

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод подкачивающей станции многоэтажного дома.

УДК 621.31:62-83:628.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Конев Андрей Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Коневу Андрею Сергеевичу

Тема работы:

Электропривод покачивающей станции многоэтажного дома	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3994/с от 20.05.2019г.

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	Функциональная схема Схема электрическая структурная. Имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	К.Т.Н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Конев Андрей Сергеевич		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

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

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

Реферат

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование асинхронного электропривода насоса жилого дома.

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страниц, 18 рисунков, 21 таблицы, 31 используемых источников, 2 приложения.

В ходе работы был разработан регулируемый электропривод насоса 90К20, обеспечивающий следующие показатели качества:

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования в рабочей зоне $D = 1:3$, при плавном регулировании скорости в указанном диапазоне.
3. Погрешность поддержания заданной скорости вращения на нижней рабочей скорости не более 5 % .
4. Управление электроприводом – ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с возможностью интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Система управления электроприводом обеспечивает надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, графическом редакторе Visio 2010, статическом редакторе Microsoft Excel 2010. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 2014 Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab 7.1.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	11
1.1 Анализ технологического процесса	11
1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода	14
2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА	17
2.1 Выбор приводного электродвигателя	17
2.4 Расчёт естественных характеристик электродвигателя	23
2.5 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода.....	28
2.6 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии.....	30
2.7 Выбор преобразователя частоты	31
3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	33
3.1 Разработка имитационных модели электропривода со скалярным управлением.....	33
3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярном управлением.....	41
3.3 Параметры элементов силового канала электропривода насоса	42
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	51
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,	52
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	52
4.1 SWOT-анализ подкачивающего насоса 90К20	52
4.2 Структура работ технического проекта.....	56
4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования.....	57
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	58
4.3 Составление сметы технического проекта	62
4.3.1. Расчет материальных затрат	62

4.3.2	Полная заработная плата исполнителей	63
4.3.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	64
4.3.4.	Накладные расходы.....	65
4.4.	Формирование сметы затрат технического проекта	65
4.5.	Определение ресурсоэффективности проекта	66
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....		69
5.	Социальная ответственность	70
5.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
5.1.1.	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	71
5.2	Производственная безопасность.....	72
5.3	Экологическая безопасность.....	75
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		79
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		81
Приложение 1		84
Приложение 2		85

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция к переходу от нерегулируемого асинхронного электропривода (АЭП) к регулируемому электроприводу. Преимущества, обеспечиваемые регулируемым электроприводом: улучшение качественных характеристик технологических процессов и выпускаемой продукции, возможность автоматизации производства, обеспечение энергосбережения и ресурсосбережения.

Теплоснабжение жилых кварталов муниципальных и промышленных объектов в Российских городах производится, как правило, централизованными магистральными закрытыми системами. Циркуляция и перекачка воды в системах тепло и водоснабжения осуществляется с помощью сетевых насосных станций, основными элементами которых являются центробежные насосы.

Значительная экономия топливно-энергетических ресурсов достигается при централизации теплоснабжения жилых, промышленных и общественных зданий в городах и других населенных пунктах.

Основными путями развития централизованного теплоснабжения является отказ от мелких котельных, в пользу строительства крупных ТЭЦ для производства горячей воды и пара, необходимой для отопительных и технологических нужд крупных жилых районов города. С этим развитием связано строительство протяженных и широко разветвленных тепловых сетей с многочисленными тепловыми пунктами разнородных потребителей жилых и промышленных объектов.

Теплоснабжение объектов народного хозяйства и населения является одной из основных подсистем энергетики страны. Назначение системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты в виде пара и горячей воды требуемых параметров.

В системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) осуществляются следующие технологические процессы: производство и отпуск теплоты, транспортирование и использование теплоносителя.

Производство и отпуск теплоты осуществляются в теплоподготовительных установках источников теплоты - ТЭЦ и городских или промышленных котельных. В источниках теплоты используют органическое или ядерное топливо. Источник теплоты должен обеспечивать экономически выгодные режимы отпуска теплоты в тепловую сеть, иметь высокую надежность, а также обеспечивать бесперебойную работу агрегатов.

Транспортирование теплоносителя производится по тепловым сетям, соединяющим источник теплоты с потребителями. К тепловым сетям относят теплопроводы и сооружения на них - сетевые станции (подкачивающие, смесительные, дроссельные). СЦТ городов являются, как правило, водяными системами, где в качестве теплоносителя применяется вода.

Водяные системы теплоснабжения могут быть закрытыми и открытыми. В закрытых системах, вода, циркулирующая в тепловой сети используется только как основной теплоноситель, из сети для потребления она не отбирается; в открытых системах теплоноситель (вода) разбирается у потребителей для нужд горячего водоснабжения.

Для теплоснабжения городов от источников теплоты до данной группы потребителей, как правило, используются двухтрубные тепловые сети.

Назначение тепловых сетей - надежная, бесперебойная транспортировка теплоносителя с минимальными потерями теплоты и воды.

Использование теплоносителя (отпуск теплоты) осуществляется в теплоприемниках потребителей: в системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. При отпуске теплоты потребителям осуществляется поддержание по заданному закону параметров нагреваемой среды.

В связи с возрастающей стоимостью электроэнергии тема данного проекта является актуальной.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ технологического процесса

При описании технологической установки используются некоторые термины, являющиеся специфическими для данного типа установок:

Насос - гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, служащая для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами или сжиженных газов..

Насосный агрегат (НА) - совокупность насоса, электропривода и передаточного механизма (муфта, редуктор, шкив).

Насосная установка (НУ) - это система оборудования обеспечивающий необходимый режим работы насосов одного или нескольких насосных агрегатов.

Насосная станция (НС) - сооружение, состоящая из одной или нескольких насосных установок, а также содержащая в себе вспомогательные системы и оборудование.

Насосные установки делятся на:

- Водопроводные
- Канализационные
- Мелиоративные
- Теплофикационные

Теплофикационные насосные станции (тепловые пункты) предназначены для подачи потребителям горячей воды требуемых параметров.

Насосные установки ежегодно потребляют около 20% электроэнергии, вырабатываемой энергосистемами. В настоящее время большая часть насосных установок работают неэкономично. Потери электроэнергии составляют 10-25%, потребляемой электроэнергии.

Для снижения потерь электроэнергии в насосных станциях целесообразно применение экономических способов регулирования, основанных на изменении частоты вращения рабочих колес насоса.

В современных насосных установках изменение частоты вращения насосов осуществляется с помощью автоматизированного электропривода (АЭП).

Поступление горячей воды в систему хозяйственно-бытового потребления и характер распределения ее суточных расходов, неравномерны и зависят от степени благоустройства зданий и от числа жителей населенного пункта.

Основным источником тепловой энергии в городе Зеленогорске является ОАО «ОГК-2 – Красноярская ГРЭС-2». От ГРЭС-2 проложено четыре магистрали диаметром 300 -700 мм, по которым горячая вода подается на подкачивающие насосные станции. На насосных станциях установлены насосы, повышающие давление теплоносителя до рабочего (7,5-8 кгс/см²). Давление теплоносителя в магистралях варьируется от 5 - 6 кгс/см² во время пиковых нагрузок и до 9 кгс/см² в ночное время. Подкачивающая насосная станция № 9 (ПНС-9) предназначена для теплоснабжения жилого дома. Для этого на ПНС-9 установлены насосы (Таблица 1.1).

Таблица 1.1- наименование насосов ПНС 9

№ с/н	Марка насоса	Произ в м	Напор М.в.ст	Мощн эл.двиг ,кВт	Число об.в мин	Марка Эл.двиг.	Диам раб.колеса
1	K90/20	90	20	7,5	1455	АИР132S4	149
2	K90/20	90	20	7,5	1455	АИР132S4	149

Для производства оперативных переключений по включению или отключению насосов и коллекторов ПНС-9, на подающем трубопроводе установлена следующее вспомогательное оборудование:

- 1) № 1 – секционная стальная задвижка Ду 150;
- 2) № 5 – отключающая стальная задвижка Ду 200 по ВСП;
- 3) № 7 – отключающая чугунная задвижка Ду 80 по ВСП (отопление);
- 4) № 9 - отключающая чугунная задвижка Ду 80 по ВСП (ГВС);

5) № 3А – отключающая стальная задвижка Ду 80, установлена на всасывающем коллекторе насоса № 2;

6) № 1А – отключающая стальная задвижка Ду 80, установлена на всасывающем коллекторе насоса № 1;

7) № 1Б – регулирующая стальная задвижка Ду 80, установлена на напорном коллекторе насоса № 1;

8) № 3Б – регулирующая стальная задвижка Ду 80, установлена на напорном коллекторе насоса № 2.

Вспомогательная запорная арматура:

1) № 13 – отключающий чугунный вентиль Ду 40, для обеспечения циркуляции в тепловой сети при отключении ПНС-9;

2) № 11 – отключающая стальная задвижка Ду 100, для обеспечения циркуляции в коллекторах ПНС-9 при отключении нагрузки у потребителей;

3) № 12 – отключающая стальная задвижка Ду 80, для летнего ГВС с обратного трубопровода;

4) № 1 – обратный клапан стальной Ду 100, для обеспечения циркуляции воды при остановке насоса № 1;

5) № 2 – обратный клапан стальной Ду 100, для обеспечения циркуляции воды при остановке насоса № 2;

6) № 4 – обратный клапан стальной Ду 200, для предотвращения сверх нормативного избыточного давления воды в системах теплоснабжения при аварийной остановке насосов № 1, № 2.

1.2 Описание и основные технические характеристики насоса К90/20

Насосы типа "К"- центробежные, консольные, одноступенчатые с односторонним подводом жидкости к рабочему колесу, предназначены для перекачивания чистой воды, производственно-технического назначения (кроме морской) с рН 6...9, температурой от 273 до 358К (от 0 до + 85оС) и от 273 до 378К (от 0 до 105оС), и других жидкостей, сходных с водой по плотности,

вязкости и химической активности, содержащих твердые включения размером до 0,2 мм, объемная концентрация которых не превышает 0,1%. Уплотнение вала насоса - одинарное, двойное сальниковое или одинарное торцовое. Наибольшее допускаемое избыточное давление на входе в насос, для насосов с мягким сальником, 0,35МПа (3,5 кгс/см²), с торцовым уплотнением 0,6 МПа (6,0 кгс/см²).



Рисунок 1.1 – Насос К90/20.

Таблица 1.2 – Параметры насоса

Тип насоса	Подача, м ³ /час	Напор, м	КПД насоса, %	Мощность насоса, кВт
К90/20	90	20	78	5,5

1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

В современных отечественных и зарубежных системах регулирование режимов работы насосных установок осуществляется посредством автоматизированного регулируемого электропривода. В таких системах регулируемым параметром является напор жидкости. Современное развитие техники позволяет поддерживать заданный напор с большой точностью. Однако высокая точность влечет за собой непрерывное изменение частоты вращения электродвигателя насосного агрегата и вследствие этого способствует возникновению знакопеременных нагрузок на отдельные элементы насосного агрегата (эластичные муфты, соединяющие насос с двигателем и др.), ведущих к

преждевременному их износу. Поэтому в ряде случаев приходится устанавливать повышенную зону нечувствительности системы регулирования, что понижает точность стабилизации напора.

В качестве регулируемого электропривода насосной установки в системе горячего водоснабжения предусматривается использование одного из типов электропривода, в том числе: индукторных муфт скольжения (ИМС) с питанием возбуждения от тиристорных блоков; частотных преобразователей; электроприводов по схеме АВК на базе преобразователей ТДП-2 и станций управления ШДУ; электроприводов на базе вентильных электродвигателей с преобразователями ПЧВН, ПЧВС.

Стабилизация напора жидкости осуществляется за счет того, что при уменьшении водоразбора, напор в сети увеличивается, а частота вращения электродвигателя насоса в результате действия системы регулирования уменьшается. При увеличении водопотребления, наоборот, напор жидкости в сети падает, а частота вращения увеличивается. Основная цель системы стабилизации напора жидкости в системе трубопроводов заключается в поддержании напора на заданной отметке. В системах стабилизации напоров в сети, необходимо предусматривать включение дополнительных нерегулируемых насосов при существенных увеличениях притока или водопотребления и отключение их при уменьшении. Регулируемым приводом должны оснащаться наиболее крупные насосные агрегаты с наиболее пологой характеристикой. В случае использования однотипных насосов во избежание образования мертвых зон рабочие колеса нерегулируемых насосов должны иметь диаметры, меньшие регулируемых. При равенстве диаметров и работе регулируемого насоса в режиме максимальных подач с повышенной частотой вращения (в случае применения частотного электропривода) он должен быть укомплектован двигателем повышенной мощности в соответствии с рекомендациями.

Насосы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с малым числом включений и большим количеством часов работы в году.

Нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, без перегрузок. Необходимый диапазон частоты регулирования не превышает, как правило, 2:1. Нагрузка на валу механизма носит чисто вентиляторный характер, т.е. статический момент сопротивления на валу механизма пропорционален квадрату скорости. Электропривод должен нормально функционировать в условиях повышенной влажности и относительно высоких температур, а также иметь максимально возможные показатели надежности. В этих условиях предпочтительным является применение асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, получающего питание от преобразователя частоты.

АД КР отличается простотой, надежностью, отсутствием контактных соединений (щеток), своей низкой стоимостью, а преобразователь частоты позволяет добиться достаточно точного и плавного регулирования скорости двигателя. На основе этих данных, можно сформулировать следующие требования к электроприводу, которые он должен обеспечивать:

- диапазон регулирования скорости 3: 1;
- перегрузочную способность не ниже 1,5;
- плавный пуск насосного агрегата и разгона до заданной скорости;
- торможение выбегом;
- климатическое исполнение УХЛ4;
- степень защиты IP44

2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Выбор приводного электродвигателя

Автоматизация производственных установок позволяет более быстро и точно воспроизводить технологический процесс. При полной автоматизации процесса не требуется постоянного участия человека, ему остается роль наблюдателя и корректировщика. На данный момент целесообразно автоматизировать производственные установки при помощи микропроцессорных систем (программируемых контроллеров), которые позволяют заменить жесткую логику на программное управление, повысить надежность и гибкость системы управления.

Определим основные требования к автоматизированной системе управления:

- плавный пуск насосного агрегата и разгон до заданной скорости;
- определение необходимого напора в зависимости от текущего расхода;
- стабилизация необходимого напора жидкости в системе за счет регулирования скорости вращения электродвигателя;
- включение и отключение резервного насоса в зависимости от требуемого расхода;
- ввод в действие резервного насоса в случае аварии рабочего;
- автоматический разгон насосного агрегата после исчезновения напряжения питания (автоматическое повторное включение);
- защита от тепловых перегрузок приводных двигателей насосных агрегатов;
- периодическая смена основного насосного агрегата, стабилизирующего подачу жидкости в систему;
- система управления должна обеспечивать контроль минимального, максимального и аварийного расхода.

В качестве электропривода для проектируемой установки принимаем трехфазный асинхронный электропривод, построенный по системе ПЧ-АД КЗР.

Автоматизировать установку предлагается внедрением программируемого контроллера. В функции контроллера в таком случае будут входить: выработка задания для электропривода в зависимости от напора в сети; осуществление переключения основного и резервного насосов при выходе из строя основного; диагностика состояния элементов установки; подключение дополнительного насоса при перегрузке основного; выдача аварийных сигналов в диспетчерскую службу.

На основе технических данных насоса, а также, согласно выбранной системы электропривода, предварительно выбираем трехфазный асинхронный АИР132S4.

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором типа АИР132S4 предназначены для привода механизмов, требующих регулирования частоты вращения, а также для привода механизмов с тяжелыми условиями пуска. Двигатели предназначены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380 В.

Вид климатического исполнения – У3.

Номинальный режим работы - продолжительный S1.

Конструктивное исполнение двигателей - IM1001.

Способ охлаждения двигателей - IC01A61.

Степень защиты двигателей – IP44, коробки выводов - IP55.

Номинальная мощность приводного двигателя должна быть равна или несколько больше мощности на валу насоса во всех его возможных технологических режимах работы.

Таблица 2.1 – Технические характеристики электродвигателя АИР132S4.

Типо-размер	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, В	$P_{дв.н}$, кВт	При номинальной нагрузке			s_k , %	$J_{дв}$, кг·м ²
				s_n , %	$\cos \varphi_n$	η_n , %		
АИР132S 4	1500	380	7,5	0,03	0,84	0,875	0,168	0,022

Продолжение таблицы 2.1

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{K}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{M}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{H}}}$	$k_{i\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}}$	Степень защиты
2	2,5	1	7	IP44

2.2 Расчет параметров электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{p \times n_0}{30} = \frac{p \times 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ном}}}{\omega_0} = \frac{157,08 - 154,566}{157,08} = 1,6\%.$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{двн}} = \frac{\pi}{6} \times \left(1 - \frac{s_n}{100}\right) \times \omega_0 = \frac{\pi}{6} \times \left(1 - \frac{3}{100}\right) \times 157,08 = 152,367 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_n \times 1000}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{7500}{152,367} = 49,223 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{двн}}} = \frac{123,0575}{49,223} = 2,5;$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{двн}}} = \frac{98,446}{49,223} = 2.$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1\text{H}}} = \frac{109,529}{15,647} = 7$$

2.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [12].

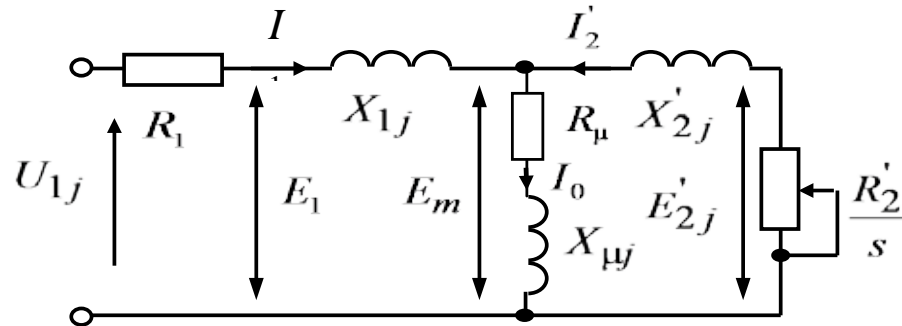


Рисунок 2.1 – Схема замещения

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \frac{\frac{\omega}{\epsilon} \times I_{1n} \times \frac{1 - s_n}{1 - p^* \times \eta_n} \frac{\omega^2}{\phi}}{1 - \frac{\frac{\omega}{\epsilon} \times \frac{1 - s_n}{1 - p^* \times \eta_n} \frac{\omega}{\phi}}}{1 - \frac{\frac{\omega}{\epsilon} \times \frac{1 - s_n}{1 - p^* \times \eta_n} \frac{\omega}{\phi}}}}{1 - \frac{\frac{\omega}{\epsilon} \times \frac{1 - s_n}{1 - p^* \times \eta_n} \frac{\omega}{\phi}}} = 6,413 \text{ A}$$

Где

$$I_{1n} = \frac{P_n \times 1000}{3 \times U_{1n} \times \cos j_n \times \eta_n} = \frac{7500}{3 \times 220 \times 0,83 \times 0,875} = 15,647 \text{ A} - \text{номинальный ток}$$

статора;

$$I_{11} = \frac{p_z \times P_n}{3 \times U_{1n} \times \cos j_z \times \eta_z} = \frac{7500 \times 0,75}{3 \times 220 \times 0,785 \times 0,875} = 12,408 \text{ A} - \text{ток фазы статора при}$$

частичной нагрузке;

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^* = 0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_n \cdot h_{p^*} = h_n$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos j_z = 0,79 + D \cos j_z = 0,785.$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \times U_{1\phi H}^2 \times (1 - s_H)}{2 \times m_k \times P_{\text{овн}} \times c_1^2 \times \frac{\alpha}{\epsilon} b + \frac{1}{s_k} \frac{\ddot{o}}{\varnothing}} = \frac{3 \times 220^2 \times (1 - 0,03)}{2 \times 2,5 \times 7500 \times 1,029^2 \times \frac{\alpha}{\epsilon} 1,55 + \frac{1}{0,168} \frac{\ddot{o}}{\varnothing}} = 0,473 \text{ Ом}.$$

где $c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times k_i \times I_{1H}} = 1 + \frac{6,413}{2 \times 7 \times 5,647} = 1,029$ - коэффициент характеризующий $\frac{X_m' + X_{1s}}{X_m}$;

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \times \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - (1 - 2 \times s_H \times b \times (m_k - 1))}}{1 - 2 \times s_H \times b \times (m_k - 1)} = 3 \times \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - (1 - 2 \times 0,03 \times 1,55 \times (2,5 - 1))}}{1 - 2 \times 0,03 \times 1,55 \times (2,5 - 1)} = 0,163.$$

где β QUOTE β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $b = 1,55$.

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = c_1 \times R_2' \times b = 1,029 \times 0,473 \times 1,55 = 0,754 \text{ Ом}.$$

Определим параметр g который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_k :

$$g = \sqrt{\frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{s_k} \frac{\ddot{o}}{\varnothing} - b^2} = \sqrt{\frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{0,196} \frac{\ddot{o}}{\varnothing} - 1,55^2} = 5,747,$$

тогда

$$X_k = g \times c_1 \times R_2' = 5,747 \times 1,029 \times 0,473 = 2,795 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1s} = 0,42 \times X_{\kappa} = 0,42 \times 2,795 = 1,174 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1s} = \frac{X_{1s}}{2 \times p \times f_{1H}} = \frac{1,174}{2 \times p \times 50} = 0,003737 \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано:

$$X'_{2s} = \frac{0,58 \times X_{\kappa}}{c_1} = \frac{0,58 \times 2,795}{1,029} = 1,575 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2s} = \frac{X'_{2s}}{2 \times p \times f_{1H}} = \frac{1,575}{2 \times p \times 50} = 0,005014 \text{ Гн}.$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \times \cos j_H - I_{1H} \times R_1)^2 + (U_{1H} \times \sqrt{1 - \cos^2 j_H} - I_{1H} \times X_{1s})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \times 0,83 - 15,647 \times 0,754)^2 + (220 \times \sqrt{1 - 0,83^2} - 15,647 \times 1,174)^2} = 200,151 \text{ В}. \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{200,151}{6,413} = 31,21 \text{ Ом}.$$

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

$$L_m = \frac{X_m}{2p \times f_{1H}} = \frac{31,21}{2p \times 50} = 0,09934 \text{ Гн}.$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{эм.н}^* = \frac{3 \times U_{1\phi н}^2 \times R_2'}{w_0 \times s_n \times \frac{e}{e} X_{кн}^2 + \frac{e}{e} R_1 + \frac{R_2' \cdot \frac{\sigma}{\sigma}}{s_n} + \frac{e}{e} \frac{R_1 \times R_2'}{s_n \times X_m} \frac{\sigma^2 \dot{u}}{\dot{u}}}, =$$

$$\frac{3 \times 220^2 \times 0,473}{157,08 \times 3 \times \frac{e}{e} 2,795^2 + \frac{e}{e} 0,754 + \frac{0,473 \cdot \frac{\sigma}{\sigma}}{3} + \frac{e}{e} \frac{0,754 \times 0,473}{3 \times 2,795} \frac{\sigma^2 \dot{u}}{\dot{u}}} = 51,927 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$M_{эм.н}^{**} = \frac{3}{2} \times z_p \times \frac{L_m}{(L_m + L_{2s})} \times Y_{2н} \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \times \text{м}$$

$$= \frac{3}{2} \times 2 \times \frac{0,09934}{(0,09934 + 0,00514)} \times 0,901 \times \sqrt{2} \times \sqrt{15,647^2 - 6,413^2} = 51,937 \text{ Н} \times \text{м}$$

где

$$Y_{2н} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 6,413 \times 0,09934 = 0,901, \text{ Вб.}$$

Должны выполняться условия:

$$M_{дв.н} < M_{эм.н}^* \times 1,1 \times M_{дв.н} = 49,223 < 51,927 \times 1,1 = 54,115;$$

$$M_{эм.н}^{**} \gg M_{эм.н}^* . 51,937 \gg 51,927$$

По результатам расчета эти условия выполняются [12].

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	X_μ , Ом	X_k , Ом	L_μ , Гн
0,754	1,174	0,0037	0,473	1,575	0,0050	31,21	2,795	0,09934

2.4 Расчёт естественных характеристик электродвигателя

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

$$M(s, f_1) = \frac{3 \times U_{1\phi H}^2 \times R'_2}{w_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times S \times X_{KH}^2 + R_1 + \frac{R'_2}{S} + \frac{R_1 \times R'_2}{S \times X_m \times \frac{f_1}{f_{1H}}}};$$

$$w(s, f) = w_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times (1 - s).$$

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

$$M_{\text{эм}}(s_H) = M_{\text{эм}} = \frac{3 \times U_{1\phi H}^2 \times R'_2}{w_0 \times s_H \times X_{KH}^2 + R_1 + \frac{R'_2}{s_H} + \frac{R_1 \times R'_2}{s_H \times X_m}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times 0,473}{157,08 \times 3 \times 2,795^2 + 0,754 + \frac{0,473}{3} + \frac{0,754 \times 0,473}{3 \times 31,21}} = 95,01 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_K = R'_2 \times \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1}{X_m}}{R_1^2 + (X_{KH})^2}} = 0,473 \times \sqrt{\frac{1 + \frac{0,754}{31,21}}{0,754^2 + (2,795)^2}} = 0,163$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{эм.к}(s_H) = M_{эм.к} = \frac{3 \times U^2}{2 \times w_0 \times R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2)} + \frac{R_1}{X} \frac{2}{m\sigma}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2}{2 \times 57,08 \times 0,473 + \sqrt{(0,473^2 + 2,795^2)} + \frac{0,754}{31,21}} = 126,634 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя.

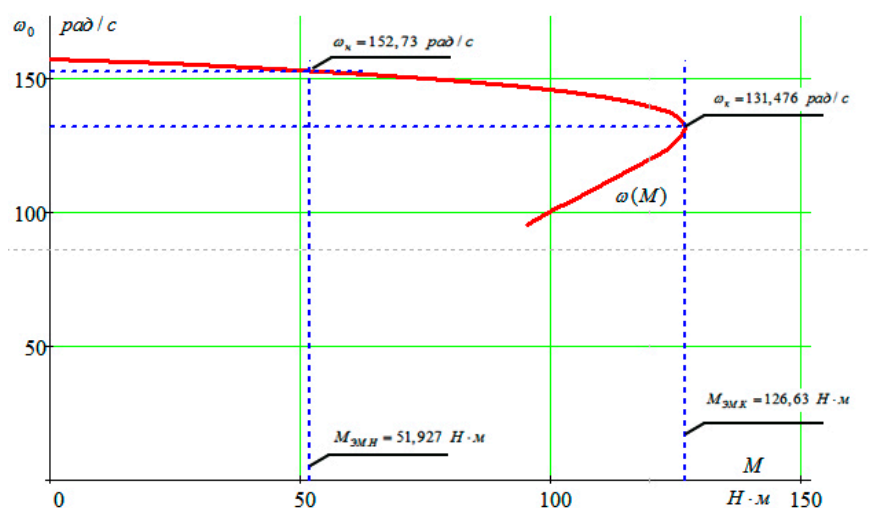


Рисунок 2.2 – Естественная механическая характеристика электродвигателя типа АИР132S4

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$DM_c = M_{эм} - M_{дв.н} = 51,927 - 49,223 = 2,704 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По полученным результатам определяем кратность пускового момента

$$m_n = \frac{M_{эмн}}{M_{эмн}} = \frac{123,0575}{51,927} = 2,3;$$

кратность максимального (критического) момента:

$$m_k = \frac{M_{эмк}}{M_{эмн}} = \frac{126,73}{51,927} = 2,4;$$

критическое скольжение:

$$s_k = \frac{\omega_0 - \omega_k}{\omega_0} = \frac{157,08 - 131,476}{157,08} = 0,163.$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя QUOTE

$I_1(S, f_1)$ $I_1(s, f_1)$ и QUOTE $I_2'(S, f_1)$ $I_2'(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(S, f_1) + 2 \times I_0(f_1) \times I_2'(S, f_1) \times \sin \varphi_2(S, f_1)};$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + X_k \times \frac{f_1}{f_{1H}} + \frac{R_1 \times R_2}{s \times X_\mu \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}};$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \times X_k}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + X_k \times \frac{f_1}{f_{1H}}}};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times (1 - s).$$

По результатам расчета на рисунке 2.3 построены естественные электромеханические характеристики QUOTE $\omega=f(I_1)$, $\omega=f(I_2)$ $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$ при QUOTE $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

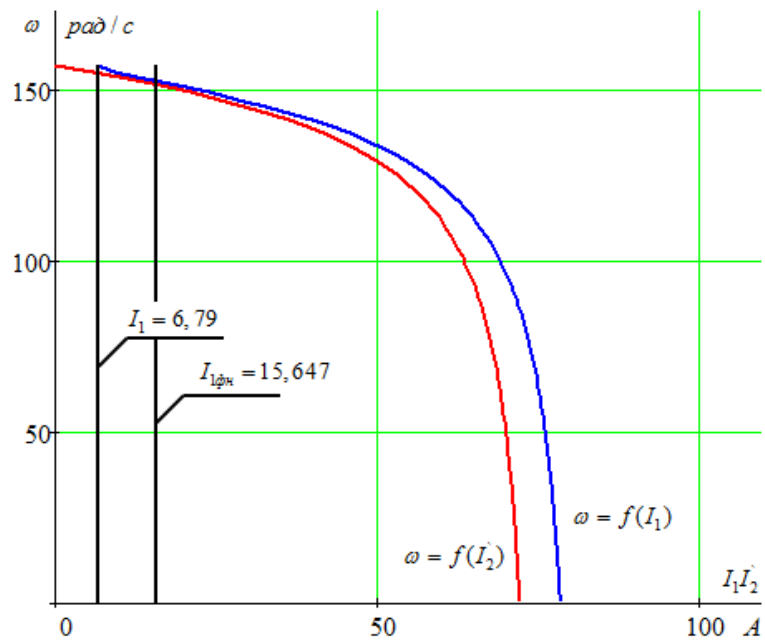


Рисунок 2.3 – Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя типа АИР132S4

По результатам расчета электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 6,792 \text{ A}$, номинального тока.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока:

$$k_i = \frac{I_n}{I_0} = \frac{109,529}{15,647} = 7.$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристики двигателя оказались близки к справочным параметрам двигателя.

2.5 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

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

$$M(s) = \frac{3 \times U_{1j}^2 \times R_2'}{\omega_{0j} \times s \times \hat{e} X_{кн}^2 \times f_{1*}^2 + \frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m \times f_{1*}}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times 0,473}{\omega_{0j} \times 3 \times \hat{e} 2,795^2 \times f_{1*}^2 + \frac{0,754}{s} + \frac{0,754 \times 0,473}{3 \times 31,21 \times f_{1*}}}$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

ω_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1н}}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 2.4

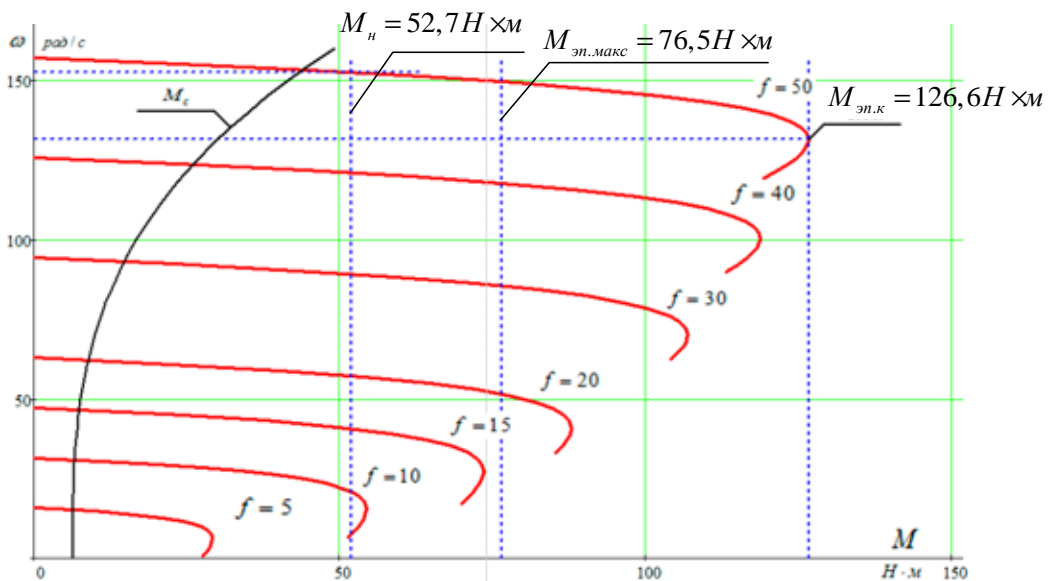


Рисунок 2.4 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

Выражение для расчета электромеханических характеристик, определяющих зависимость приведенного тока ротора от скольжения s при законе управления $U/f = \text{const}$,

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\frac{\omega}{\epsilon} R_1 + \frac{R_2'}{s} \frac{\omega^2}{\delta} + X_{\text{кн}}^2 \times f_{1*}^2 + \frac{\omega}{\epsilon} \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m \times f_{1*}} \frac{\omega^2}{\delta}}} =$$

$$= \frac{220 \times f_{1*}}{\pm \sqrt{(0,754 + \frac{0,473}{3})^2 + 2,795^2 \times f_{1*}^2 + \frac{\omega}{\epsilon} \frac{0,754 \times 0,473}{3 \times 31,21 \times f_{1*}} \frac{\omega^2}{\delta}}}$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик $I_1 = f(s)$, отражающих зависимость тока статора I_1 от скольжения:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \times I_0 \times I_2'(s) \times \sin f_2(s)} =$$

$$= \sqrt{6,79^2 + I_2'^2(s) + 2 \times 6,79 \times I_2' \times \sin f_2(s)}$$

где

$$\sin f_2 = \frac{x_{\text{кн}} \times f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 \times f_{1*}^2}} = \frac{2,795 \times f_{1*}}{\sqrt{(0,754 + \frac{0,474}{s})^2 + 2,795^2 \times f_{1*}^2}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{\text{лн}} + x_{\text{мн}})^2 \times f_{1*}^2}}$$

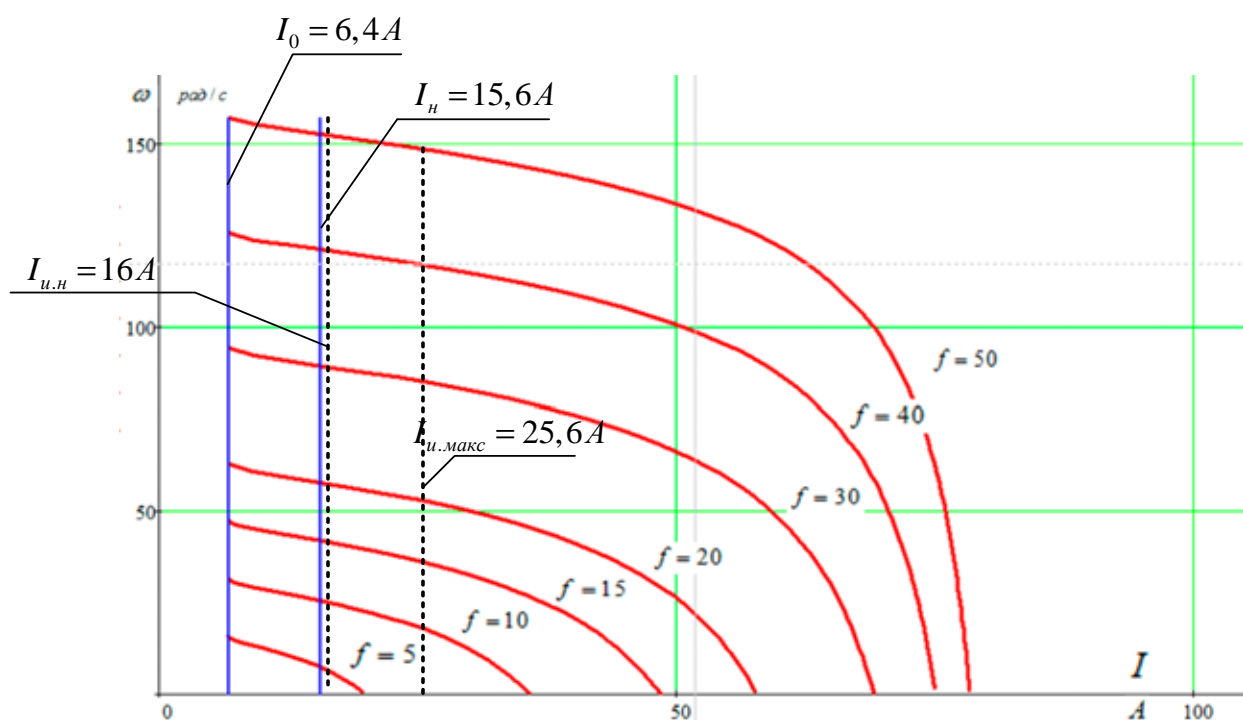


Рисунок 2.5– Электромеханические характеристики $I_2'(s)$ разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

2.6 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии

Преимущества использования частотных преобразователей. Плавная регулировка скорости вращения электродвигателя позволяет в большинстве случаев отказаться от использования редукторов, дросселей и другой регулирующей аппаратуры. Это значительно упрощает механическую систему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные расходы.

При использовании частотного преобразователя пуск двигателя происходит плавно, без пусковых токов и ударов, что уменьшает нагрузку на двигатель и механику, увеличивает срок их жизни. Применение частотных преобразователей с обратной связью обеспечивает точное поддержание скорости вращения при переменной нагрузке, что во многих задачах позволяет значительно улучшить качество технологического процесса.

Для питающей сети преобразователь является чисто активной нагрузкой и потребляет ровно столько энергии, сколько требуется для выполнения механической работы (с учетом КПД преобразователя и двигателя).

2.7 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбирается из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}} ; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}} .$$

Для двигателя мощностью $P_{\text{дв}} = 7,5 \text{ кВт}$ и номинальным током $I_{\text{ном}} = 15,647 \text{ А}$ выбираем преобразователь частоты серии : VLT5011 фирмы Danfoss, имеющий следующие параметры:

Таблица 2.3 – Паспортные данные преобразователя частоты

Условное обозначение преобразователя частоты	Полная мощность, кВА	Расчетная мощность двигателя, кВт	Максимальный ток в установленном режиме, А		Номинальный ток инверторной ячейки, А	Количество инверторных ячеек	Максимальный ток в переходном режиме 60 с., А
			Перегрузка 110%	Перегрузка 160%			
VLT5011	12,2	7,5	46	32	16	15	50,6

Общие технические данные преобразователя частоты VLT5011:

- коэффициент мощности 0,8;
- КПД не менее 0,95;
- выходная частота 1÷100 Гц;
- частота ШИМ 0,7÷20 кГц.

Способ управления – векторный.



Рисунок 2.6 – Внешний вид преобразователя частоты Danfoss VLT 5011

3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

3.1 Разработка имитационных модели электропривода со скалярным управлением

На рисунок 3.1 приведена функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости. Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений u_{1a} , u_{1b} и u_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;
- формирователь $\frac{U}{f}$ - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок компенсации скольжения;
- блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока U_d преобразователя.

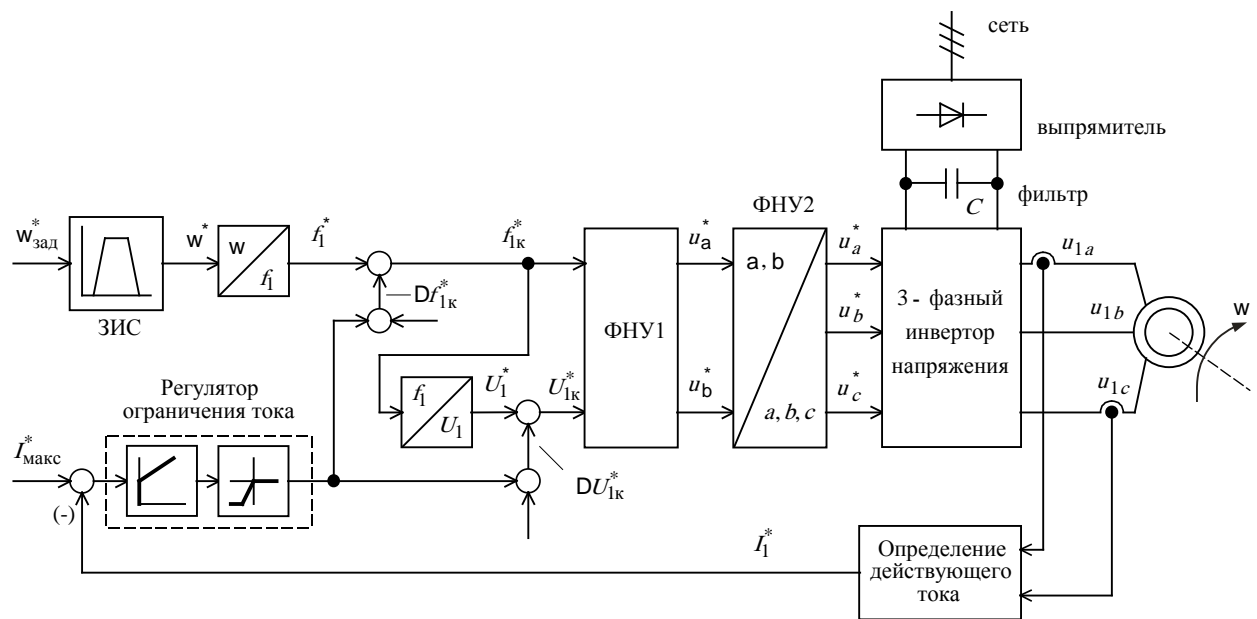


Рисунок 3.1 – Базовая функциональная схема асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей[14]:

- Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении приведена в приложение 1 .
- Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя рисунок 3.2
- Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой рисунок 3.3;
- Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат рисунок 3.4;
- имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера рисунок 3.5;
- имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.6;
- модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя рисунок 3.7;

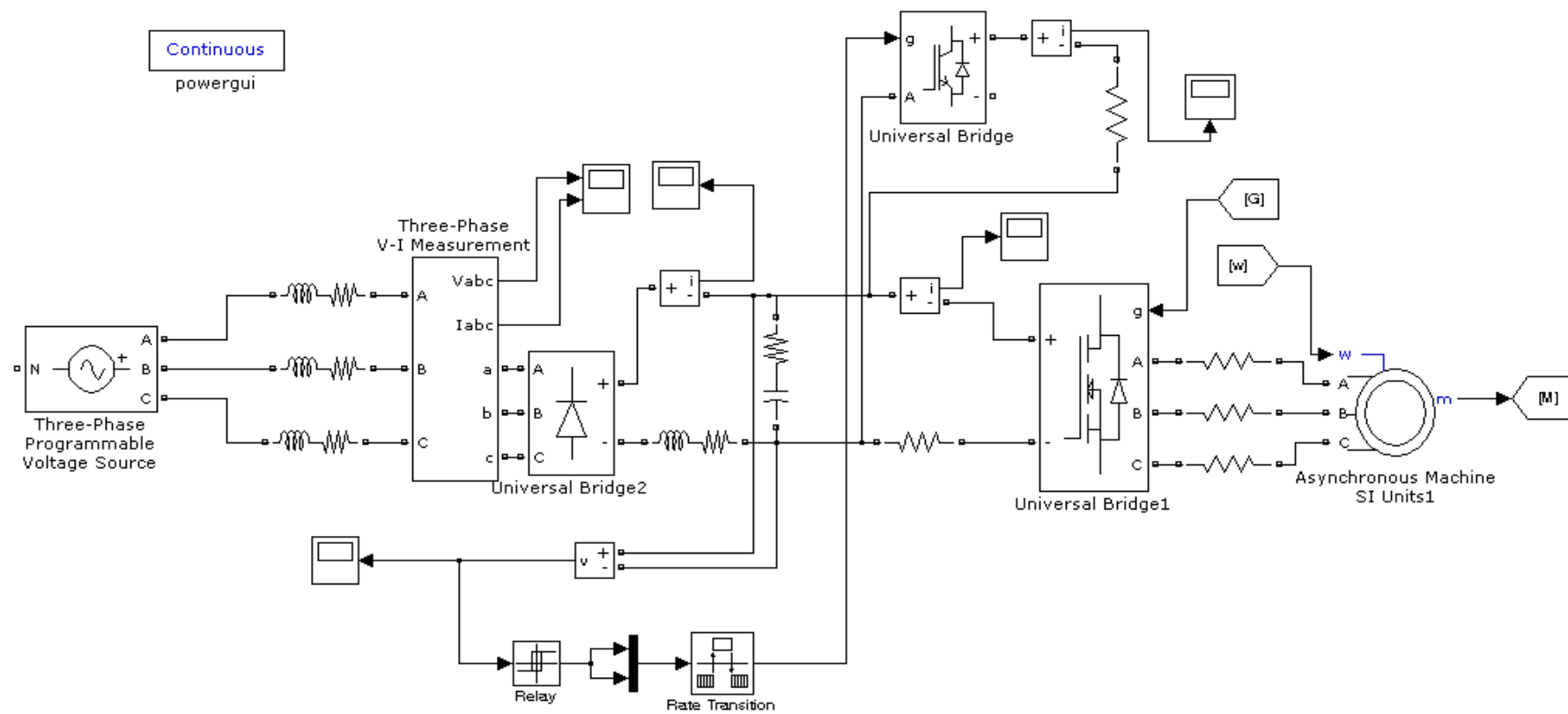


Рисунок 3.2 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя

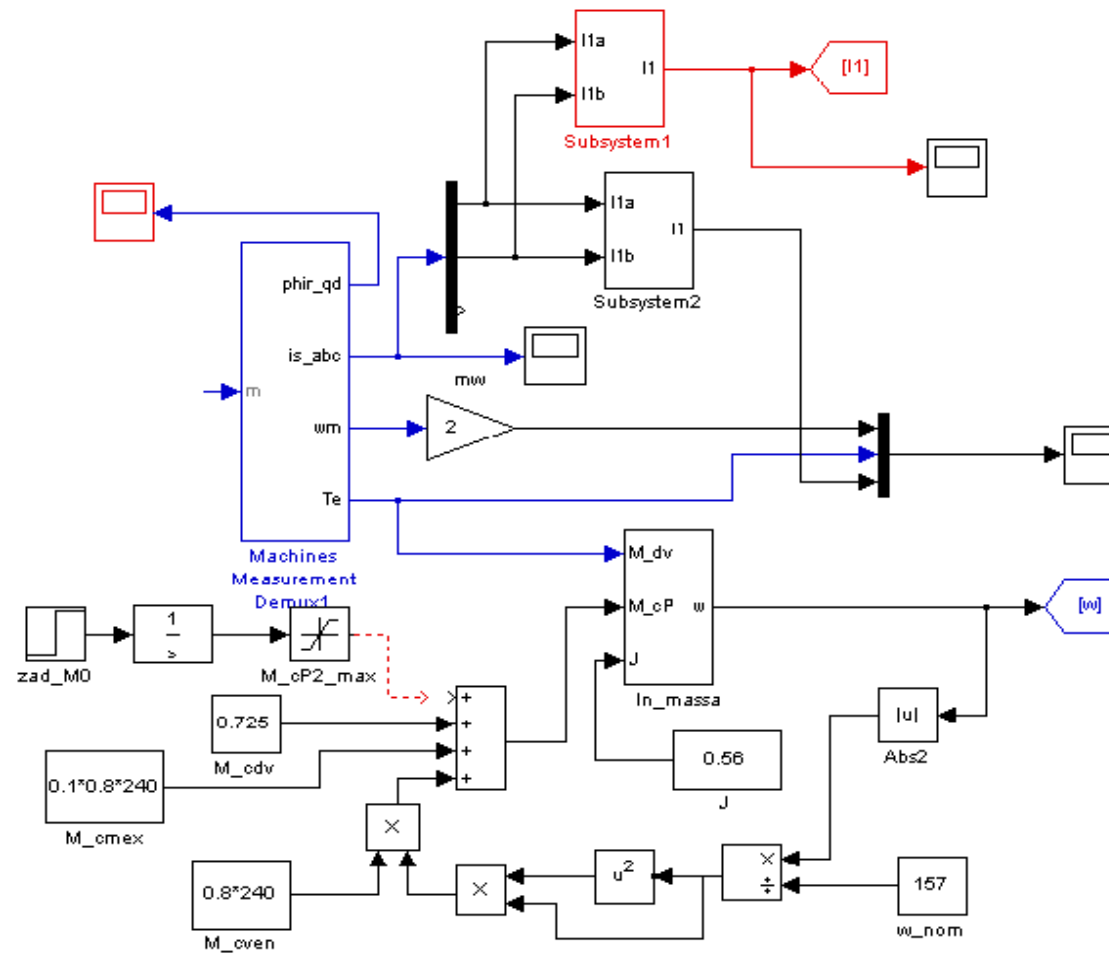


Рисунок 3.3 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой

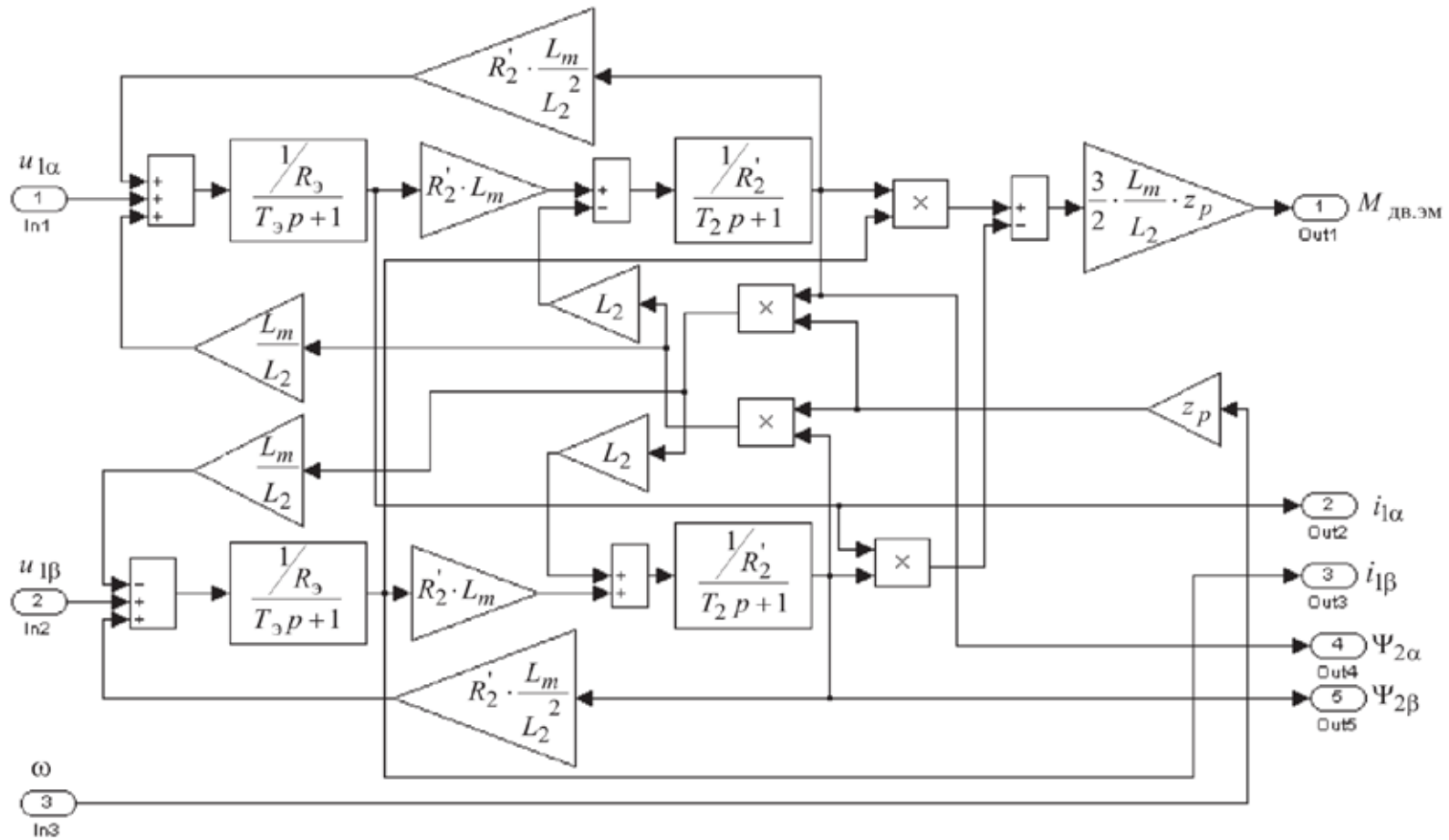


Рисунок 3.4 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунок 3.5

На схеме рисунка 3.5 приняты следующие дополнительные обозначения:

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м ;

$M_{ср}$ – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, Н·м ;

$J_э$ – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг·м² ;

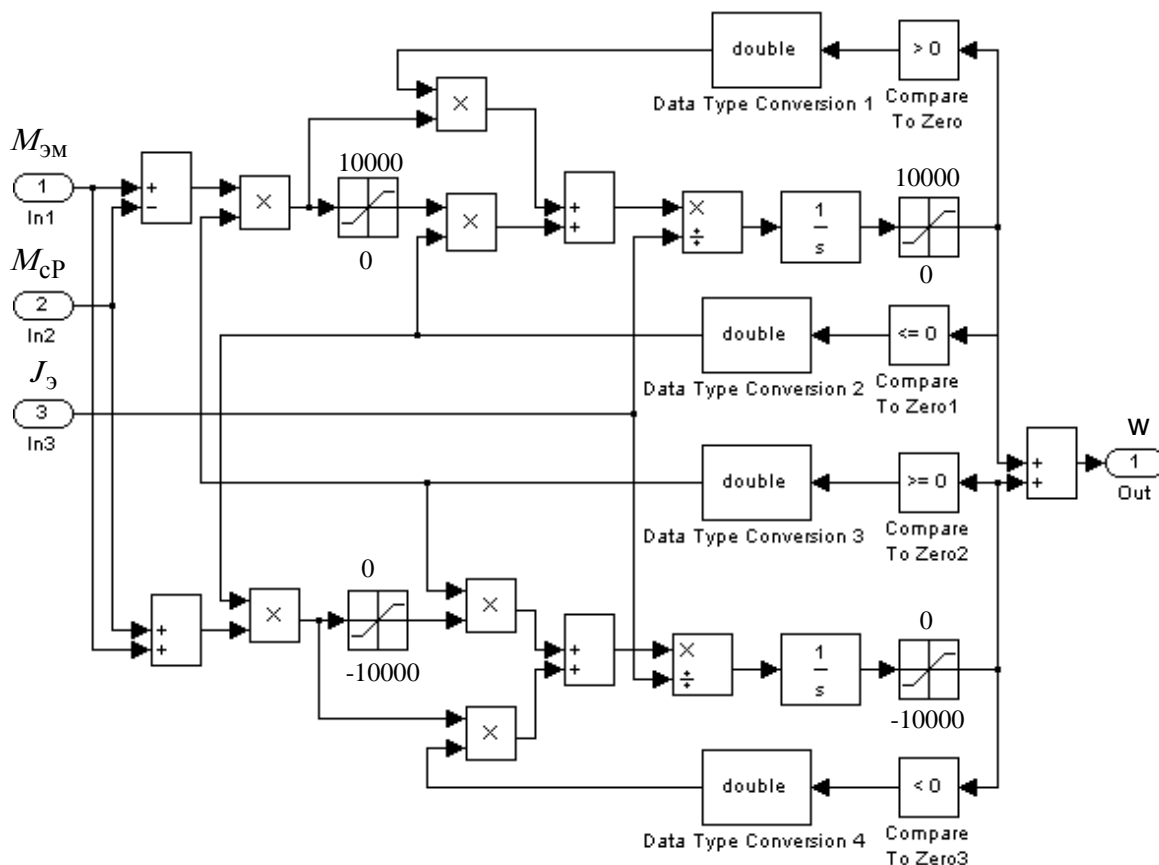


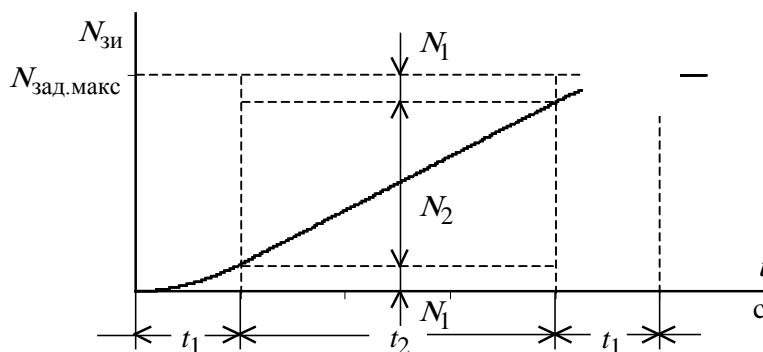
Рисунок 3.5 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой

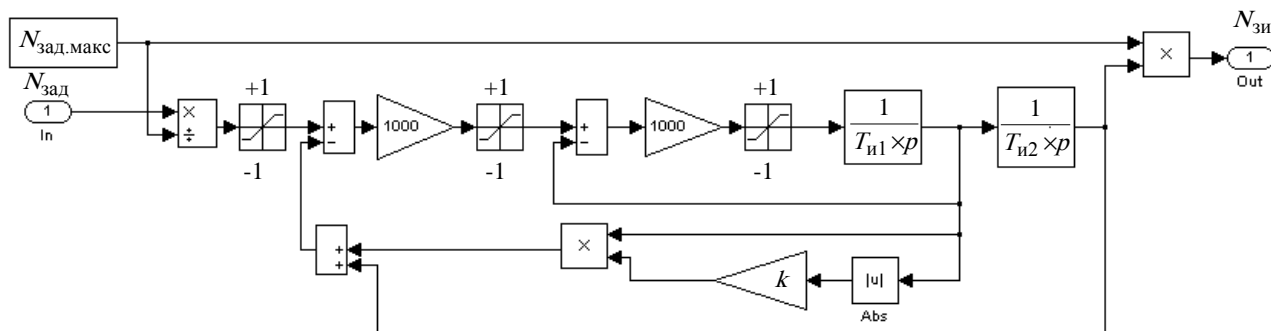
Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.5. Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

$$T_{и1} = t_1 \text{ ,с; } T_{и2} = t_1 + t_2 \text{ ,с;}$$

$$k = 0.5 \times \frac{t_1}{t_1 + t_2} .$$



а



б

Рисунок. 3.6 – Задатчик скорости с S – образной характеристикой:
а – временная характеристика; б – имитационная модель

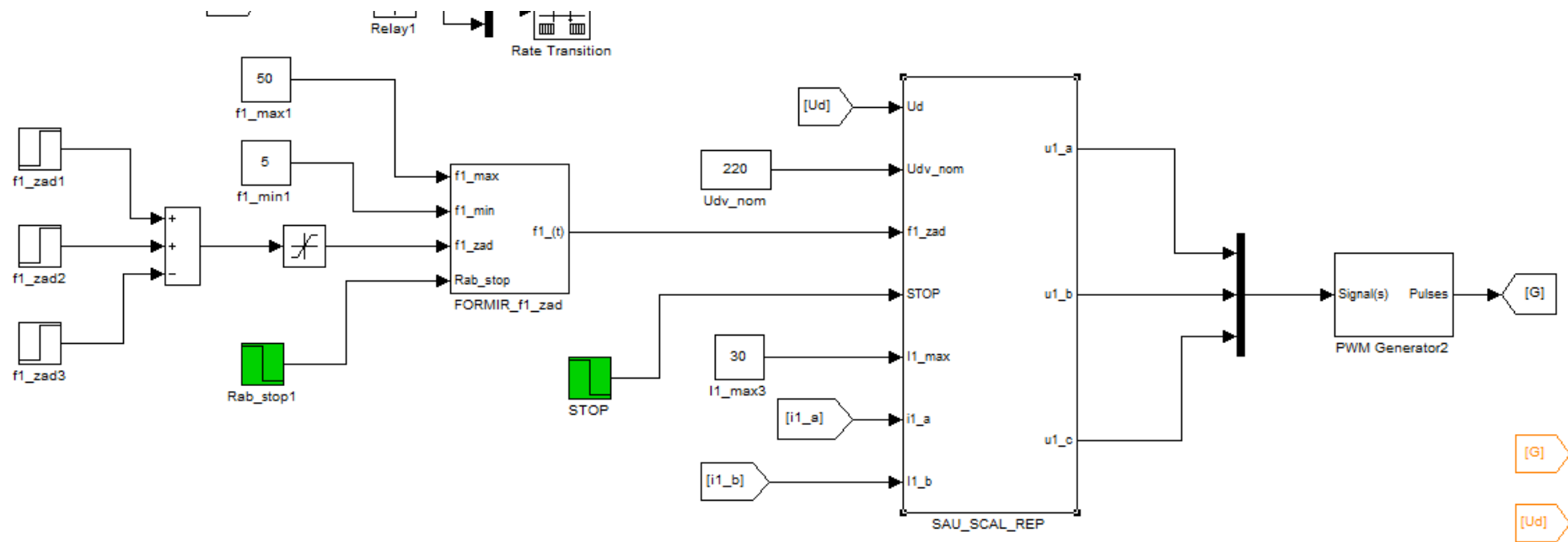


Рисунок 3.7 – Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя

3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярном управлением

Насосная установка предназначена для непрерывного поддержания давления в системе отопления, поэтому электропривод должен работать в продолжительном режиме и быть неререверсивным. Требования регулирования производительности насоса, согласования скоростей и равномерного распределения нагрузок в многодвигательном электроприводе, обуславливают необходимость регулирования скорости электропривода, диапазон которого, как правило, не превышает значения 2:1.

Наиболее жесткие и противоречивые требования к электроприводу предъявляются в режиме пуска и останова насосной установки. С одной стороны, необходим плавный пуск и ограничение колебаний скорости. С другой стороны, требуется минимальное время разгона электропривода.

В связи с этим требуется ограничение рывка (второй производной скорости), обеспечивающее мягкое сцепление вала приводного двигателя с валом насоса через соединительную муфту. Кроме того, необходимо ограничение максимального ускорения (второй производной скорости) электропривода в легких переходных процессах при пуске с небольшой нагрузкой и ограничение максимального момента электропривода в тяжелых переходных процессах при полной загрузке.

Программа исследования:

Работа электропривода насоса исследуется в двух режимах:

– плавный пуск насоса до максимальной скорости – снижение скорости на 50% – выход на максимальную скорость – торможение и останов насоса.

- Плавный пуск – разгон до максимальной скорости – стопорении насоса - останов.

*Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода
насоса при скалярном управлении.*

В данной работе рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением с коррекцией вольт-частотной характеристики;

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода конвейера при скалярном управлении.

REP_AD_NasosEEM_Scal.mdl – модель асинхронного электропривода насоса с частотным скалярным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов i_{1a} , i_{1b} , коррекцией вольт-частотной характеристики $\frac{U_1}{f_1} = const$.

Схемы набора имитационной модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении приведены в приложении 1, рисунок 1.

3.3 Параметры элементов силового канала электропривода насоса

Справочные технические параметры асинхронного двигателя

Справочные технические параметры электродвигателя насоса приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические параметры электродвигателя.

Типо-размер	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, В	$P_{дв.н}$, кВт	При номинальной нагрузке			s_k , %	$J_{дв}$, кг·м ²
				s_n , %	$\cos \varphi_n$	η_n , %		
АИР132S4	1500	380	7,5	0,03	0,84	0,875	0,168	0,022

Продолжение таблицы 3.1

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{K}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{M}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{H}}}$	$k_{i\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}}$	Степень защиты
2	2,5	1	7	IP54

Параметры двигателя, принятые при расчете

$$h_{0,85} = 0,875, \cos f_{0,84} = 0,785; b = 1,55.$$

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя

$$R_1 = 0,754 \text{ Ом}, L_{1\text{S}} = 0,003737 \text{ Гн},$$

$$R_2' = 0,473 \text{ Ом}, L_{2\text{S}}' = 0,005014 \text{ Гн},$$

$$L_m = 0,09934 \text{ Гн},$$

$$z_p = 3.$$

$$\omega_{\text{H}} = 152,367 \text{ рад/с}, I_{\text{H}} = 15,647 \text{ А}, M_{\text{H}} = 49,223 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Параметры преобразователя частоты серии Danfoss

$$I_{\text{и.н}} = 16 \text{ А или } I_{\text{и.длит.доп}} = \dots \text{ А при } f_{\text{ШИМ}} \leq 5000 \text{ Гц}.$$

$$I_{\text{и.макс}} = 25,6 (60 \text{ с}), \dots (2 \text{ с}) \text{ А}.$$

$$f_{\text{ШИМ}} = 5000 \text{ Гц (выбрано на основании зависимости } I_{\text{и.длит.доп}}(f_{\text{ШИМ}}) \text{ [3, рис. 5.13])}.$$

Параметры элементов силового канала электропривода

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с таблицей 3.2 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы

$$I_{\text{рфн}} = I_{1\text{фн}} \times \frac{\sqrt{3} \times U_{1\text{фн}}}{U_{\text{с}}} = 14,2 \text{ А}.$$

Таблица 3.2 – расчетные параметры сетевого трансформатора

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

Принимаем $R_p = 0,2 \text{ Ом}$, $L_p = 0,3 \times 10^{-3} \text{ Гн}$.

Принимаем $C = 100 \times 7,5 \times 10^{-6} \text{ Ф}$ из условия

$C \gg (100, 300) \times P_H$, мкФ, где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт.

Параметры механической системы электропривода насоса

$$DM_{сдв} = 2,704 \text{ Н} \times \text{м}.$$

$$J_{\rho} = 2 \times J_{мех} = 0,044 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Диаграммы отработки нормального цикла насоса со скалярным управлением приведены на рисунках 3.8 – 3.11.

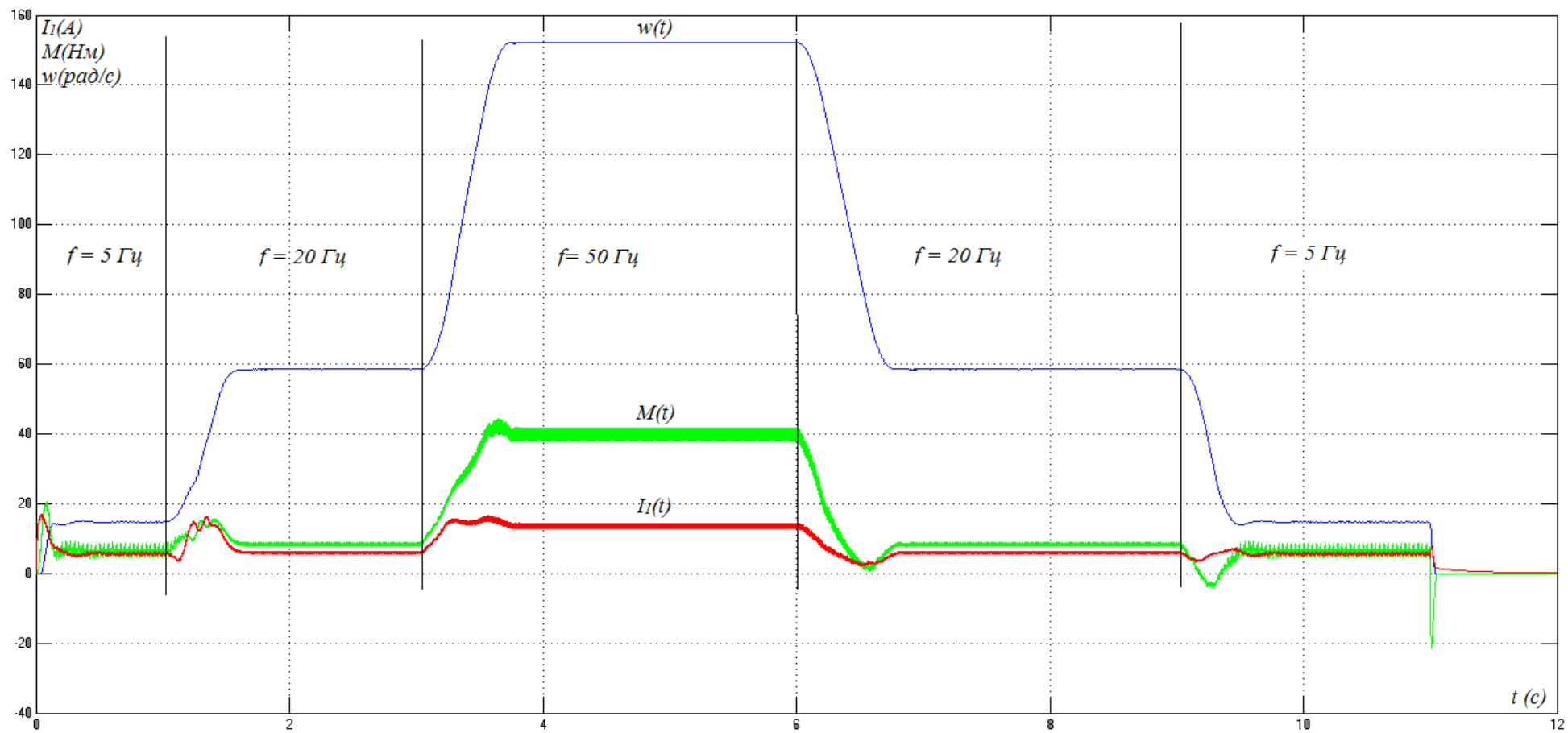


Рисунок 3.8 – Диаграммы $I_1(t)$, $M(t)$, $w(t)$ при отработке электроприводом насоса заданного цикла работы

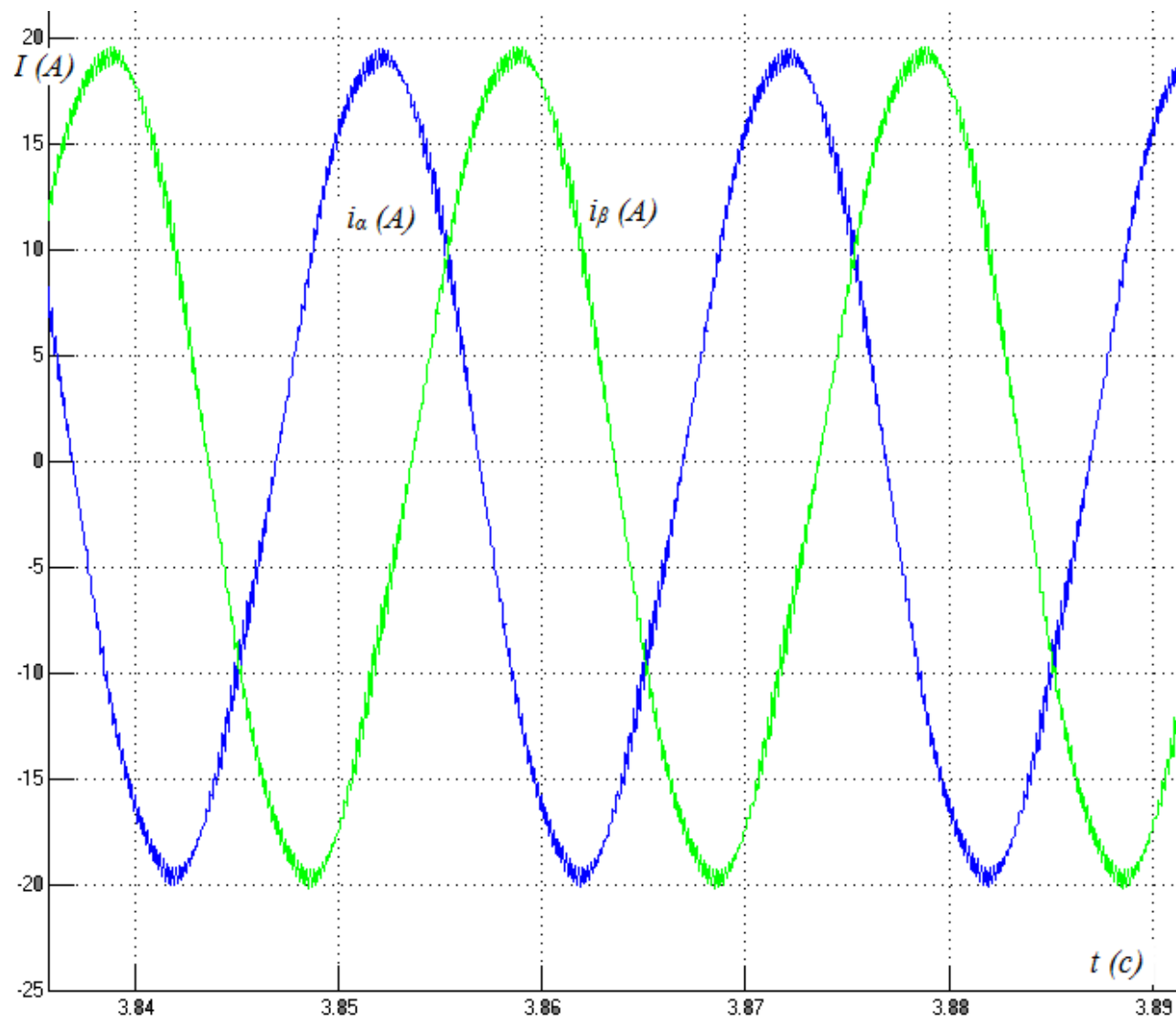


Рисунок 3.9 – Диаграммы токов статора i_α и i_β двухфазного двигателя (диаграммы токов на интервале времени от 3,8 до 4)

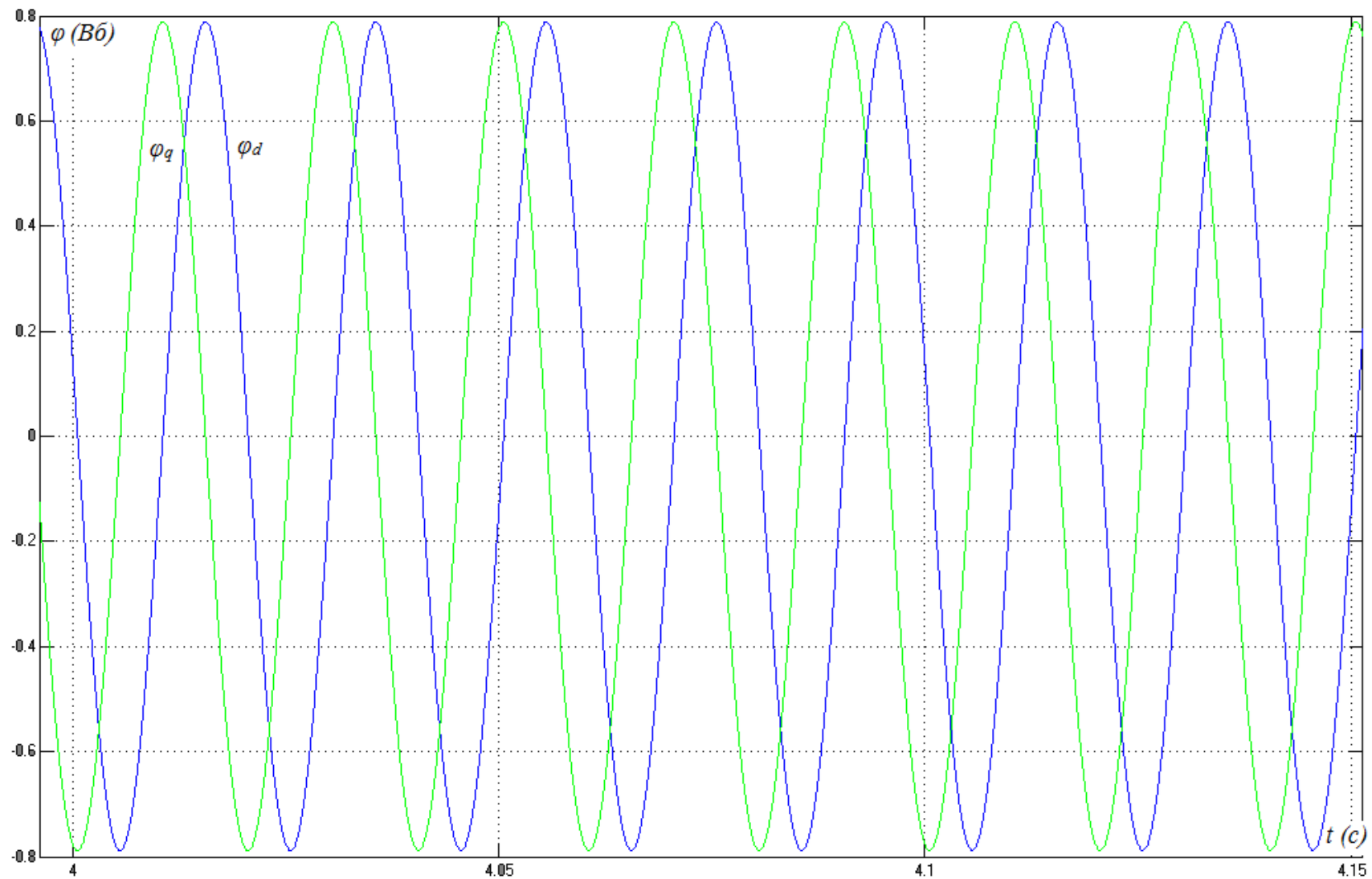


Рисунок 3.10 – Диаграммы потоков ротора φ_q и φ_d двухфазного двигателя (диаграммы токов на интервале времени от 4 до 4,15)

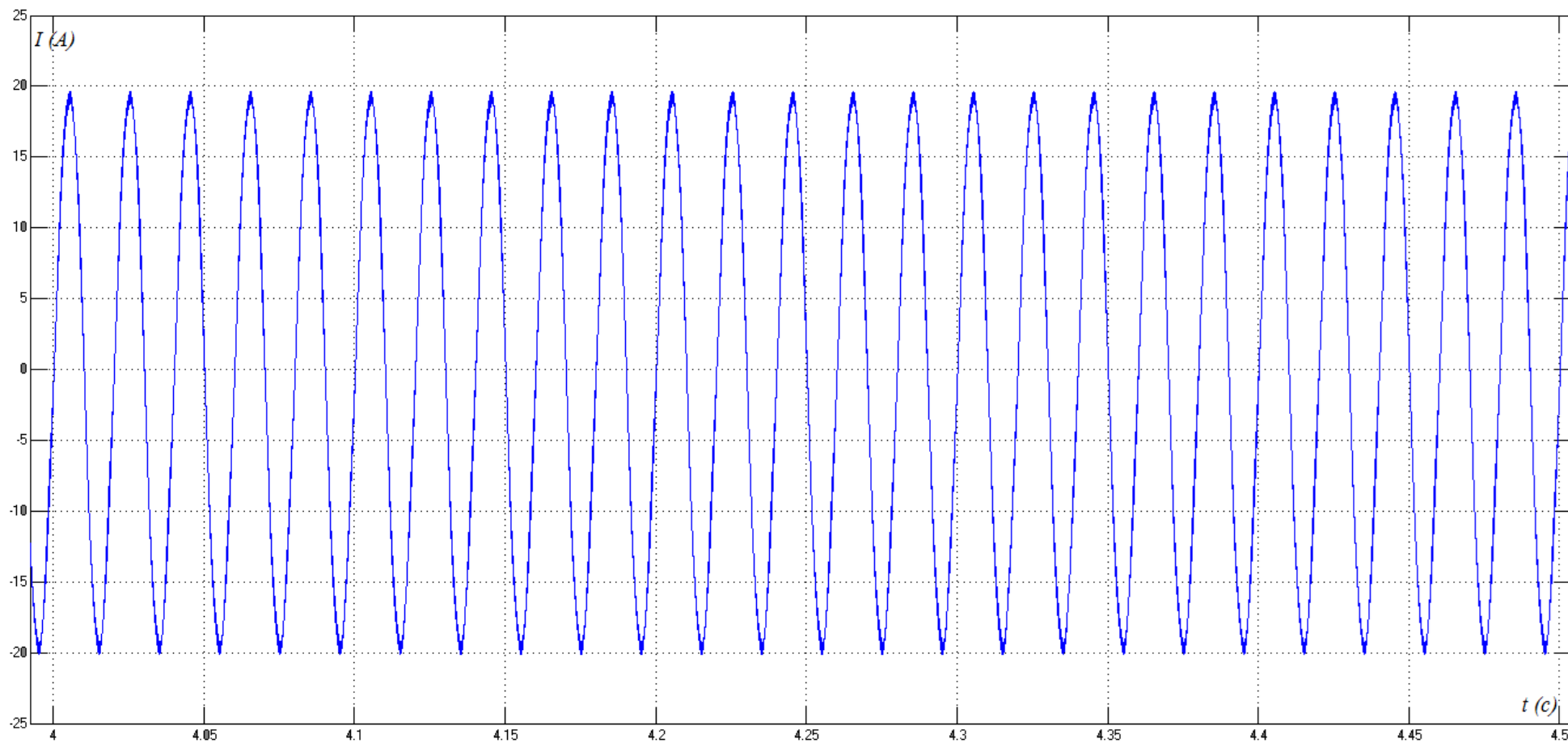


Рисунок 3.11 – Диаграмма фазного тока статора (диаграмма тока на интервале времени от 4 до 4,5)

Результаты исследования:

Если электроприводу подать задание на отработку определенного цикла технологического процесса, то это значит, что в пуско - тормозных режимах электропривода будет ограничивать значения динамического момента и тока двигателя, а при *S*- образной выходной характеристики задатчика – дополнительно и скорость их наименьшая. Однако, фактическое значение момента на валу двигателя и тока двигателя будут зависеть еще и от величины статического момента и характера нагрузки, а также от конкретного вида пуска- тормозного режима.

В рассмотренном электроприводе механизмов, для которых кратковременные большие перегрузки и стопорения двигателя являются рабочими режимами необходимо не только ограничивать величину тока и момента, но и поддерживать допустимое значения момента на валу двигателя в течении всего времени перегрузки. Большие кратковременные перегрузки вызывают провал скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случаи уже не управляется от задатчика скорости и могут сопровождаться большими бросками тока и момента двигателя, если их величину не ограничивать.

Вывод к разделу

Скалярное управление одно из простейших вариантов реализации частотного – регулируемого асинхронного электропривода, имеющие не высокие качественные показатели: небольшой диапазон регулирования скорости, большая погрешности скорости и малое быстродействие, что обусловлено необходимостью применения задатчика интенсивности скорости.

Приведенные простейшие электроприводы со скалярным управлением во многих случаях полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электроприводу производственного механизма. Они широко применяются для решения задач регулирования скорости механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании механизмов, а также в качестве замены нерегулируемого электропривода переменного тока и регулируемого электропривода постоянного тока с обратными связями по напряжению и ЭДС двигателя. Сильные пульсации в момент пуска и момент торможения предотвратить практически не возможно даже благодаря скалярному управлению.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б1	Коневу Андрею Сергеевичу

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

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

<i>1. Стоимость затрат технического проекта (ТП)</i>	<i>Затраты на Материальные затраты определяются согласно прейскурантам. Заработная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.</i>
<i>2. Продолжительность выполнения ТП</i>	<i>По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 99 рабочих день</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности</i>	<i>Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.</i>
<i>2. Планирование графика работ по реализации ТП</i>	<i>При составлении графика работ по реализации ТП используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.</i>
<i>3. Составление сметы ТП</i>	<i>При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям:</i> - затраты на оборудование; - полная заработная плата исполнителей; - отчисления во внебюджетные страховые фонды; - накладные расходы .

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей);

Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	30.04.2019 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Конев Андрей Сергеевич		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразности проектирования и создания технологического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе производится расчет суммы затрат на проектирование асинхронного электропривода подкачивающего насоса 90K20 и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

4.1 SWOT-анализ подкачивающего насоса 90K20

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Он представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. [17.]

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

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

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии С2. Экологичность технологии С3. Повышение безопасности производства С4. Большая экономия электрической энергии С5. Снижение затрат на содержание и обслуживание	Слабые стороны проекта: Сл1. Высокая цена на оборудование и комплектующие Сл2. Отсутствие квалифицированного персонала Сл3. Большой срок поставки оборудования и комплектующих
Возможности: В1. Автоматизация технологического процесса В2. Энерго и ресурсосбережение В3. Сокращение рабочих площадей В4. Повышение износостойкости элементов и деталей электропривода	В1 С1С2С3С4С5 В2 С1С3С4С5 В3 С2С3С5 В4 С1С2С4С5	В1 Сл1Сл2Сл3 В2 Сл1Сл3 В3 Сл2 В4 Сл1Сл3
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологию производства У2. Развитая конкуренция технологии производства У3. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Риск несвоевременной поставки оборудования	У1 С5 У2 С5	У1 Сл3 У2 Сл3 У3 Сл2 У4 Сл3

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» - сильное соответствие;

«-» - слабое соответствие.

Анализ интерактивных таблиц приведен в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2. Интерактивная матрица возможностей.

Сильные стороны проекта					
Возможности	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	-	+	+	+
B3	-	+	+	-	+
B4	+	+	-	+	+
Слабые стороны проекта					
Возможности	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
B1	+	+	+		
B2	+	-	+		
B3	-	+	-		
B4	+	-	+		

Таблица 4.3. Интерактивная матрица угроз

Сильные стороны проекта					
Угрозы	С1	С2	С3	С4	С5
У1	-	-	-	-	+
У2	-	-	-	-	+
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Угрозы	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
У1	-	-	+		
У2	-	-	+		
У3	-	+	-		
У4	-	-	+		

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

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

4.2 Структура работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- Определение участников каждой работы;
- Установление продолжительности работ;

Построение графика проведения проектирования системы

Таблица 4.4. Перечень этапов работ и распределение исполнителей.

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

4.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула. [18]

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

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

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

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

Результаты продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ					
		Минимально возможная трудоемкость		Максимально возможная трудоемкость		Ожидаемая трудоемкость	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	8	-	10	-	9
3	Расчет и выбор двигателя	-	24	-	28	-	27
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	1	25	1	32	1	28
5	Расчет силовой части преобразователя частоты	1	20	1	24	1	22
6	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1	7	1	5
7	Составление пояснительной записки	-	7	-	14	-	10
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	4	2	6	2	5

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 108 дней. Из них:

106 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

7 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

Таблица 5.6– Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	$T_{р\dot{и}}$ раб. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июн ь
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	-											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	9	—											
3	Расчет и выбор двигателя	Дипломник	27		—	—	—								
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	Руководитель	1												
		Дипломник	28				—	—	—						
5	Расчет силовой части преобразователя частоты	Руководитель	1										-		
		Дипломник	22							—	—	—			
6	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1											-	
		Дипломник	5											—	
7	Составление пояснительной записки	Дипломник	10										—	—	
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель	1												-
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	2												
		Дипломник	5												—

4.3 Составление сметы технического проекта

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

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

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

4.3.1. Расчет материальных затрат

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:[17]

$$Z_M = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

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

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

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

Привлечение сторонней организации „Pechat 24” для типографических работ.

Таблица 4.7. – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Упаковка бумаги	1	320	320
Ручка	2	60	120
Папка	1	60	60
Степлер	1	130	130
Калькулятор	1	570	570
Итого			1200

4.3.2 Полная заработная плата исполнителей

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

Полная заработная плата рассчитывается по формуле: [17]

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

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

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле: [17]

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Тр$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле: [17]

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

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

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Исполнители	Оклад, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33 664	43 763	1 683	7	11781
Дипломник	12 300	15 990	615	106	65190

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

Таблица 4.9 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб	Дополнительная заработная плата руб	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	11781	1767	13600
Дипломник	0,12	65190	7823	73000
Итого		76971	9590	86600

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:[17]

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: [17]

$$З_{внеб} = З_{осн} + З_{доп}$$

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

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

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составят:

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

4.3.4. Накладные расходы

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общих затрат.

4.4. Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Смета затрат технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,2	0,9
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	86,6	64,0
3. Отчисления во внебюджетные фонды	26,2	19,1
4. Накладные расходы	22,0	16,0
5. Итого	137,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 99 раб. дней для инженера и 6 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 137000 руб, из которых более половины (64,%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

4.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности: [17]

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

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

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

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как:

- повышение производительности труда пользователя осуществляется путем автоматизации технологического процесса;
- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) –

возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;

- энергоэкономичность – применение в подъемных механизмов частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать плавный подъем груза;

- надежность – отсутствие ударов при переключении на другие скорости подъема или спуска не изнашивается механизм;

- уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума подъемного механизма;

- безопасность – нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой подъемного механизма осуществляется дистанционно.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики

приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,15	4
2. Удобство эксплуатации	0,10	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,20	5
5. Надежность	0,20	5
6. Материалоёмкость	0,20	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p-ucn1} = 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 = 4,75$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,75, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

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

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

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

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

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,75 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
35Г4Б1	Конев Андрей Сергеевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования.	Область исследования является электрооборудование и электропривод подкачивающей станции многоэтажного дома
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке электропривода подкачивающей станции многоэтажного дома и эксплуатации оборудования: <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума на рабочем месте; - неудовлетворительное освещение - неудовлетворительный микроклимат - электротравматизм - механические травмы
3. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на литосферу; - решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. - Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Задание выдал консультант:

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
35Г4Б1	Конев Андрей Сергеевич		

5. Социальная ответственность

Введение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан электропривод подкачивающего насоса 90К20, служащего для теплоснабжения жилого дома. Целью данного раздела является анализ и оценка вредных, и опасных факторов труда, которые могут оказать воздействие на персонал (Электромонтер по ремонту и обслуживанию электроустановок), занимающийся обслуживанием подкачивающей насосной станции, где будет установлен данный электропривод. Проведена разработка мер защиты от этих факторов, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Так же в данном разделе, будут рассмотрены вопросы касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека следующих опасных и вредных производственных факторов. Все производственные факторы классифицируются в соответствии с [18].

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник подкачивающей станции имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за

исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

5.2 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных факторов

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека опасных производственных факторов:

- Поражение электрическим током;
- Наличие вращающихся частей.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, вращающиеся части электродвигателей и насосов должны быть закрыты защитными кожухами. При работе насосной возможно воздействие на человека (оператора) следующих вредных [18] факторов:

- Повышенные уровни шума
- Повышенная вибрация
- Недостаток естественного света

Повышенный уровень шума

Насосные установки являются источниками шума. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровней звука на рабочих местах приведены в таблице 6.1. Согласно [22]

Таблица 6.1. – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот.

Рабочее место	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								Уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места	95	87	72	78	75	73	71	69	80

Для обеспечения допустимого уровня шума применяются следующие меры безопасности:

- § Разработкой шумобезопасной техники;
- § применением средств и методов коллективной защиты в соответствии с [23];
- § применением средств индивидуальной защиты согласно [23].

Вывод: Условия труда по шумовому фактору соответствует допустимым значениям СОУТ [13]

Неудовлетворительное освещение

Освещенность помещений насосной станции должна соответствовать виду производимых работ: в помещении с пультом управления - зрительной работе средней точности, а в прочих помещениях - малой точности.

Нормативы освещенности на рабочих местах согласно [24] приведены в таблице 6.2

Таблица 6.2 – Нормативы освещенности на рабочих местах.

Характеристика зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0.5.1.0	IVв	Средний	средний	400	4	2.4
Малой точности	1.0.5.0	Vв	Средний	средний	150	3	1.8

Вывод: Условия освещения соответствуют допустимым СОУТ (13)

Микроклимат рабочей зоны

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений указаны в таблице 6.3 [25]

Таблица 6.3 – Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат (ккал/ч)	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	2а (151-200)	20-22	18-27	60-40	15-75	0,2	0,4
Холодный	2а (151-200)	19-21	17-23	60-40	15-75	0,2	0,3

Вывод: Условия микроклимата соответствуют допустимым СОУТ (13)

Электробезопасность

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и

плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

Вывод: Условия производственной безопасности соответствуют требованиям СОУТ (13)

Электробезопасность

Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы. Уровень напряжения для питания 0,4 кВ. Подкачивающая станция относится ко 2 – ой категории опасности.

Вывод: Условия электробезопасности соответствуют нормам СОУТ (13)

5.3 Экологическая безопасность

При эксплуатации подкачивающей станции установлены основные виды воздействий проектируемого объекта: физическое наличие объекта (сооружение и эксплуатация объекта) влияет на гидрологию, климат, социально-экономические условия жизни, природопользование местного населения;

Химические вещества, пыль, твердые бытовые отходы загрязняют компоненты окружающей среды (воздух, воду, водные биоресурсы, почвы, растительность), воздействуют на биопродуктивность водоемов и здоровье населения;

шум, вибрация, электромагнитное излучение воздействуют на компоненты окружающей среды;

динамическое воздействие движущихся машин и механизмов на людей, животных, растительность, почву.

Мероприятиями по снижению интенсивности загрязнения атмосферного воздуха, создание препятствий на пути распространения и их очисткой разными методами:

Физико-химическими – для сварочных работ применение устройств для сбора и очистки газов (местных отсосов).

Биологическими – сохранение и создание полос озеленения вокруг объекта.

Воздействие на гидросферу.

Ведется систематическая работа по сокращению загрязнения сточных вод и общих объемов водопотребления и водоотведения, а так же проводится очистки загрязненных и ливневых сточных вод.

Мероприятиями по снижению негативного шумового воздействия являются сохранения природных и создание искусственных препятствий для снижения уровня шума.

Воздействие на литосферу характеризуется образованием отходов. Например, при обслуживании и ремонте насосной установки могут образовываться следующие отходы: отходы минеральных масел трансмиссионных; лом и отходы стальные несортированные; трубы, трубки из вулканизированной резины, утратившие потребительские свойства, незагрязненные; а также отходы обслуживания прочего электрического оборудования. В качестве мероприятий по утилизации всех видов отходов предусматривается их вывоз на объекты размещения отходов, повторная переработка ГСМ и металлолома.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Насосные станции в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 19.09.98 N 1115 "О порядке отнесения организаций к категориям по гражданской обороне" отнесены к объектам по гражданской обороне.

В соответствии со [28] насосные станции расположены в следующих зонах возможных опасностей:

- в зоне возможных слабых разрушений;

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до персонала объектов осуществляется с помощью речевой информации по каналам радиовещания, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. Электроснабжение основных электроприемников объектов предусматривается по I категории надежности от двух независимых источников. Проектные решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций(ЧС). На территории насосных станций не используют, не производят, не перерабатывают, не хранят радиоактивные, пожаро, а также взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации. В качестве наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций техногенного характера проектом рассматриваются:

-пожар на территории объектов;

- ЧС при постороннем вмешательстве в деятельность объектов. Население, которое может оказаться в зоне действия поражающих факторов в случае аварии на объектах, отсутствует.

Для обеспечения нормальной работоспособности объекта при ЧС приняты следующие меры безопасности:

- Установка дополнительного резервного электропитания
- Наличие дополнительных сменных частей.
- Наличие запасов питьевой воды

Данное помещение где установлена насосная установка согласно [27] относиться к категории Д. [Ф-123]

Опасными факторами пожара для людей являются открытый огонь, искры, повышенная температура воздуха, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок, а также взрыв.

Для предотвращения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

- предотвращение образования горючей среды;
- предотвращение образования в горючей среде источников зажигания;
- поддержание температуры и давления горючей среды ниже допустимых;
- уменьшение определяющего размера горючей среды.

При коротких замыканиях, перегреве и т.п. возможно загорание электропроводки, электроустановок (класс пожара Е) [ФЗ-123] . Для тушения пожара в таких условиях необходимо применять специальные средства, невозможно использовать воду и другие токопроводящие вещества. Поэтому помещения насосной станции должны быть оборудованы средствами для тушения электропроводок и электроустановок под напряжением. Применяемый тип огнетушителей: ОУ-10 (огнетушитель углекислотный).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка электропривода насоса жилого дома.

Предложено заменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно–регулируемый асинхронный электропривод. По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии АИР132S4, а также преобразователь частоты Danfoss VLT 5011

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые характеристики насоса, а система автоматического регулирования с векторным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами.

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

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

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

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

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

В разделе социальная ответственность проекта освещены вопросы: производственной и экологической безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды и защите при ЧС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
2. Алиев И. И. Электротехнический справочник. — М.: ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. — М.: "Академия", 2004.
5. Дьяконов В. П. *MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5* : Основы применения : Полное руководство пользователя. — М. : СОЛОН-Пресс, 2002. — 768 с.
6. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
7. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. — 172 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 272 с.
9. Электродвигатели асинхронные. Справочник / В.Л. Лихачев. — М.: СОЛОН-Р, 2002. — 304 с.
10. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. — М.: Издательский центр "Академия", 2005. — 304 с.
11. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. — Изд. 2-е, перераб. и дополн. — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 156 с.
12. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации

непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

13. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 448 с.

14. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.

15. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с

16. Л.А.Одинцова. Планирование на предприятии: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Л.А.Одинцова. 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 272 с.

17. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

18. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

19. ГОСТ 17494-87 - Машины электрические вращающиеся.

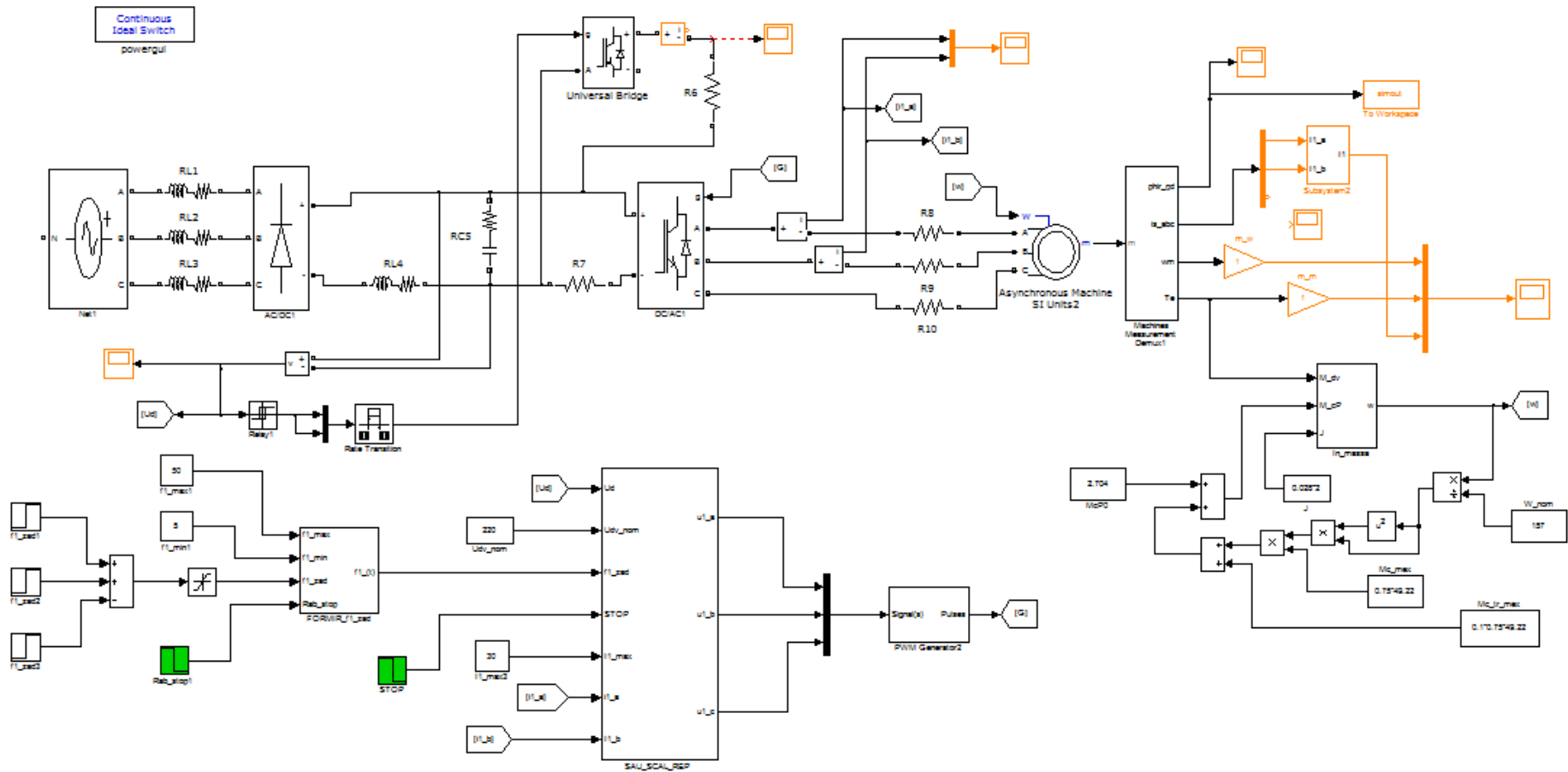
20. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — 6-е и 7-е изд.. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2009. — 687 с.: ил.. — ISBN 978-5-379-01195-6.

21. ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ – Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

22. ГОСТ 12.1.003-83(СТ СЭВ 1930-79) – Шум. Общие требования безопасности.
23. ГОСТ 12.4.051-87 – Средства индивидуальной защиты органа слуха.
24. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
25. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
27. ГОСТ 12.1.012-90 – Вибрационная безопасность.
26. ГОСТ 12.4.012-83 – Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования..
27. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
28. СНиП 2.01.51 – 90 Инженерно – технические мероприятия гражданской обороны.
29. Методика расчета зануления. – «Электробезопасность». Комплект лабораторных работ: учебное пособие по практическому изучению средств защиты от электропоражения в сетях до 1 кВ для студентов всех специальностей: учебное пособие. А.Г. Дашковский, Ю.В. Бородин, А.А. Сечин, М.В. Гуляев, А.Г. Кагиров – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 97.
30. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
31. ГОСТ 12.4.221-2002 Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты.

Приложение 1

Имитационная модель электропривода насоса со скалярным управлением



Приложение 2

Имитационная модель электропривода насоса с векторным управлением

