания [7].

В период работы запорной арматуры и прохода жидкости после запуска электропривода запорного механизма при низкой температуре, запорная арматура работает в чрезвычайно неблагоприятном режиме, сопровождаемом специфическим повышенным шумом, вибрацией. Низкие температуры резко снижают ресурс работы любого механизма, в том числе

и запорной арматуры вследствие изменения механических и электрических параметров рассматриваемой системы.

Климатические условия эксплуатации влияют на работоспособность и эффективность всех узлов запорной арматуры в основном через состояние рабочей жидкости, определяемое её вязкостью, содержанием механических примесей, газов и влаги, а также модулем упругости. Кроме того, климатические условия влияют на изменения зазоров в сопряжениях механической составляющей запорной арматуры, условия взаимодействия поверхностей трения, физико-механические свойства деталей, нагрузки на электродвигателе. Все перечисленные факторы, действуя одновременно, в конечном итоге, определяют качественную и количественную зависимости параметров и характеристик всего электропривода запорной арматуры от климатических условий эксплуатации [2].

Период работы запорной арматуры при низких температурах характеризуется большими потерями энергии на трение. Момент трения, особенно в начальный период, зависит от следующих факторов: температуры (вязкости) рабочей жидкости и окружающей среды, продолжительности неподвижного контакта, давления проходной жидкости, качества и точности изготовления поверхностей и др[8].

Долговечность привода запорной арматуры также определяется износом полимерных (резиновых) уплотнений подвижных соединений. Установлено четыре вида износа резиновых уплотнений: усталостный, абразивный, термопластический и объёмное разрушение [2].

При низких температурах интенсивность усталостного износа увеличивается, т.к. повышается твёрдость резины, что изменяет характер контакта неровностей металлической и эластичной поверхностей. На вершинах выступов неровностей возникает большая концентрация напряжений по сравнению с положительными температурами. При длительных знакопеременных циклических нагрузках наступает

разрушение поверхностного слоя резины, что ведет к ухудшению физико-механических свойств резины и предразрушению ее поверхности, а впоследствии и к отделению микрообъемов поверхностного слоя резины [3].

Для обеспечения нормальной работы арматуры применяются антифрикционные и уплотнительные смазки и гидромасла. Смазки и масла должны обеспечивать сохранность жидкой прослойки, не выдавливаясь с поверхностей под давлением нагрузок, должны быть физически и химически стойкими.

Запорная трубопроводная арматура бывает четырех типов:

- задвижки – запорный элемент перемещается поперек потока;
- краны – поворотные запорные устройства, уплотнительные поверхности которых во время работы остаются в контакте друг с другом и защищены от рабочей среды;
- вентили – запорный элемент перемещается вдоль потока жидкости без трения о корпус и его детали;
- дисковые поворотные затворы – наиболее простой вид арматуры, имеющий минимальные размеры, габарит и вес. [9].

Выше было показано, что при понижении температуры изменяются механические свойства составляющих редуктора, что естественно влияет на прочностные свойства и долговечность элементов передачи. Таким образом, важным вопросом для выявления критериев работоспособности электроприводов с учетом температуры является исследование влияния температуры на свойства механической части электропривода.

1.1 Критерии работоспособности асинхронного электропривода при низких температурах

Электропривод запорной трубопроводной арматуры является одним из основных технических устройств, формирующих безопасность

трубопроводных систем в условиях низких температур. Это связано с большим количеством ЭП в технологических системах, сравнительной сложностью и определяющим значением в обеспечении режимов нормальной эксплуатации и в аварийных условиях. В условиях низких температур отказы арматуры могут привести к нарушению условий безопасной эксплуатации, неправильное функционирование арматуры может усугубить протекание аварийного процесса. Для оценки работы электропривода запорной арматуры стоит выделить критерии работоспособности.

Основные критерии работоспособности:

- безотказность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Работоспособность - потенциальная возможность устройства выполнять целесообразную деятельность на заданном уровне эффективности в течение определенного времени
- износостойкость конструкции трубопроводной арматуры в течение всего срока службы, которая должна обеспечиваться правильным выбором типа конструкции, конструктивных элементов и конструкционных материалов в соответствии с условиями эксплуатации.

Арматура считается работоспособной, если:

- обеспечивается прочность и плотность материалов деталей и сварных швов, работающих под давлением;
- не наблюдается пропуск среды и потение сквозь металл и сварные швы;
- обеспечивается герметичность сальниковых уплотнений и фланцевых соединений арматуры по отношению к внешней среде;
- обеспечивается герметичность затвора арматуры в соответствии с паспортом на запорную арматуру;

- обеспечивается плавное перемещение всех подвижных частей арматуры без рывков и заеданий;
- электропривод обеспечивает плавное перемещение затвора, открытие и закрытие в течение времени, указанного в паспорте;
- обеспечивается отключение электропривода при достижении затвором крайних положений и при превышении крутящего момента допустимого значения на бугельном узле.

При невыполнении любого из этих условий арматура считается неработоспособной и выводится из эксплуатации.

1.2 Требования к электроприводам запорной арматуры

Конструкция приводов должна обеспечивать:

- надежность функционирования и безопасность для персонала при ее эксплуатации;
- работоспособность арматуры, в том числе достаточное усилие или крутящий момент и удержание ЗЭл в требуемом положении (или возврата в исходное положение для арматуры НО или НЗ);
- предотвращение чрезмерных усилий на арматуру;
- герметичность корпусных деталей относительно внешней среды;
- электрическую (гальваническую) развязку с блоком управления для обеспечения требуемого НД показателя сопротивления растекания постоянного тока арматуры подземного исполнения;
- взаимозаменяемость при установке на однотипную арматуру с проведением регулировки упорами.
- поворот пробки на 90° и иметь регулируемые механические упоры (ограничители) крайних положений затвора. Ограничители должны выполнять регулировку в пределах не менее чем от минус 2,5° до 2,5° и быть опломбированы;

- максимальный крутящий момент не менее чем в два раза больше максимального расчетного крутящего момента для управления краном при рабочем давлении эксплуатации;
- электроприводы должны функционировать от трехфазного переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц, однофазного тока напряжением 220 В, 50 Гц (или другого) - по требованию заказчика и ручного дублера. Электроприводы подлежат заземлению в соответствии с проектом объекта, на котором они установлены;
- приводы должны быть оснащены устройствами для удаления влаги в нижней точки гидросистемы, а также в нижней точке полостей пневмоцилиндров (пробки, заглушки, запорная арматура и др.).

1.3 Повышение износостойкости и долговечности деталей механизма запорной арматуры при низких температурах окружающей среды

Интенсификация режимов эксплуатации приводит к существенному снижению долговечности большинства деталей всего механизма, особенно подвергающихся изнашиванию вследствие низкой износостойкости применяемых для их изготовления материалов. Это вызывает необходимость поиска вариантов решения задач повышения износостойкости деталей механизма запорной арматуры, которые по характеру выполняемых функций при наличии различных примесей и металлических включений подвергаются абразивному износу.

Износ является наиболее интенсивным видом разрушения изнашиваемой поверхности, поэтому необходимо искать пути повышения долговечности деталей, работающих в условиях этого вида изнашивания. Интенсивность изнашивания рабочих органов запорной арматуры определяется многими факторами, основными из которых являются: свойства материала детали; температура окружающей среды, которая

влияет одновременно и на свойства материала детали. В зависимости от указанных факторов сроки службы рабочих органов запорной арматуры, а также других деталей, изменяются в широком диапазоне.

Широкое распространение получили способы повышения износостойкости деталей запорной арматуры: наплавка износостойкими материалами, применение износостойких покрытий, изменение физико-механических свойств материалов путем применения упрочняющей термической обработки. Все перечисленные способы повышения износостойкости, безусловно, обеспечивают увеличение срока службы (долговечности) деталей запорной арматуры. При низких температурах интенсивность изнашивания деталей в абразивной среде (жидкости) резко возрастает, поскольку они продолжительное время работают в режиме повышенных нагрузок. Как показали исследования, в зимний период эксплуатации запорной арматуры наряду с существенным снижением срока службы механической части запорной арматуры, вследствие износа, увеличивается и число поломок [10].

1.4 Влияние температуры на статические характеристика асинхронного электродвигателя с учетом влияния эффекта вытеснения токов в стержнях ротора

Для того чтобы учесть влияние температуры на работу двигателя, производится перерасчет параметров схемы замещения АД, проведена корректировка параметров АД, зависящих от температуры окружающей среды, а именно активного сопротивления статорной и роторной обмоток АД [4]:

Температурный коэффициент изменения сопротивления обмотки статора при температуре $20^{\circ}C$:

$$\alpha_{20^{\circ}C} = \frac{1}{235 + 20^{\circ}C}. \quad (2.1)$$

Температурный коэффициент изменения сопротивления обмотки ротора при температуре $20^{\circ}C$:

$$\alpha_{20^{\circ}C} = \frac{1}{245 + 20^{\circ}C}. \quad (2.2)$$

Соответственно этому, если сопротивление обмотки статора при температуре $20^{\circ}C$ равно $R_{1н.у}$, то ее сопротивление при температуре $0^{\circ}C$:

$$R_1 = \frac{235 + 0^{\circ}C}{235 + 20^{\circ}C} \cdot R_{1н.у}. \quad (2.3)$$

Аналогично, если сопротивление обмотки статора при температуре $20^{\circ}C$ равно $R_{1н.у}$, то ее сопротивление при температуре $0^{\circ}C$:

$$R_2 = \frac{245 + 0^{\circ}C}{245 + 20^{\circ}C} \cdot R_1. \quad (2.4)$$

Пример расчета для сопротивления обмотки статора при снижении температуры, а именно при $0^{\circ}C$:

$$R_1 = \frac{235 + 0^{\circ}C}{235 + 20^{\circ}C} \cdot 1,716 = 1,579 \text{ Ом}. \quad (2.5)$$

С учетом вышеизложенных соотношений, произведен расчет основных параметров, которые изменяются в процессе снижения температуры, а именно - активного сопротивления статорной и роторной обмоток АД [4]. Результаты расчетов параметров схемы замещения АД при изменении температуры сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Изменение параметров схемы замещения АД в зависимости от температуры окружающей среды

Значения температур					
Значения параметров	$20^{\circ}C$	$0^{\circ}C$	$-20^{\circ}C$	$-40^{\circ}C$	$-60^{\circ}C$
$R_1, \text{ Ом}$	1,581	1,716	1,447	1,312	1,178

$R_2, \text{Ом}$	1,21	1,309	1,111	1,012	0,914
------------------	------	-------	-------	-------	-------

В данной ВКР моделирование проводилось при температуре в 20^0C .

Также в диапазоне скольжений от 0 до 1 построены механические характеристики $n = f(M_{ад})$ при нормальных условиях с учетом влияния вытеснения тока в стержнях ротора при частоте $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$, температуре среды $t = 20^0\text{C}$, а также при $t = 0^0\text{C}$, -20^0C , -40^0C , -60^0C .

Полученные кривые изображены на рисунке 1:

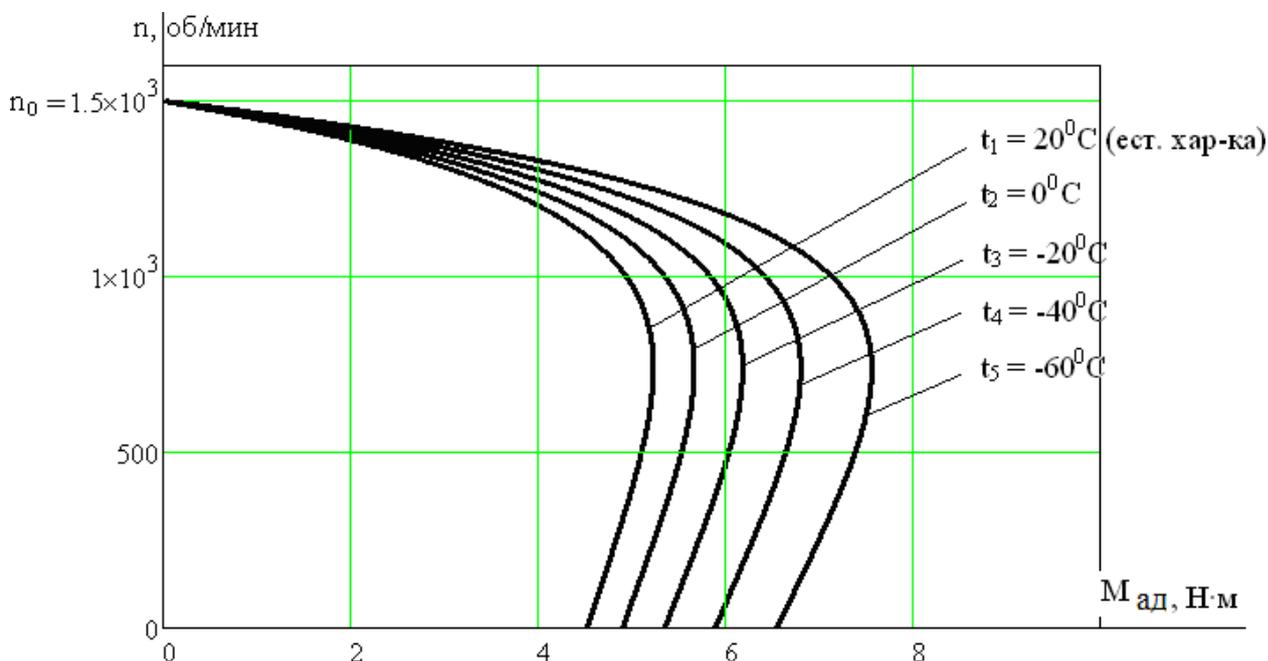


Рисунок 1 - Механические характеристики АД с учетом влияния эффекта вытеснения тока в стержнях ротора при понижении температуры окружающей среды

1.5 Выводы по главе

1. В данной главе рассмотрено назначение запорной арматуры, приведены общие сведения о типах арматуры и особенностях эксплуатации ЭП запорной арматуры в условиях низких температур внешней среды.
2. Выявлено, что интенсивность изнашивания рабочих органов запорной арматуры определяется многими факторами, основным из которых является

температура окружающей среды, которая прямым образом влияет на свойства материала деталей, также к факторам относятся кинематические условия эксплуатации, особенности применения антифрикционных и уплотнительных смазок и гидромасел в элементах арматуры.

3. Установлены основные критерии и требования работоспособности асинхронного электропривода запорной арматуры в условиях низких температур. Доминирующими являются: требования к показателям качества регулирования, износостойкость материалов механической части ЭП и отсутствие сбоев в электронном блоке управления;
4. Проведен перерасчет активного сопротивления статорной и роторной обмоток при понижении температуры окружающей среды;
5. Построена механическая характеристика АД с учетом влияния эффекта вытеснения токов в стержнях ротора, который наиболее выражен при частоте в 50 Гц. При уменьшении частоты питающего напряжения влияние данного эффекта на характеристики АД будет меньшим при изменении температуры окружающей среды.

2 Выбор и расчет параметров электродвигателя

В таблице 2 указан полный список параметров поставляемого двигателя.

2.1 Определение параметров двигателя по справочным техническим данным

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{z_p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.} \quad (3.1)$$

Номинальная частота и угловая скорость вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot n_0 = (1 - 0,046) \cdot 1500 = 1,431 \cdot 10^3 \text{ об / мин,} \quad (3.2)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,046) \cdot 157,08 = 149,854 \text{ рад / с.} \quad (3.3)$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{4 \cdot 10^3}{149,854} = 26,693 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (3.4)$$

Номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = I_{1\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\text{дв.н}} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{4 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,84} = 8,589 \text{ А.} \quad (3.5)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,4 \cdot 26,693 = 64,062 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (3.6)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 26,693 = 53,385 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (3.7)$$

Таблица 2 - Паспортные данные асинхронного электродвигателя

Типоразмер электродвигателя	P ₂ ном, кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.					Механическая характеристика					k _i	J _{дв, кг·м²}
		ηн, %	cosφн	R'1	x'1	R'2	x'2	x'u	m_n	m_M	m_m	s _н , %	s _к , %		
									$= \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$= \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	$= \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$				
4A100S2 У3	4	84,0	0,84	0,067	0,079	0,053	0,14	2,4	2	2,4	1,6	4,6	31,5	6	0,011

Если в справочной литературе для выбранного асинхронного двигателя (4A100S2 У3) параметры схемы замещения приведены в относительных единицах, то значения параметров в абсолютных единицах для Т-образной схемы замещения рассчитываются по приведенным ниже выражениям.

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\phi_n}}{I_{1\phi_n}} = 0,067 \cdot \frac{220}{8,589} = 1,716 \text{ Ом.} \quad (3.8)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = x_1' \cdot \frac{U_{1\phi_n}}{I_{1\phi_n}} = 0,079 \cdot \frac{220}{8,589} = 2,023 \text{ Ом.} \quad (3.9)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{2,023}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 6,441 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (3.10)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2 = R_2'' \cdot \frac{U_{1\phi_n}}{I_{1\phi_n}} = 0,053 \cdot \frac{220}{8,589} = 1,309 \text{ Ом.} \quad (3.11)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X_{2\sigma} = x_2'' \cdot \frac{U_{1\phi_n}}{I_{1\phi_n}} = 0,14 \cdot \frac{220}{8,589} = 3,586 \text{ Ом.} \quad (3.12)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{3,586}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,011 \text{ Гн.} \quad (3.13)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме

$$X_{кн} = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' = 2,023 + 3,586 = 5,609 \text{ Ом.} \quad (3.14)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu} = x_{\mu}' \cdot \frac{U_{1\phiн}}{I_{1\phiн}} = 2,4 \cdot \frac{220}{8,589} = 56,349 \text{ Ом.} \quad (3.15)$$

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

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{56,349}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,179 \text{ Гн.} \quad (3.16)$$

Ток холостого хода двигателя

$$I_0 = \frac{E_1}{X_{\mu}} = \frac{198,298}{56,349} = 3,519 \text{ А,} \quad (3.17)$$

где

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phiн} \cdot \cos \varphi_n - I_{1\phiн} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phiн} \cdot \sin \varphi_n - I_{1\phiн} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,84 - 8,589 \cdot 1,716)^2 + (220 \cdot 0,543 - 8,589 \cdot 2,023)^2} = 198,298 \text{ В.} \quad (3.18)$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем) в номинальном режиме.

2.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,309}{157,08 \cdot 0,046 \cdot \left[5,609^2 + \left(1,716 + \frac{1,309}{0,046} \right)^2 + \left(\frac{1,309 \cdot 1,716}{0,046 \cdot 56,349} \right)^2 \right]} = 27,909 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
(3.19)

$$M_{эм.н}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L_{2\sigma}} \cdot \psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,179}{0,179 + 0,011} \cdot 0,893 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{8,589^2 - 3,519^2} = 27,899 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
(3.20)

где

$$\psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 3,519 \cdot 0,179 = 0,893 \text{ Вб}. \quad (3.21)$$

Должны выполняться условия (для этого изменено сопротивление):

$$M_{дв.н} < M_{эм.н}^* \leq 1,1 \cdot M_{дв.н} \quad M_{эм.н}^* \approx M_{эм.н}^{**} \quad (3.22)$$

$$\Delta r = -0,0019;$$

$$\Delta x = -0,2.$$

Условия выполняются:

$$M_{дв.н} < M_{эм.н}^* \leq 1,1 \cdot M_{дв.н} \quad M_{эм.н}^* \approx M_{эм.н}^{**} \quad (3.23)$$

$$26,693 < 27,909 \leq 29,362 \quad 27,909 \approx 27,899$$

2.3 Расчет естественных механической и электромеханической характеристик

Естественная механическая характеристика $M_{эм}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$ рассчитывается по выражению:

$$M_{эм}(s) = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2''}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2''}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2''}{s \cdot X_{\mu}'} \right)^2 \right]}, \quad (3.24)$$

где – $M_{эм}$ электромагнитный момент двигателя, $H \cdot м$.

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M_{эм})$ (рисунок 2), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (3.25)$$

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

– значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении s_n :

$$M_{эм}(s_n) = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2''}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2''}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2''}{s_n \cdot X_{\mu}'} \right)^2 \right]}, \quad (3.26)$$

– значения угловой критической скорости вращения двигателя:

$$\omega_{кр} = \omega_0 \cdot (1 - s_{кр}) = 122,015 \text{ рад} / \text{с}, \quad (3.27)$$

– значение критического скольжения:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}'} \right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 1,309 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,716}{56,349} \right)^2}{1,716^2 + 5,609^2}} = 0,223. \quad (3.28)$$

– значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении:

$$M_{эм}(s_k) = M_{эм.k} = \frac{3 \cdot U_{1\phiн}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2 \right]} \right\}} = \quad (3.29)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot \left\{ 1,716 + \sqrt{(1,716^2 + 5,609^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{1,716}{56,349} \right)^2 \right]} \right\}} = 60,936 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $\omega = f(M)$ (Рисунок 2).

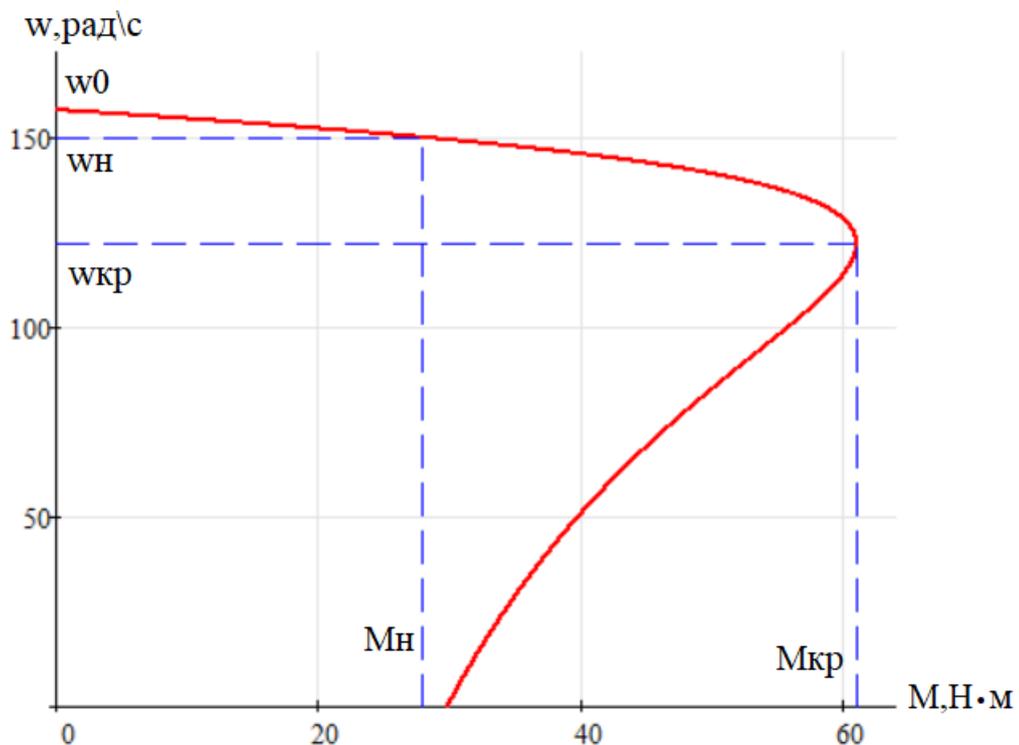


Рисунок 2 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты по выражению $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi(s)}, \quad (3.30)$$

где – $I_1 = I_{1\phi}$ действующее значение фазного тока двигателя, А

– приведенный к обмотке статора ток ротора;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}, \quad (3.31)$$

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi n}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{1,716^2 + (2,023 + 56,349)^2}} = 3,767 \text{ А}, \quad (3.32)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}, \quad (3.33)$$

где

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ и $I_2'(\omega)$ (Рисунок 3), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению: $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

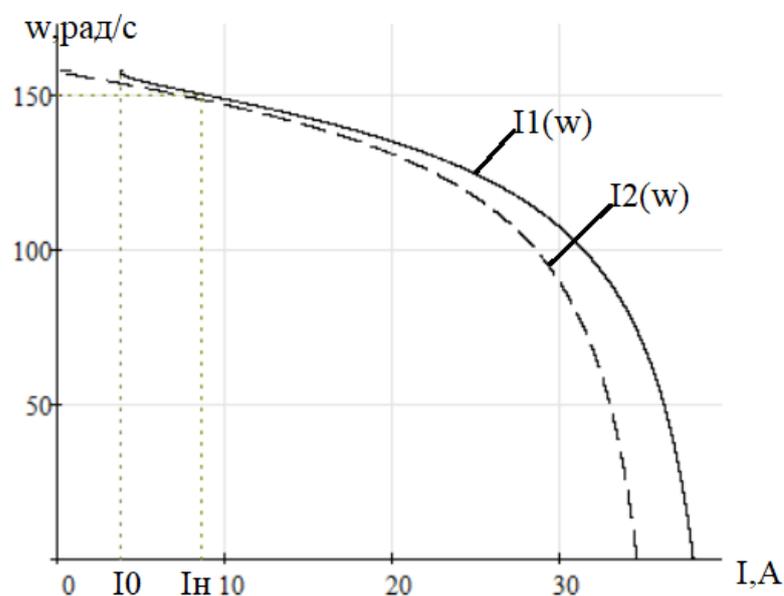


Рисунок 3 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

Для скольжения рассчитывается значения номинального тока статора $I_n(s_n)$. Получив соответствие расчетных параметров характерных точек естественных характеристик двигателя с его справочными данными, следует сделать вывод об адекватности расчетных параметров схемы замещения двигателя.

2.4 Выбор преобразователя

Выбор преобразователя частоты производим по следующим рекомендациям:

- Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220В, 50 Гц.
- Выходные параметры преобразователя частоты: 3 фазы; максимальное выходное (линейное) напряжение 380В.

Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$ по следующему условию:

$$I_{ин} \geq I_{1н} \cdot \frac{M_{с.макс}}{M_n} = 8,16A. \quad (3.34)$$

Параметры выбранного преобразователя частоты приведены в таблице 3:

Таблица 3 - Параметры преобразователя частоты марки ES025-04-0090А

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{н}, В$	Выходная частота $f_{н}, Гц$	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя $P_2, кВт$
	$U_{л}, В$	$f_c, Гц$			$I_{ин}, А$	$I_{и.макс}, А$	
ES025-04-0090А	3x380	50	380	0 ÷ 400	9	13,5	4

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{инв} = 10кГц$;

2.5 Выбор закона частотного скалярного управления и применение IR-компенсации

Под системами модульного частотного управления понимаются системы, обеспечивающие заданный статизм и перегрузочную способность асинхронного электропривода за счёт изменения частоты и напряжения питания АД. Во многих случаях эти требования реализуются разомкнутыми системами посредством введения определенной функциональной зависимости между каналами управления выходной частотой и напряжением преобразователя частоты. Если же это невозможно, то используют замкнутые системы управления с различными сигналами обратной связи. Таким сигналами могут быть ток и ЭДС статора ($I_1; E$), основной магнитный поток АД (Φ), частота вращения (ω) и частота ротора или абсолютное скольжение (s).

В конечном счете, выбор сигнала управления создает некоторые особенности характеристик привода, не влияя на основные свойства, вытекающие из физических принципов преобразования энергии в АД. Рассмотрим их применительно к частотному управлению. Известно, что механические характеристики АД при постоянном значении напряжения статора существенно нелинейны. Это связано с тем, что изменение нагрузки на валу вызывает изменение токов ротора и статора и связанных с ними магнитных потоков, создающих электромагнитный момент двигателя. Однако при питании от регулируемого источника можно создать такой закон изменения напряжения, при котором тот или иной магнитный поток машины будет стабилизирован. Тогда механические характеристики двигателя изменят свои параметры или даже обретут иной вид. [6].

относительное напряжение и частота связаны между собой постоянным коэффициентом, т.е. $\gamma = c\alpha$. В этом случае стабилизация потокосцепления статора эквивалентна стабилизации напряжения $U_{ad} = \text{const}$ или, что то же самое, подключению источника питания к точкам ad схемы

замещения рисунок 4. Этим устраняется или компенсируется влияние на электромагнитные процессы в АД падения напряжения на r_1 .

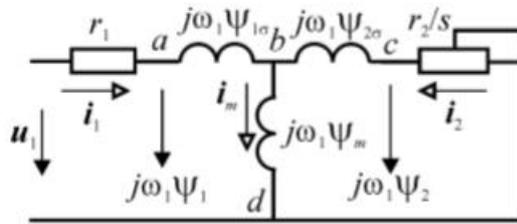


Рисунок 4 – Схема замещения АД

Поэтому этот закон управления называется IR-компенсацией. Реализовать компенсацию можно введением положительной обратной связи по току статора.

2.6 Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при изменении частоты

Коэффициент пропорциональности для данного закона регулирования:

$$K = \frac{U_{1н}}{f_{1н}} = \frac{220}{50} = 4,4. \quad (3.35)$$

Частоты регулирования:

$$f_{1н} = f_{11} = 50 \text{ Гц}; f_{12} = 40 \text{ Гц}; f_{13} = 30 \text{ Гц}; \quad (3.36)$$

$$f_{14} = 20 \text{ Гц}; f_{15} = 10 \text{ Гц}; f_{16} = 5 \text{ Гц}.$$

Напряжения, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$U_{11} = K \cdot f_{11} = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В}; \quad U_{12} = K \cdot f_{12} = 4,4 \cdot 40 = 176 \text{ В};$$

$$U_{13} = K \cdot f_{13} = 4,4 \cdot 30 = 132 \text{ В}; \quad U_{14} = K \cdot f_{14} = 4,4 \cdot 20 = 88 \text{ В}; \quad (3.37)$$

$$U_{15} = K \cdot f_{15} = 4,4 \cdot 10 = 44 \text{ В}; \quad U_{16} = K \cdot f_{16} = 4,4 \cdot 5 = 22 \text{ В}.$$

Синхронные скорости вращения двигателя, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$w_{011} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{11}}{zр} = 157,08 \text{ рад/с}; \quad w_{012} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{zр} = 125,664 \text{ рад/с};$$

$$w_{013} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{z p} = 94,248 \text{ рад/с}; \quad w_{014} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{14}}{z p} = 62,832 \text{ рад/с}; \quad (3.38)$$

$$w_{015} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{15}}{z p} = 31,416 \text{ рад/с}; \quad w_{016} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{16}}{z p} = 15,708 \text{ рад/с}.$$

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

$$M_{эм}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2''}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot \frac{f_{11}}{f} + \left(R_1 + \frac{R_2''}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2''}{s \cdot X_{\mu}' \cdot \frac{f_{11}}{f}} \right)^2 \right]}. \quad (3.39)$$

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется выражением:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi(s)}, \quad (3.39)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi n} \cdot \frac{f_{11}}{f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_{кн} \cdot \frac{f_{11}}{f} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_{11}}{f}} \right)^2}}, \quad (3.40)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн} \cdot \frac{f_{11}}{f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_{\mu} \cdot \frac{f_{11}}{f} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_{11}}{f}} \right)^2}}. \quad (3.41)$$

Значение тока холостого хода определяется по выражению:

$$I_0 = \frac{U_{1\phi n} \cdot \frac{f_{11}}{f}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_{11}}{f}\right)^2}}. \quad (3.42)$$

Пересчет скольжения s на угловую скорость производится в соответствии с выражением:

$$w(s) = w_0 \left(\frac{f_{11}}{f}\right) \cdot (1-s). \quad (3.43)$$

На рисунке 5 и 6 показаны семейства механических и электромеханических характеристик в двигательном режиме.

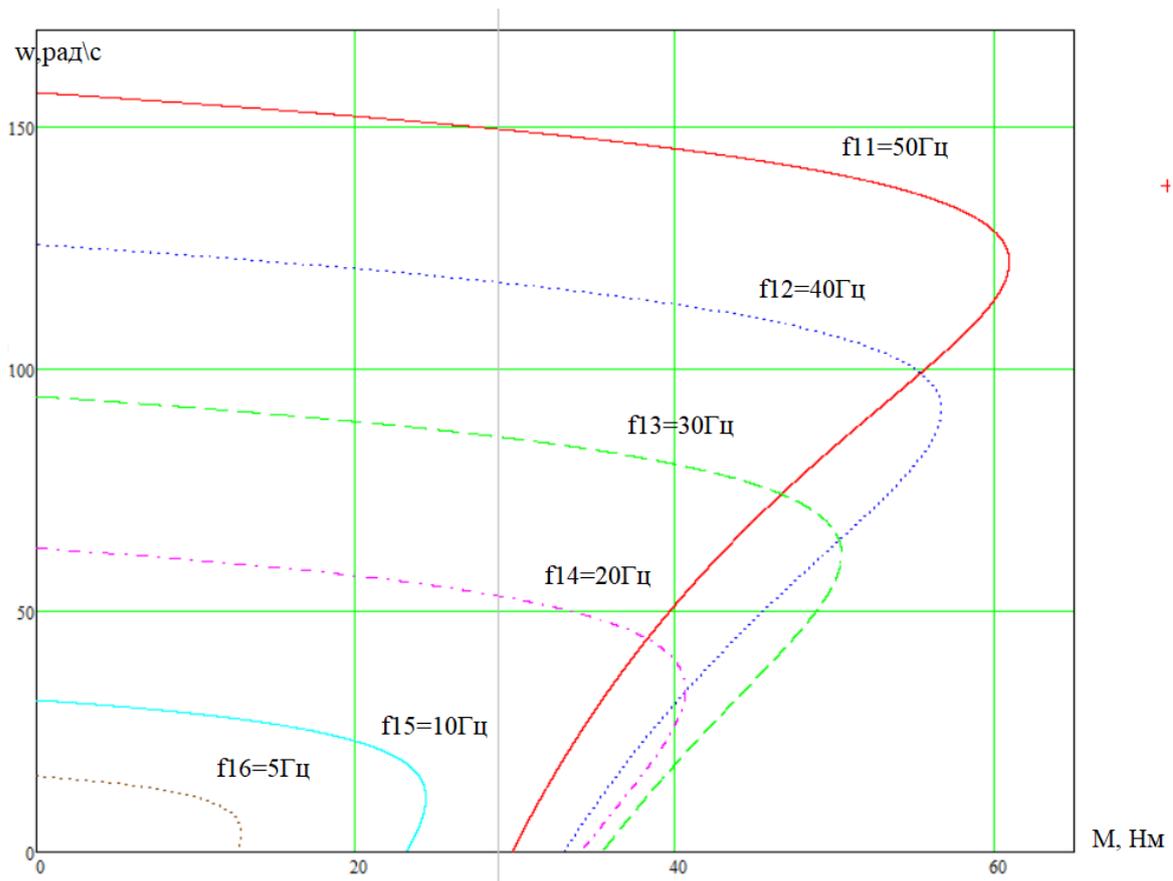


Рисунок 5 - Механические характеристики при разных частотах регулирования

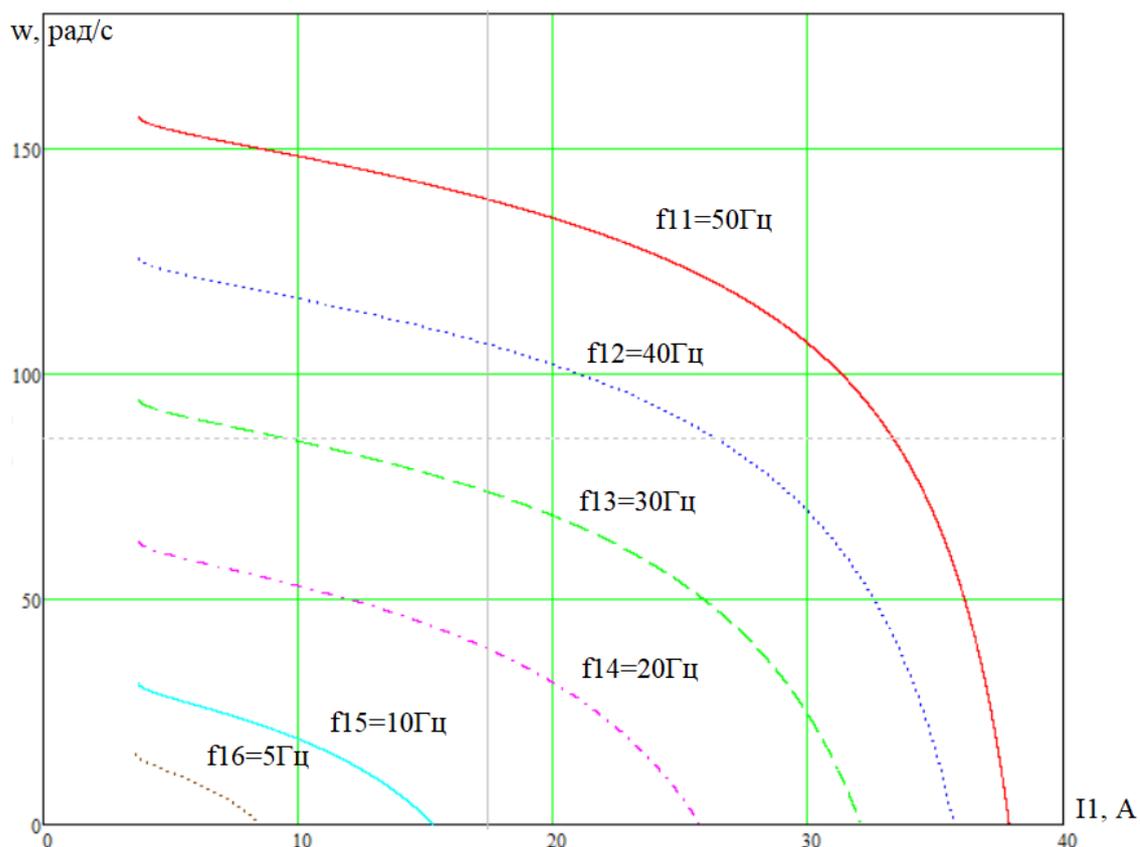


Рисунок 6 - Электромеханические характеристики при разных частотах регулирования

2.7 Механические искусственные статические характеристики с IR-компенсацией

Для увеличения пускового момента увеличим напряжение статора на величину падения напряжения на активном сопротивлении статора (IR-компенсация). Семейство механических характеристик при разных частотах регулирования представлено на рисунке 7. В этом случае механические характеристики будут рассчитываться по следующему выражению:

$$M(s, f_{11}) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2(s, f_{11}) \cdot R_2''}{\omega_0 \cdot \frac{f_{11}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{кн} \cdot \frac{f_{11}}{f} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2''}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2''}{s \cdot X_{\mu}' \cdot \frac{f_{11}}{f}} \right)^2 \right]} \quad (3.44)$$

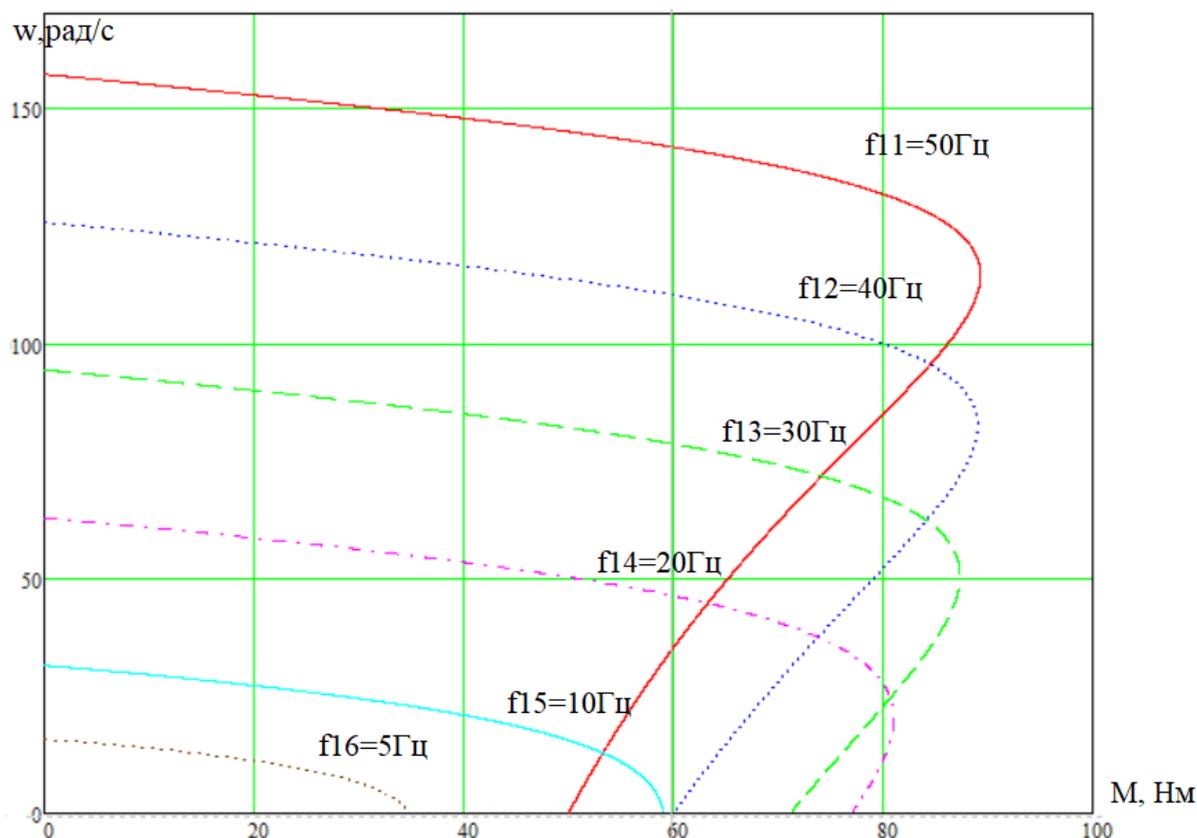


Рисунок 7 - Механические характеристики при разных частотах регулирования с ИР-компенсацией

2.8 Синтез параметров регулятора скорости АД при скалярном регулировании скорости

Линеаризованная структурная схема ПЧ-АД с отрицательной связью по скорости, представлена на рисунке 8, также на схеме приняты следующие обозначения:

$W_{pc}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

k_{nc}, T_{nc} - коэффициент передачи и постоянная времени преобразователя частоты;

J_{Σ} - момент инерции привода.

Синтез параметров регулятора скорости выполним, применяя общепринятые допущения. Настроим внутренний контур скорости на модульный оптимум (МО) согласно выражению (3.45):

$$W_{MO}(p) = \frac{1}{a_{\mu c} \cdot T_{\mu c} \cdot p(T_{\mu c} \cdot p + 1)}, \quad (3.45)$$

где $a_{\mu c} = 2$ - стандартный коэффициент настройки на модульный оптимум.

Передаточная функция разомкнутого контура скорости рассматриваемой системы (рисунок 8) определяется по следующей формуле:

$$W_{kc}(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{k_{nc}}{1 + T_{nc} \cdot p} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{Z_p} \cdot \frac{2 \cdot k_{\beta}}{1 + T_{\beta} \cdot p} \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p}. \quad (3.46)$$

Для упрощения решения задачи синтеза параметров регулятора скорости понизим порядок передаточной функции контура скорости. Для чего найдем суммарную постоянную времени:

$$T_m = T_{nc} + T_{\beta}, \quad (3.47)$$

тогда выражение (3.46) преобразуется к виду:

$$W_{kc}(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{k_{nc} \cdot 2 \cdot k_{\beta}}{1 + T_m \cdot p} \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p}. \quad (3.48)$$

Приравнивая правые части выражений (3.45) и (3.48) и решая полученное уравнение передаточной функции регулятора скорости, находим коэффициент передачи k_{pc} :

$$W_{pc}(p) = \frac{J_{\Sigma} \cdot Z_p}{4 \cdot a_{\mu c} \cdot T_m \cdot k_{nc} \cdot \pi \cdot k_{\beta}} = k_{pc}. \quad (3.49)$$

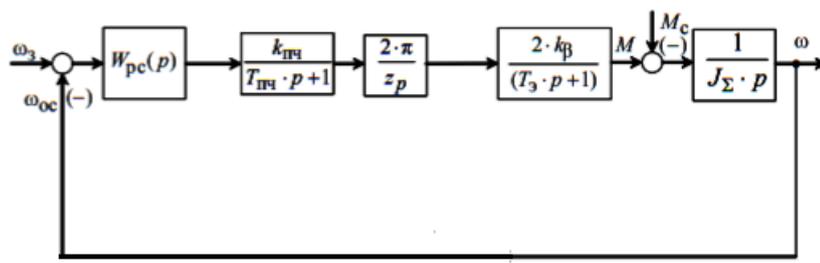


Рисунок 8 – Расчетная структурная схема ПЧ-АД со скалярным управлением с отрицательной обратной связью

Для оценки настройки контура произведем моделирование в программной среде Matlab Simulink рисунок 9.

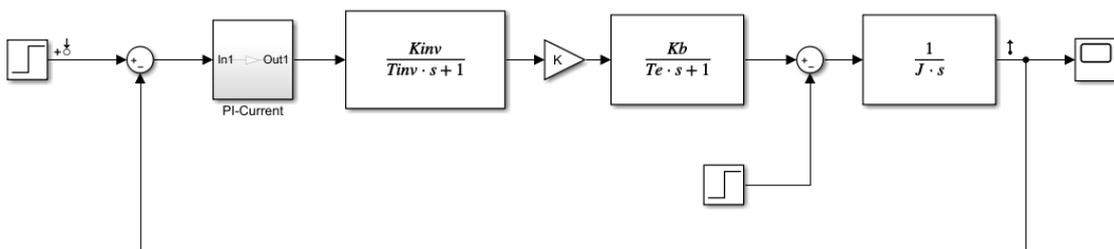


Рисунок 9 – Имитационная модель контура скорости

В результате моделирования получены переходная и частотные характеристики замкнутой системы. Они изображены на рисунках 10,11

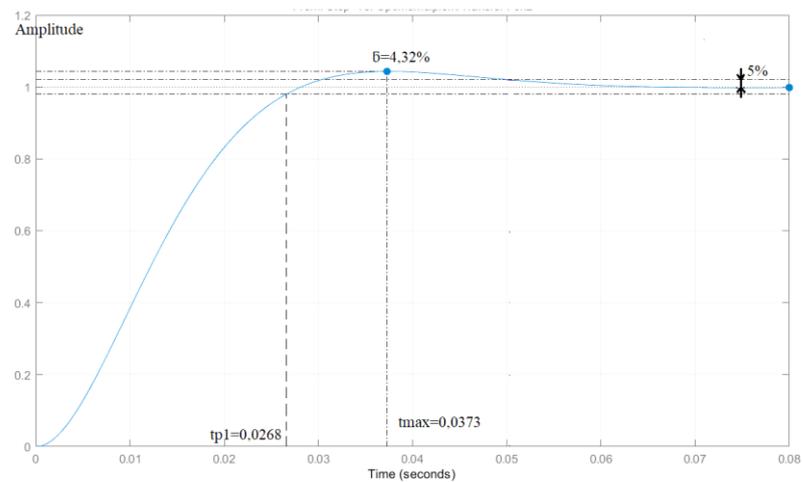


Рисунок 10 – Амплитудная характеристика контура скорости

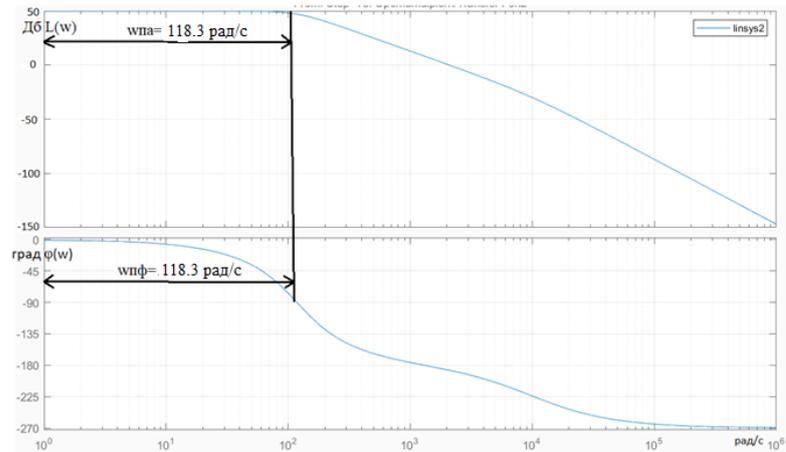


Рисунок 11 – Частотные характеристики замкнутого контура скорости

2.9 Оптимизация контура положения

После настройки контура скорости переходим к оптимизации контура положения на симметричный оптимум (СО), модель которого представлена на рисунке 12.

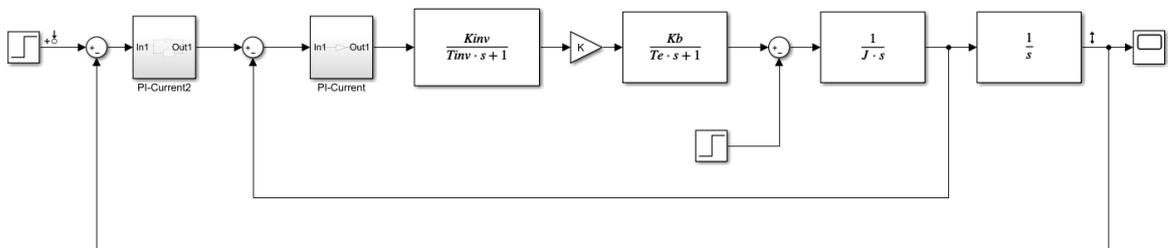


Рисунок 12 – Имитационная модель контура положения

Передаточная функция регулятора вычисляется следующим образом:

$$W_{рп} = W_{со} \cdot W_o^{-1} = \frac{4 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)} \cdot \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{p}, \quad (3.50)$$

где $T_{\mu} = 2 \cdot T_m$.

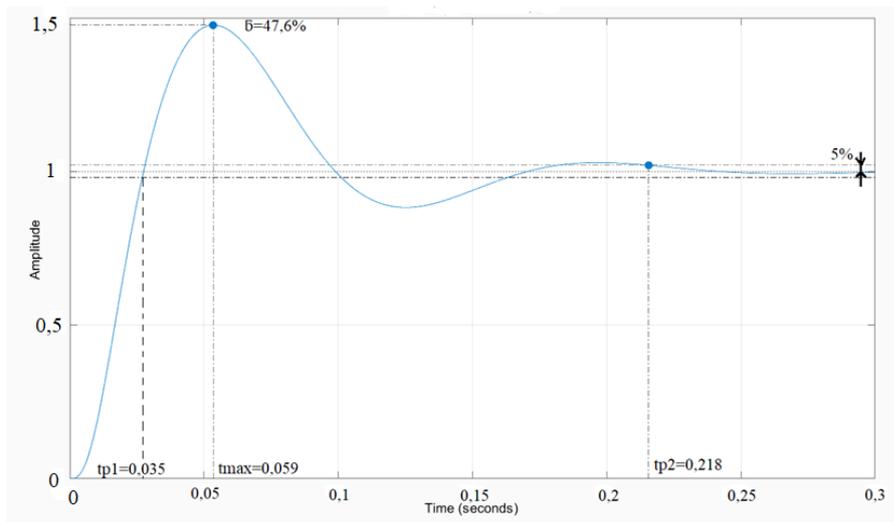


Рисунок 13 – Амплитудная характеристика контура скорости

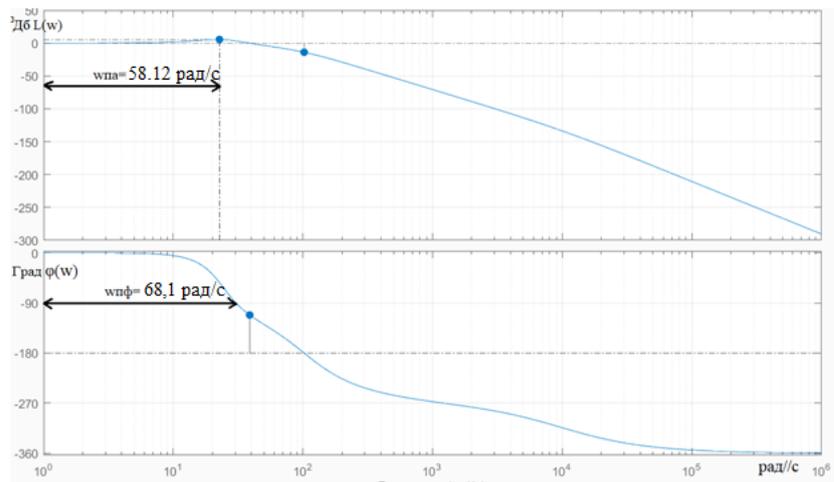


Рисунок 14 – Частотные характеристики замкнутого контура скорости

Для сравнения ожидаемых и экспериментальных показателей качества сводим их в таблицу 4.

Таблица 4 – Показатели качества

Контур скорости (МО)		
	Экспериментальные	Ожидаемые
Время первой реакции t_{p1}, c	$26,8 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot T_{\mu} = 4,1 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 24,6 \cdot 10^{-3}$
Время второй реакции t_{p2}, c	$26,8 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot T_{\mu} = 4,1 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 24,6 \cdot 10^{-3}$
Перерегулирование $\sigma, \%$	4,32	4,32
ПП по модулю $\omega_{па},$ рад/с	118,3	$\frac{0,71}{T_{\mu}} = \frac{0,71}{6 \cdot 10^{-3}} = 118,3$
ПП по фазе $\omega_{пф},$ рад/с	118,3	$\frac{0,71}{T_{\mu}} = \frac{0,71}{6 \cdot 10^{-3}} = 118,3$
ЗУ по фазе $\varphi_{зап},$ град	65,5	65,5
Контур положения (СО)		
	Экспериментальные	Ожидаемые
Время первой реакции t_{p1}, c	$35 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 2 \cdot T_{\mu} = 2,9 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} =$ $= 34,8 \cdot 10^{-3}$
Время второй реакции t_{p2}, c	$218 \cdot 10^{-3}$	$14,7 \cdot 2 \cdot T_{\mu} = 14,6 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} =$ $= 176,4 \cdot 10^{-3}$
Перерегулирование $\sigma, \%$	47,6	43,4
ПП по модулю $\omega_{па},$ рад/с	58,12	$\frac{0,85}{2 \cdot T_{\mu}} = \frac{0,85}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 70,83$
ПП по фазе $\omega_{пф},$ рад/с	68,1	$\frac{0,59}{2 \cdot T_{\mu}} = \frac{0,59}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 49,16$
ЗУ по фазе $\varphi_{зап},$ град	68,4	36,9

2.10 Выводы по главе

- 1) В данном разделе ВКР правильно выбран электродвигатель для запорной арматуры, о чем свидетельствует сделанная проверка (обеспечен необходимый момент на валу двигателя), рассчитаны его параметры, построены механическая и электромеханическая характеристики, выбран преобразователь частоты;
- 2) Построены характеристики при разных частотах при использовании IR-компенсации или положительной обратной связи по току статора;
- 3) Также стоит отметить, что IR-компенсация позволяет регулировать скорость вращения АД с перегрузочной способностью и статизмом не меньше, чем на естественной характеристике в диапазоне $k \ 1/D = \beta$, что составляет около 10:1. Для получения большей жесткости характеристик и, соответственно, большего диапазона регулирования нужно использовать обратную связь по скорости вращения. В современных серийных преобразователях частоты для АД режим IR-компенсации является стандартной функцией.
- 4) Проведен синтез регуляторов скорости (МО) и положения (СО), показатели качества не идеальны в силу линеаризации модели со скалярным управлением.

3 Создание имитационной модели в среде Matlab Simulink

При исследовании динамики АД принимается ряд допущений:

1. параметры обмоток всех фаз имеют одинаковые значения, т.е. имеет место симметричный режим работы;
2. магнитное поле электрической машины имеет синусоидальное распределение вдоль воздушного зазора;
3. не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе двигателя и его перемагничиванием;
4. учитывается насыщение магнитной цепи АД;
5. эффект вытеснения токов в проводниках ротора пренебрежимо мал.

Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат представлена на рисунке 8:

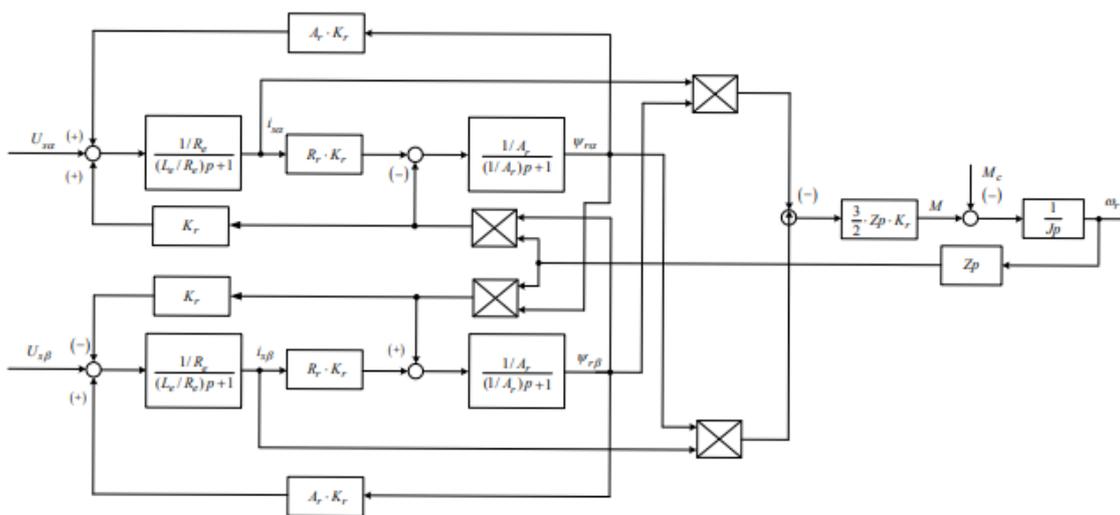


Рисунок 15 – Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

3.1 Проверка адекватности работы модели

Проведем проверку работы модели на холостом ходу и при набросе нагрузки. Для этого создана имитационная модель в программной среде MATLAB Simulink представленная на рисунке 9. Переходные процессы представлены на рисунке 10.

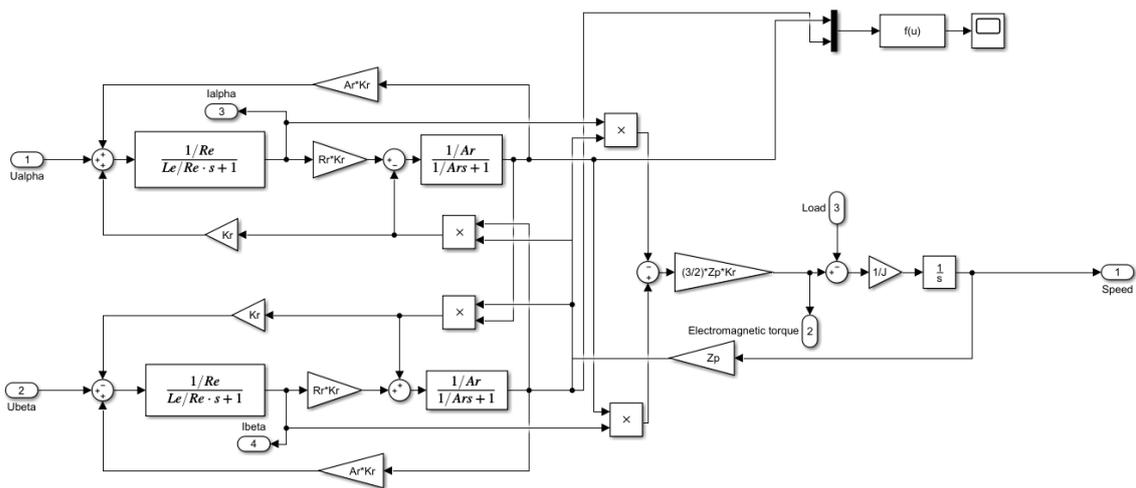


Рисунок 16 – имитационная модель АД в неподвижной системе координат

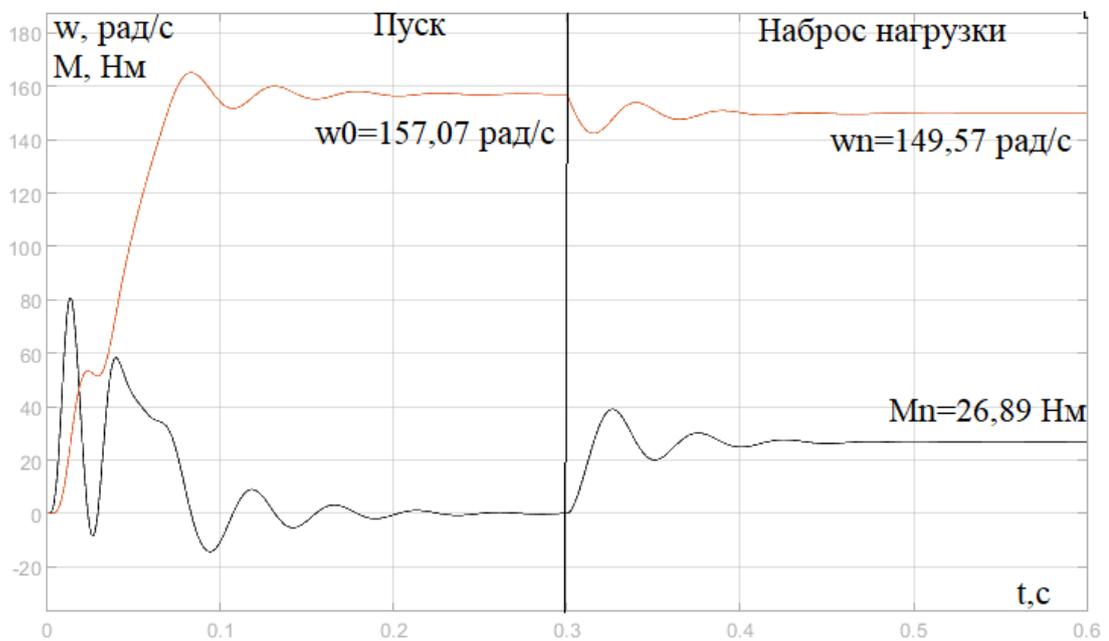


Рисунок 17 – Переходные процессы АД при прямом пуске и набросе нагрузки

Структурная схема модели асинхронного двигателя представлена на рисунке 18:

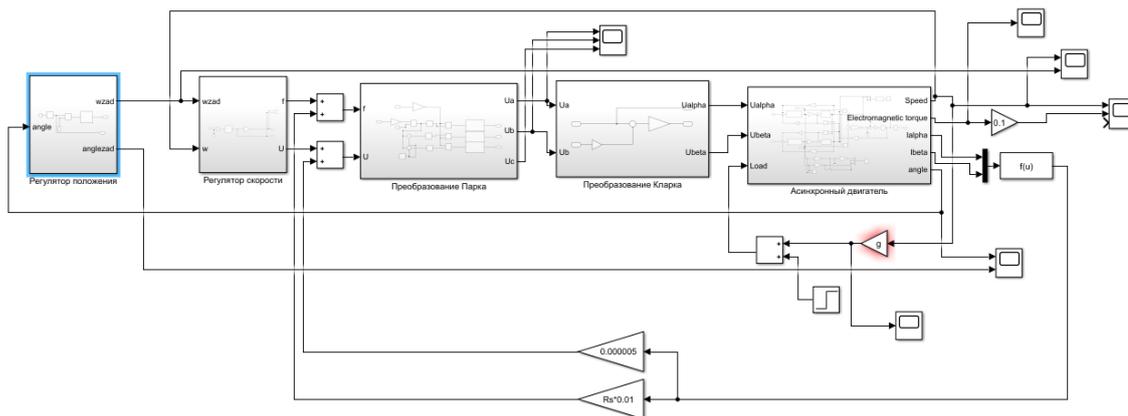


Рисунок 18 – Иммитационная модель асинхронного привода со скалярным управлением

Сам закон скалярного управления задается в скрипте, а в модели реализуется в блоке «Система управления». IR-компенсация и компенсация по скольжению реализуется в качестве положительных обратных связей, суммирующимися с сигналами напряжения и частоты.

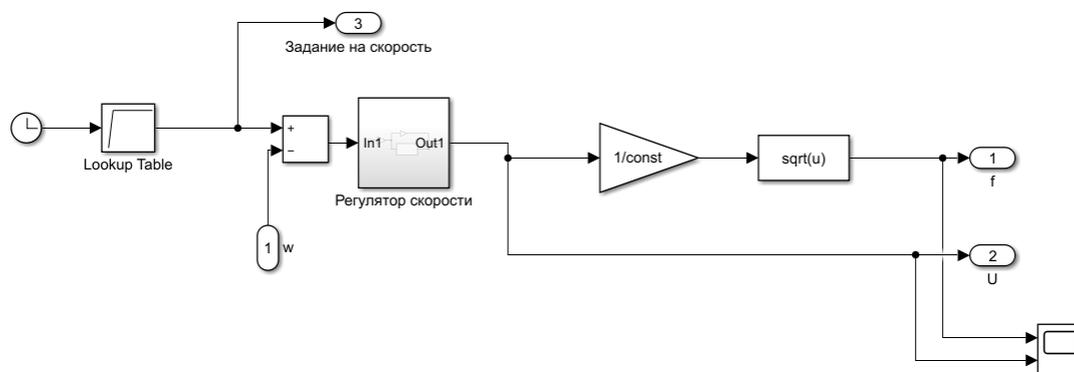


Рисунок 19 – Блок «система управления»

На рисунке 14 представлены переходные процессы по моменту и скорости и углу положения для запорной арматуры:

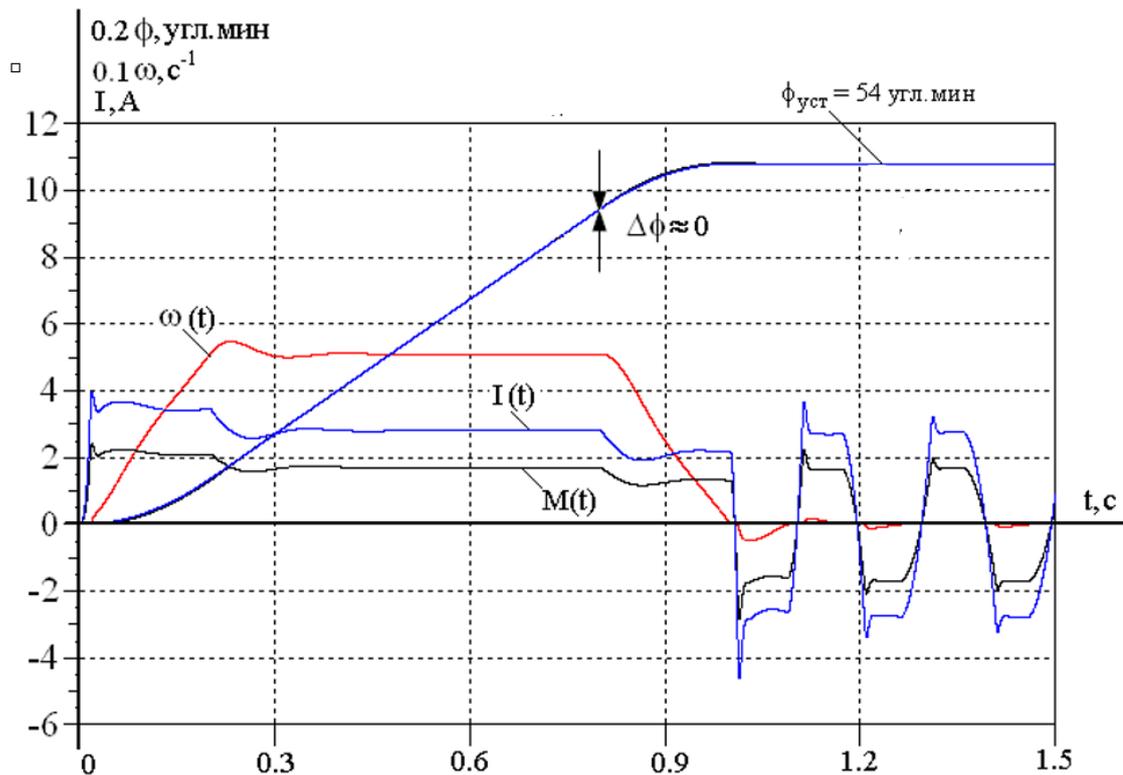


Рисунок 14 – Переходные процессы САУ запорной арматуры

3.2 Выводы по главе

1. В данной главе создана имитационная модель АД в неподвижной системе координат и проведено моделирование на холостом ходу и при набросе нагрузки для проверки адекватности работы модели в программной среде Matlab Simulink, разобраны составные части модели
2. Рассчитаны графики переходных процессов с определенным углом поворота вала двигателя, видно, что кривая положения точно повторяет форму ЗИ.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода 4A100S2 У3;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

4.1 SWOT-анализ по разработке проекта асинхронного электропривода 4A100S2У3

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Подразумевает комплексное исследование сильных и слабых сторон технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проекту по разработке электропривода шахтного вентилятора, SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

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

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

Матрица SWOT приведена в таблице 4.

Таблица 5 - Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>С1. Высокое качество питающего напряжения</p> <p>С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации</p> <p>С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования</p>	<p>Сл1. Повышенный уровень шума</p> <p>Сл2. Аварийные ситуации</p> <p>Сл3. Значительная стоимость оборудования</p>
Возможности:		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	В1 С1С2С3С4	В1 Сл2Сл3
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	В2 С2С4С5	В2 Сл1Сл2
В3.Резервное питание электропривода 4А100S2 УЗ.	В3 С1С2С4С5	В3 Сл2Сл3
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В4 С1С3С5	
Угрозы:		
У1. Развитая конкуренция технологии производства.	У1 С5	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования.	У2 С5	
У3.Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции.	У3 С4	У3 Сл2

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие. Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл. энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	-	+	-	+	+
В3. Резервное питание электропривода 4А100S2 УЗ.	+	+	-	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+		
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	+	+	-		
В3. Резервное питание электропривода 4А100S2УЗ.	-	+	+		
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	-	-	-		

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз

	Сильные стороны проекта				
Угрозы	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1 Развитая конкуренция технологии производства.	-	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования.	-	-	-	-	+
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции.	-	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта				
Угрозы	Сл1 Повышенный уровень шума	Сл2 Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования		
У1 Развитая конкуренция технологии производства.	-	-	+		
У2 Риск несвоевременной поставки оборудования.	-	-	-		
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции.	+	-	-		

В результате проведения SWOT-анализа, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременная ликвидация ошибок и аварий может повлечь за

собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

4.2 Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

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

4.3 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

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

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

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

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа блока управления и редуктора;

№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических $\omega(M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовка к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором, студент осуществляет защиту своей работы.

4.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным

путем в рабочих днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

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

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}. \quad (5.1)$$

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

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

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

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ

приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной иой работы,	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной иой работы	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работ
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	8
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	8
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	8
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Раб. дни	Продолжительность выполнения работ								
			Март	Апрель			Май			Июнь	
			3	1	2	3	1	2	3	1	
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	-								
2 Сбор и изучение литературы	Дипломник	8	-	-							
3 Сбор исходных данных	Дипломник	8		-	-						
4 Подготовка для ввода в базу	Дипломник	8			-	-					
	Руководитель	1				-					
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13			-	-					
	Руководитель	1					-				
6. Выбор оборудования	Дипломник	3					-				
	Руководитель	1						-			
7. Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	13					-	-			
	Руководитель	1							-		
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	13						-	-		
	Руководитель	1								-	
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	7								-	
	Руководитель	2									-
10. Сдача Технического проекта	Дипломник	1									-
	Руководитель	1									-

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта (таблица 9). Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 74 дня. Общая продолжительность выполнения ВКР составила 79 рабочих дней.

4.5 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 темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.6 Затраты на специализированное оборудование

Стоимость специализированного оборудования 4A100S2 У3 приведена в таблице 10.

Таблица 10 - Стоимость специализированного оборудования.

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб
Двигатель 4A100S2 У3	1	13185
Преобразователь частотны ES025-04-0090A”	1	19360
БУР 4-10М	1	30520
Редуктор 4A100S2 У3	1	74560
Итого:		110157

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ОБ}} = Ц * k_{\text{тр}} \text{ где:}$$

$C_{\text{ОБ}}$ - первоначальная стоимость оборудование;

Ц - цена оборудование;

$k_{\text{тр}}$ - коэффициент на транспортные расходы;

$$110157 * 1,1 = 121 \text{ тыс. руб.}$$

4.7 Полная заработная плата исполнителей ВКР

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

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

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

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{р}}, \text{ где:}$$

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 10).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}, \quad (5.2)$$

$Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11– Расчёт основной заработной платы исполнителей

<u>Исполнители</u>	<u>Оклад</u>	<u>Районная доплата руб.</u>	<u>Зарплата месячная, руб</u>	<u>Среднедневная заработная плата в день, руб</u>	<u>Продолжительность работ, раб. дн</u>	<u>Основная заработная плата, руб</u>
<u>Руководитель</u>	33664	10099	43758	1683	7	11781
<u>Дипломник</u>	12300	3690	15990	615	74	45510
<u>Итого $Z_{осн}$ руб.</u>						57291

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

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

<u>Исполнители</u>	<u>Коэффициент дополнительной заработной платы</u>	<u>Основная заработная плата, руб</u>	<u>Дополнительная заработная плата, руб.</u>	<u>Полная заработная плата, руб</u>
<u>Руководитель</u>	0,15	11781	1767	13548
<u>Дипломник</u>	0,12	45510	5461	50971
<u>Итого</u>		57291	7228	64500

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \text{ где:}$$

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

$$k_{внеб} = 30,2 \% \text{ в условиях ТПУ.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 64500 = 19,5 \text{ тыс. руб.}$$

4.8 Накладные расходы

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

$$\sum H_p = \sum Z_{осн} \cdot K_{нр}. \quad (5.3)$$

4.9 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение затрат на технический проект приведен в таблице 13.

Таблица 13– Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма тыс. руб.	Структура затрат %
Материальные затраты ТП	121	40
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	64,5	21
Отчисления во внебюджетные фонды	19,5	6
Накладные расходы	93	32
Итого	298	100

Исходя из представленной выше таблицы 1.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 116 тыс.руб. Большая часть (40 %) составляют затраты на спецоборудование.

4.10 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где:

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию асинхронного электропривода 4A100S2Y3 рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

-Надежность асинхронного электропривода – это длительный эксплуатационный ресурс. Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

-Энергосбережение асинхронного электропривода 4A100S2Y3 – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

-Материалоемкость асинхронного электропривода 4A100S2Y3 – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании электропривода 4A100S2Y3 нужно учитывать, что его работа является кратковременной. Поэтому подбор осуществлялся таким образом, что при тех же условия подобрать электропривод, который бы расходовал меньше энергии.

-Производительность асинхронного электропривода 4A100S2Y3 – должна обеспечить управление рабочими органами запорной арматуры магистральных нефтепроводов. Производительность достигается за счет правильного расчета и подбора электропривода для тех условий, в которых он будет работать, и использование качественных материалов во избежание не нужных утечек.

-Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется наличием минимального количества резьбовых соединений, а легкость в настройке и управлении обеспечивает частотный преобразователь

-Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Способствует производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi}=5*0,25+5*0,2+4*0,15+4*0,15+5*0,15+4*0,1=46 \quad (5.3)$$

4.11 Выводы по главе

-показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

-произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы

имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. Составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей;

Была рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 288 тыс.руб. Определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале)

5 Социальная ответственность

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе электропривода 4A100S2У3, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли.

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [11].

Напряжение питания 220 и 380 В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения во всех компаниях регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[12], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

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

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены:

I смена — с 8 часов утра до 17 часов;
II смена — с 8 часов до 20 часов;

III смена — с 20 часов до 8 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 45-60 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[3]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст.

286 Трудового кодекса РФ)[14]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[15].

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

5.2 Производственная безопасность

Таблица 15 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготов ление	Эксплуат ация	
1.Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны			+	ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по транспортировке нефтепродуктов [16]
2.Повышенный уровень вибрации		+	+	Допустимый уровень вибрации по цеху обогащения [17] –90дБ.
3.Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [21]
4.Отклонение показателей микроклимата			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [18]: СанПиН 2.2.4.548-96
5.Недостаточная освещенность рабочей зоны			+	Требуемая норма освещения Е _{нор} =200 лк .СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[19].

6. Движущиеся части машин и механизмов		+	+	"Строительные нормы и правила СНиП Ш.А.П-70", "Правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах (ПТБЭМ)".
7. Опасность поражения электрическим током		+	+	ГОСТ ИЕС 61140-2012 «Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования» [22].

5.3 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

проектируемой производственной среды

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

1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

В процессе транспортировки нефтепродуктов в областях запорной арматуры в воздушной среде повышается уровень загазованности. Неблагоприятное воздействие паров нефтепродуктов на организм может быть причиной возникновения различных заболеваний: специфических (пневмокониозы, аллергические болезни) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи) газовые поражения. Производственные пары нефтепродуктов рассматриваемого производства относятся к третьему классу опасности (умеренно опасные). ПДК паров нефтепродуктов в воздухе рабочей зоны не должны превышать 10 мг/куб.м[20].

2. Повышенный уровень вибрации

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации на производстве являются станки и испытательные стенды. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-2014 [21] цеху обогащения –90 дБ.

3. Повышенный уровень шума

Опасности психологической группы связаны с шумом на производстве, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, станки, испытательные стенды в рабочем состоянии.

4. Отклонение показателей микроклимата

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

5. Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ лк. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее освещение.

6. Движущиеся части машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при испытании электроприводов являются: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, маховиков; настройка и смазка электроприводов во время их работы;

включение электропривода без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (переход через испытательный стенд во время его работы, эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм работе на испытательном стенде допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и настройки электроприводов, а так же прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

7. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

К работам по испытанию электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя. При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При испытании привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма: общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Характерные местные электротравмы.

электроожоги – 40 %;

электрические знаки – 7 %;

металлизация кожи – 3 %;

механические повреждения – 0,5 %;

электроофтальмия – 1,5 %;

5.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

К индивидуальным средствам защиты относятся противогазы, защитные очки, специальная одежда. Производственный процесс относится к 1а группе (избытки явного тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ)[20].

Повышенный уровень вибрации

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

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

Повышенный уровень шума

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[21].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [11]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

Опасность поражения электрическим током

Повышенное значение напряжения в электрической цепи является опасным фактором. При замыкании электрической цепи через тело человека происходит поражение организма электрическим током.

Основными показателями, которые определяют масштаб поражения организма, являются [22]:

- сопротивление тела;
- путь протекания тока;
- величина тока и напряжения;
- продолжительность воздействия тока на организм.

Также стоит отметить, что Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок и архитектурно-планировочными решениями;
- организацией технологических процессов;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями при производстве работ;
- электрозащитными средствами, средствами защиты от электрических и магнитных полей и другими средствами индивидуальной защиты, применяемыми при эксплуатации электроустановок;
- организацией технического обслуживания электроустановок[22].

5.5 Отклонение параметров микроклимата

Работы оператора настройки электропривода относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [10].

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [18]:

температурой воздуха:

- в холодный период года $t=19 - 21^{\circ}\text{C}$;
- в тёплый период года $t=20 - 22^{\circ}\text{C}$;

влажностью воздуха:

-в холодный период года 40-60 %;

-в тёплый период года 40-60%;

скорость движения воздуха:

-в холодный период года 0,2 м/с;

-в тёплый период года 0,2 м/с.

5.6 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ лк. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее освещение.

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

5.7 Экологическая безопасность

Безотходная технология является формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Под понятием «безотходная технология» следует понимать комплекс мероприятий в технологических процессах, от обработки сырья до использования готовой продукции. В результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня. Все отходы должны сортироваться и накапливаться для дальнейшей переработки. В этот комплекс мероприятий входят:

-создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов;

-разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод;

-разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;

-создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

Достигнуты успехи в области создания и внедрения безотходной технологии в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач. Поэтому до всестороннего внедрения безотходной технологии важными направлениями экологизации промышленного производства считаются:

-совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду;

-замена токсичных отходов на нетоксичные;

-замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;

-применение пассивных методов защиты окружающей среды.

Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией или захоронением отходов. К их числу относятся:

-очистка сточных вод от примесей;

-очистка газовых выбросов от вредных примесей;

-рассеивание вредных выбросов в атмосфере;

-глушение шума на путях его распространения;

-мероприятия по снижению уровней инфразвука, ультразвука и

-вибраций на пути их распространения;

-экранирование источников энергетического загрязнения окружающей среды;

-захоронение токсичных и радиоактивных веществ.

Потребление электроэнергии является одной из наиболее серьезных проблем охраны окружающей среды. С увеличением компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличивается и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления влечет за собой такие экологические нарушения, как:

- изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект);

- загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами;

- загрязнение водного бассейна Земли;

- опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и

- утилизации ядерных отходов;

- изменение ландшафта Земли.

5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

5.9 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и

автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

-номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети;

-плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе;

-плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах.

5.10 Воспламенения изоляции вследствие повышения температуры

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

а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании

б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а так же работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;

в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;

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

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

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

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

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

5.11 Выводы по разделу

В данном разделе дипломной работы были затронуты вопросы безопасности трудовой деятельности. Также рассмотрели организационные мероприятия перед началом работ с электрооборудованием. Было выявлено, основные вредные воздействия на рабочий персонал, а также опасные факторы во время эксплуатации электропривода. Вредные производственные факторы могут оказать влияние на работоспособность персонала, а также на общее состояние людей. Опасные факторы могут нанести серьезный вред, вплоть до смерти. Для безопасной работы персонала были определены мероприятия для предотвращения данных опасных и вредных факторов.

Были рассмотрены такие чрезвычайные ситуации, как пожар и меры, которые необходимо принять. Также были рассмотрены мероприятия и

действия рабочего персонала по устранению при других чрезвычайных ситуациях.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе спроектирован и исследован электропривод (дописать)

Проведен обзор теории по работе запорной арматуры и ее частей в условиях низких температур, показано, на какие составные части ЭП запорной арматуры стоит обратить внимание при ее эксплуатации в неблагоприятных условиях окружающей среды. Приведены требования и критерии работоспособности.

Для исследования ЭП с запорной арматурой выбран асинхронный двигатель и рассчитаны его параметры, приведены естественные механическая и электромеханическая характеристики. За основу системы управления взят принцип скалярного управления, рассчитаны характеристики при разных частотах и с учетом IR-компенсации.

Предложена модель учета изменения активных сопротивлений асинхронного двигателя для повышения эффективности работы ЭП при низких температурах внешней среды.

Проведено моделирование работы запорной арматуры в программной среде Matlab Simulink. Исследование полученных статических и динамических характеристик показало, что модель адекватно отражает работу задвижки.

Произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. Составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

В разделе социальной ответственности рассмотрены меры по работе с электрооборудованием и предотвращение проблем, возникающих при неправильной его эксплуатации.

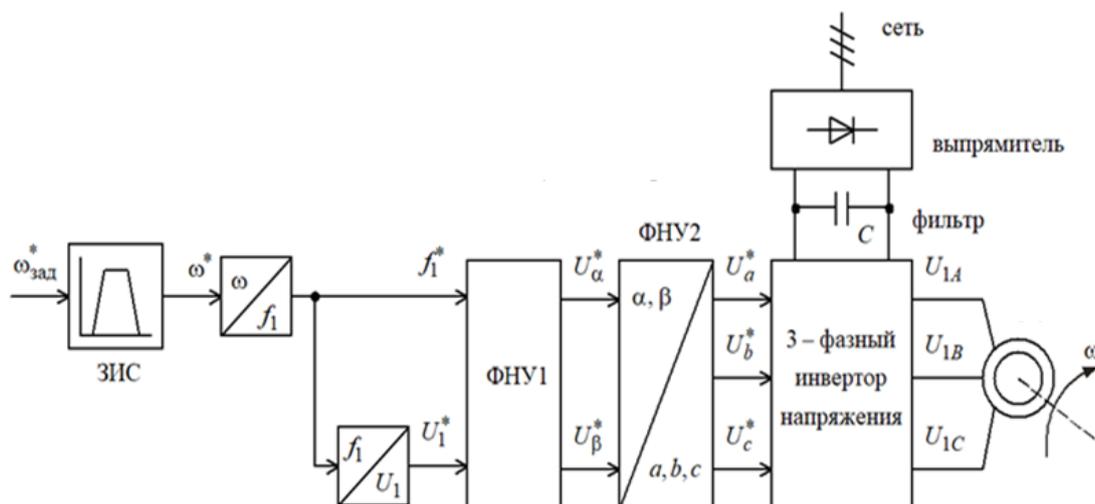
Список литературы

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
2. Запорные устройства, режим доступа http://armgasinvest.ru/catalog/detail/zapornie_ustrojstva/, свободный, 20.03.20 г.
3. Гошко А.И. Арматура промышленная общего и специального назначения. Справочник – М.: Мелго, 2007 г.
4. Зубреков А.Е. Запорная арматура в условиях крайнего севера.
5. Трубопроводная арматура, запорная арматура - общие требования [электронный ресурс], режим доступа <http://vark.ru>, свободный, 30.03.20г.
6. Дементьев Ю. Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.
7. Трубопроводная арматура, запорная арматура - общие требования [электронный ресурс], режим доступа <http://vark.ru>, свободный, 15.03.20.
8. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 475 с.
9. Трубопроводная арматура – классификация и виды [электронный ресурс], режим доступа <http://prommaterials.narod.ru/stat/truboprovodnaya>, свободный, 02.04.20
10. Нанесение износостойкого покрытия на трубопроводную арматуру [электронный ресурс], режим доступа <http://plasmacentre.ru/works/18.php>, свободный, 21.04.20
11. ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные, методы испытаний на огнестойкость»
12. ТК РФ, статья 15. Трудовые отношения.
13. ТК РФ, статья 115. Продолжительность ежегодного основного оплачиваемого отпуска.
14. ТК РФ, статья 286. Отпуск при работе по совместительству.
15. ТК РФ, статья 125. Разделение ежегодного оплачиваемого отпуска на части. Отзыв из отпуска.

- 16.ПБ 05-580-03. Правила безопасности на предприятиях по транспортировке нефтепродуктов.
- 17.ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний"
- 18.СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение»
- 19.ГОСТ 12.1.007-76. «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»
- 20.ГОСТ Р 14.03-2005. «Экологический менеджмент. Воздействующие факторы. Классификация»
- 21.ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности»
- 22.ГОСТ ИЕС 61140-2012 «Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования»

Приложение А

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением



ЗИ – задатчик интенсивности, формирующий форму кривой и темп разгона двигателя;

ПНЧ – блок преобразования частота-напряжение формирует требуемую зависимость скалярного управления, устанавливает требуемый закон частотного регулирования;

ПКП – прямо координатный преобразователь из вращающейся системы координат (сигналы постоянной величины) в трехфазную неподвижную;

А-В-С (синусоидальные сигналы токов и напряжений);

ПЧ – преобразователь частоты;

АИН- автономный инвертор частоты;

ФТС – формирователь тока статора.