

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод качающей станции многоэтажного дома

УДК 62-83-52:628.12:69.058

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Кондаков Дмитрий Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская А.М.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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:

Зав. отделением

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Кондакову Дмитрию Олеговичу

Тема работы:

Электропривод покачивающей станции многоэтажного дома
Утверждена приказом директора (дата, номер) № 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

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	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Ледовская Анна Михайловна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Кондаков Дмитрий Олегович		05.04.2018г.

Реферат

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

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страниц, 14 рисунков, 25 таблицы, 31 используемых источников, 2 приложения.

В ходе работы был разработан регулируемый электропривод насоса 90K20, 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	7
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	9
1.1 Анализ технологического процесса	9
1.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода	12
2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА	15
2.1 Выбор приводного электродвигателя	15
2.4 Расчёт естественных характеристик электродвигателя	21
2.5 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода.....	25
2.6 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии	27
2.7 Выбор преобразователя частоты	28
3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	30
3.1 Разработка имитационных модели электропривода со скалярным управлением	30
3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярном управлении	38
3.3 Параметры элементов силового канала электропривода насоса.....	39
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	48
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	48
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.2 Анализ технических решений	51
4.5 Формирования плана и графика разработки ИР	58
4.5.1 Определение трудоемкости выполнения работ	58
4.5.2 Разработка графика проведения научного исследования	59
4.6 Обоснования необходимых инвестиции для разработки и внедрения ИР	64
4.7 Составления бюджета инженерного проекта (ИП)	65
4.7.1 Расчет сметы затрат на проектирование.	65

4.7.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	66
5.7.3 Затраты на рем.-эксплуатационное обслуживание электропривода	68
4.8 Экономическая эффективность	70
4.8.1 Срок окупаемости проекта	73
4.8.2 Чистый текущий дисконтированный доход	73
4.8.3 Ставка доходности (коэффициент рентабельности) проекта	73
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	75
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	77
5.1 Производственная безопасность	77
5.1.1 Анализ опасных и вредных факторов	77
5.1.2 Производственная санитария	78
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
5.3 Экологическая безопасность	87
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	92
Приложение 1	95
Приложение 2	96

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 Ошибка	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 K90/20.

Таблица 1.2 – Параметры насоса

Тип насоса	Подача, м ³ /час	Напор, м	КПД насоса, %	Мощность насоса, кВт
K90/20	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: 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_H , %	$\cos \varphi_H$	η_H , %		
АИР132S 4	1500	380	7,5	0,03	0,84	0,875	0,168	0,022

Продолжение таблицы 2.1

$m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_H}$	$m_k = \frac{M_{макс}}{M_H}$	$m_m = \frac{M_{мин}}{M_H}$	$k_{идв} = \frac{I_{пуск}}{I_H}$	Степень защиты
2	2,5	1	7	IP44

2.2 Расчет параметров электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

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

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

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

Номинальный момент двигателя

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

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

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

2.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

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

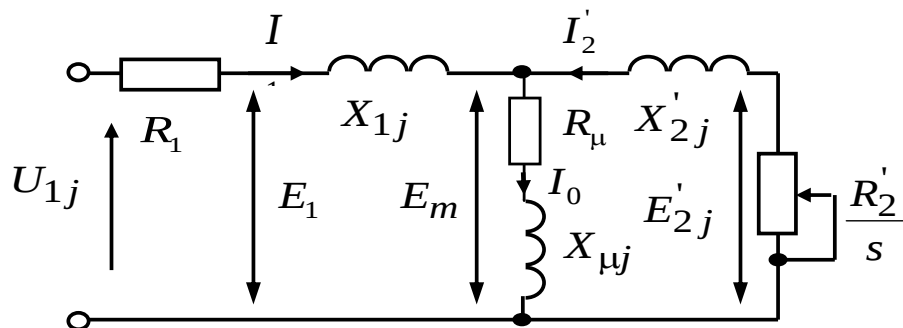


Рисунок 2.1 – Схема замещения

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1-s_H}{1-p^* \cdot s_H} \right)^2}} = \sqrt{\frac{12,408^2 - \left(0,75 \cdot 15,647 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}} = 6,413 \text{ A}$$

Где

$$I_{1H} = \frac{P_H \cdot 1000}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,875} = 15,647 \text{ A} - \text{номинальный ток статора};$$

$$I_{11} = \frac{p_z \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{7500 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,785 \cdot 0,875} = 12,408 \text{ A} - \text{ток фазы статора при}$$

частичной нагрузке;

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

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_H$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos \varphi_z = 0,79 + \Delta \cos \varphi_z = 0,785.$$

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

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1-s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{двн}} \cdot c_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,03)}{2 \cdot 2,5 \cdot 7500 \cdot 1,029^2 \cdot \left(1,55 + \frac{1}{0,168} \right)} = 0,473 \text{ Ом}.$$

$$\text{где } c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{6,413}{2 \cdot 7 \cdot 15,647} = 1,029 - \text{коэффициент характеризующий}$$

$$\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu};$$

Критическое скольжение:

$$s_{\kappa} = s_{\text{н}} \cdot \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - (1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)} =$$

$$3 \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - (1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1,55 \cdot (2,5 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1,55 \cdot (2,5 - 1)} = 0,163.$$

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

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

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

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{κ} :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\kappa}^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,196^2}\right) - 1,55^2} = 5,747,$$

тогда

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 5,747 \cdot 1,029 \cdot 0,473 = 2,795 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

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

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

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{1,174}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,003737 \text{ Гн}.$$

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

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa}}{c_1} = \frac{0,58 \cdot 2,795}{1,029} = 1,575 \text{ Ом}.$$

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

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,575}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,005014 \text{ Гн}.$$

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

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

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

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

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

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{31,21}{2\pi \cdot 50} = 0,09934 \text{ Гн}.$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,473}{157,08 \cdot 3 \cdot \left[2,795^2 + \left(0,754 + \frac{0,473}{3} \right)^2 + \left(\frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 2,795} \right)^2 \right]} = 51,927 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_{\text{эм.н}}^{**} &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \cdot \text{м} \\ &= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,09934}{(0,09934 + 0,00514)} \cdot 0,901 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{15,647^2 - 6,413^2} = 51,937 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

где

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 6,413 \cdot 0,09934 = 0,901, \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\partial 6, H} < M_{\partial M, H}^* \leq 1.1 \cdot M_{\partial 6, H} = 49,223 < 51,927 \leq 54,115;$$

$$M_{\partial M, H}^{**} \approx M_{\partial M, H}^* \cdot 51,937 \approx 51,927$$

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 $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ рассчитывается по выражению:

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

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

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,473}{157,08 \cdot 3 \cdot \left[2,795^2 + \left(0,754 + \frac{0,473}{3} \right)^2 + \left(\frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 31,21} \right)^2 \right]} = 95,01 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_K = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2}{R_1^2 + (X_{KH})^2}} = 0,473 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,754}{31,21}\right)^2}{0,754^2 + (2,795)^2}} = 0,163$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{эм.к}(s_H) = M_{эм.к} = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2 \right]} \right\}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot \left(0,473 + \sqrt{(0,473^2 + 2,795^2) \cdot \left(1 + \frac{0,754^2}{31,21} \right)} \right)} = 126,634 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя.

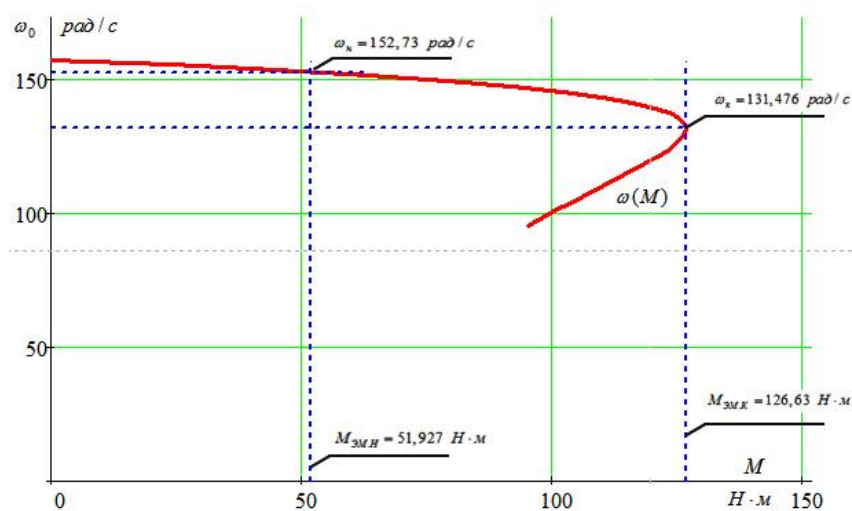


Рисунок 2.2 – Естественная механическая характеристика электродвигателя типа АИР132S4

Момент от силы трения на валу электродвигателя

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

По полученным результатам определяем кратность пускового момента

$$m_n = \frac{M_{\text{эм} n}}{M_{\text{эм} H}} = \frac{123,0575}{51,927} = 2,3;$$

кратность максимального (критического) момента:

$$m_k = \frac{M_{\text{эм} K}}{M_{\text{эм} H}} = \frac{126,73}{51,927} = 2,4;$$

критическое скольжение:

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

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(s, f_1)$ и $I_2'(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

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

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

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

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

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

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

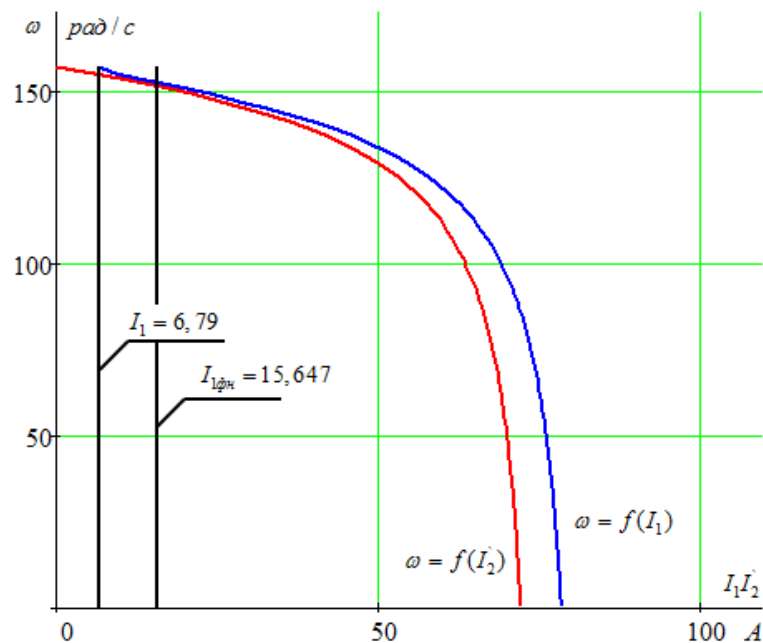


Рисунок 2.3 – Естественная электрохимическая характеристика электродвигателя типа АИР132S4

По результатам расчета электрохимической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 6,792$ А , 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 электрохимической 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:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\kappa\kappa}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\mu} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 0,473}{\omega_{0j} \cdot 3 \cdot \left[2,795^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,754 + \frac{0,473}{3} \right)^2 + \left(\frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 31,21 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]},$$

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

ω_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 2.4

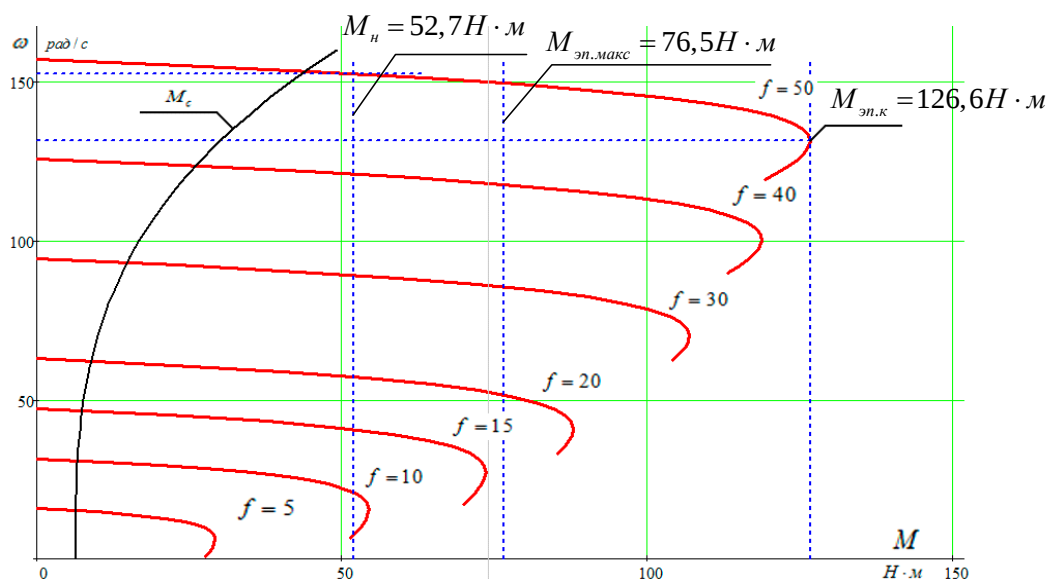


Рисунок 2.4 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель.

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

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{лн}} \cdot f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{(0,754 + 0,473/s)^2 + 2,795^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{0,754 \cdot 0,473}{3 \cdot 31,21 \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

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

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

$$= \sqrt{6,79^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot 6,79 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2(s)},$$

где

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{2,795 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(0,754 + 0,474/s)^2 + 2,795^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

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

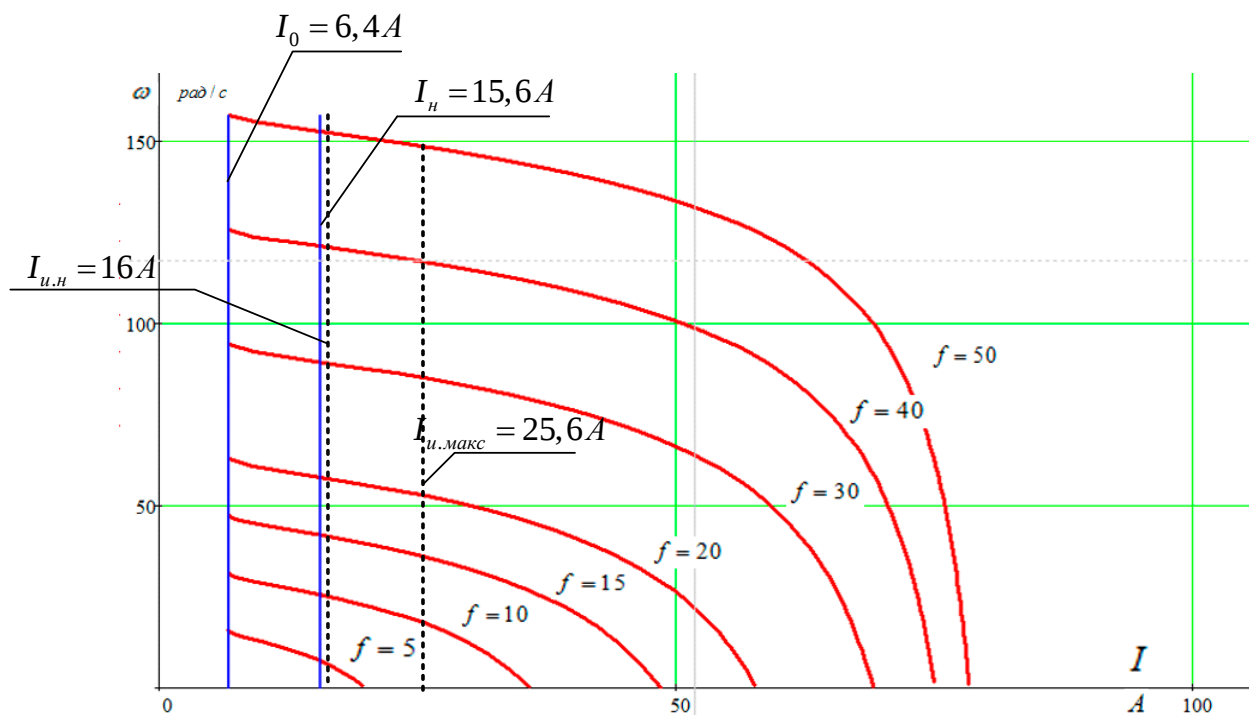


Рисунок 2.5– Электромеханические характеристики $I_2'(s)$

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 Ошибка! чистоты	Полная Ошибка!	Расчетная мощность двигателя, кВт	Максимальный ток в установившемся режиме, А		Номинальный ток инверторной ячейки, А	Количество инверторных ячеек	Максимальный ток в переходном режиме 60 с., А
			Перегрузка 110%	Ошибка! 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.

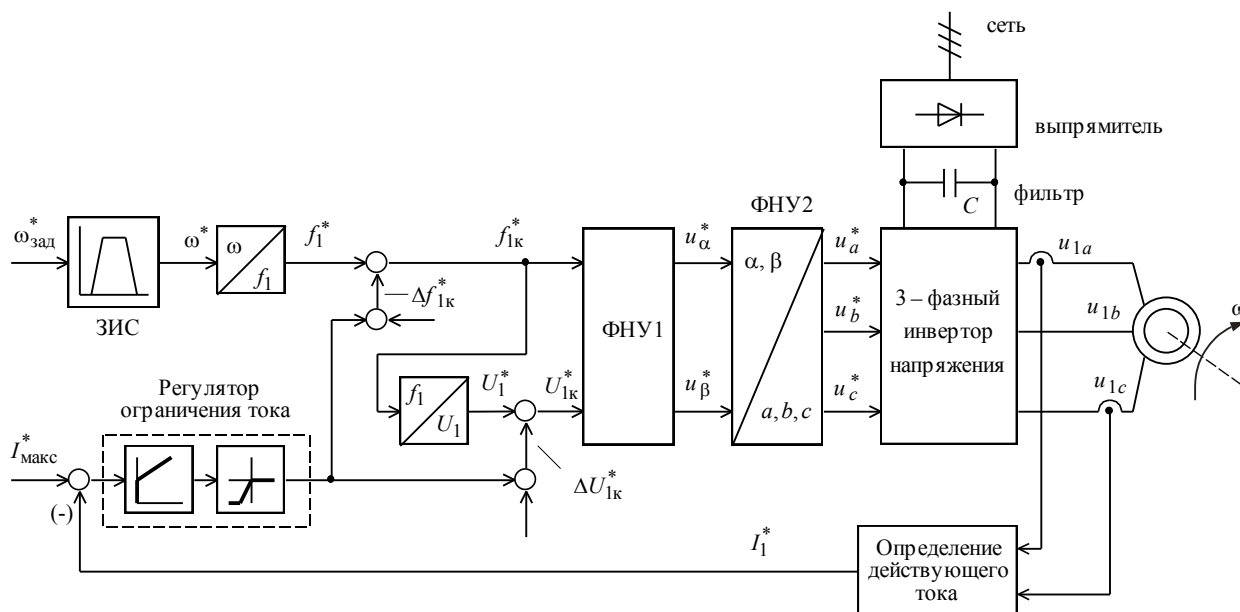


Рисунок 3.1 – Базовая функциональная схема асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ

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;

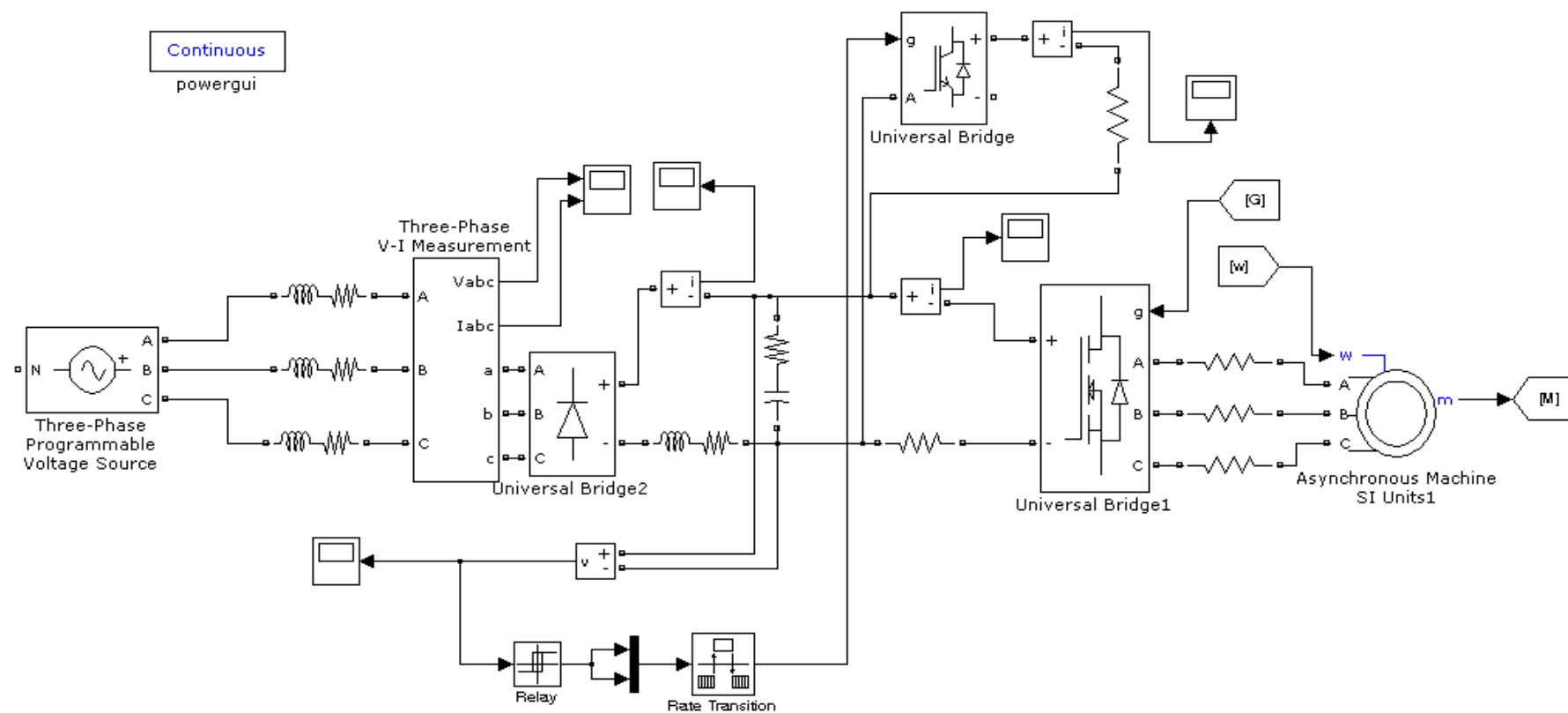


Рисунок 3.2 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя

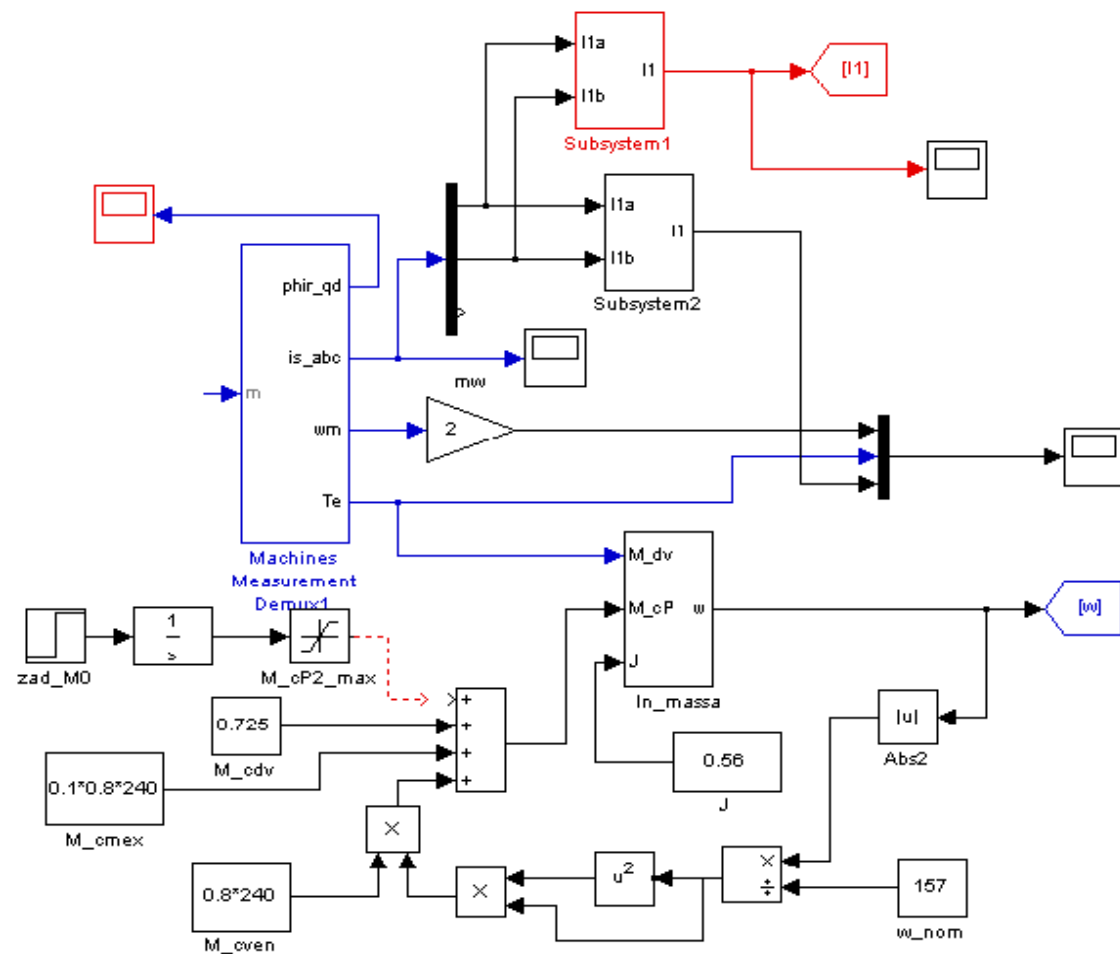


Рисунок 3.3 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой

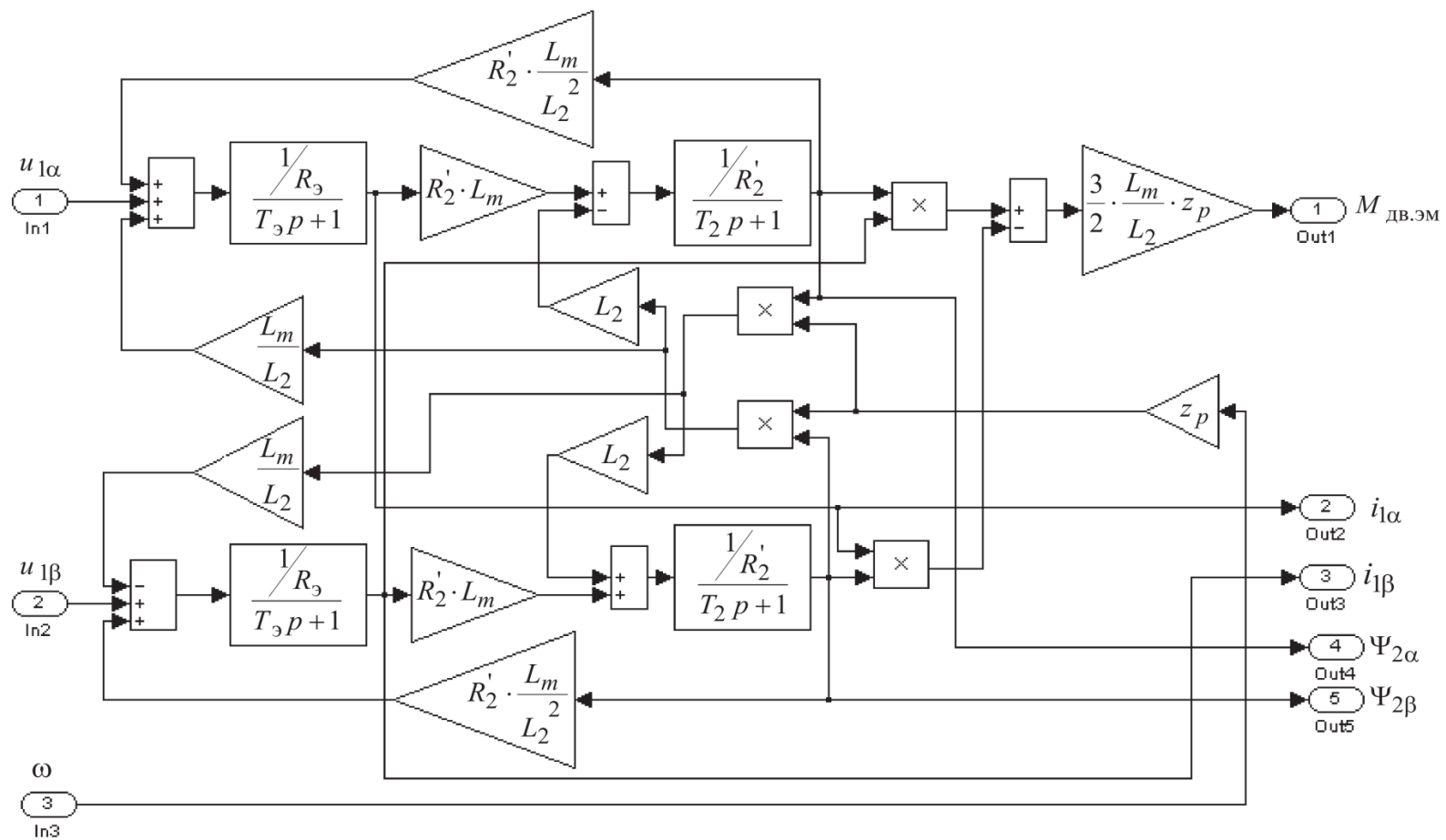


Рисунок 3.4 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

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;

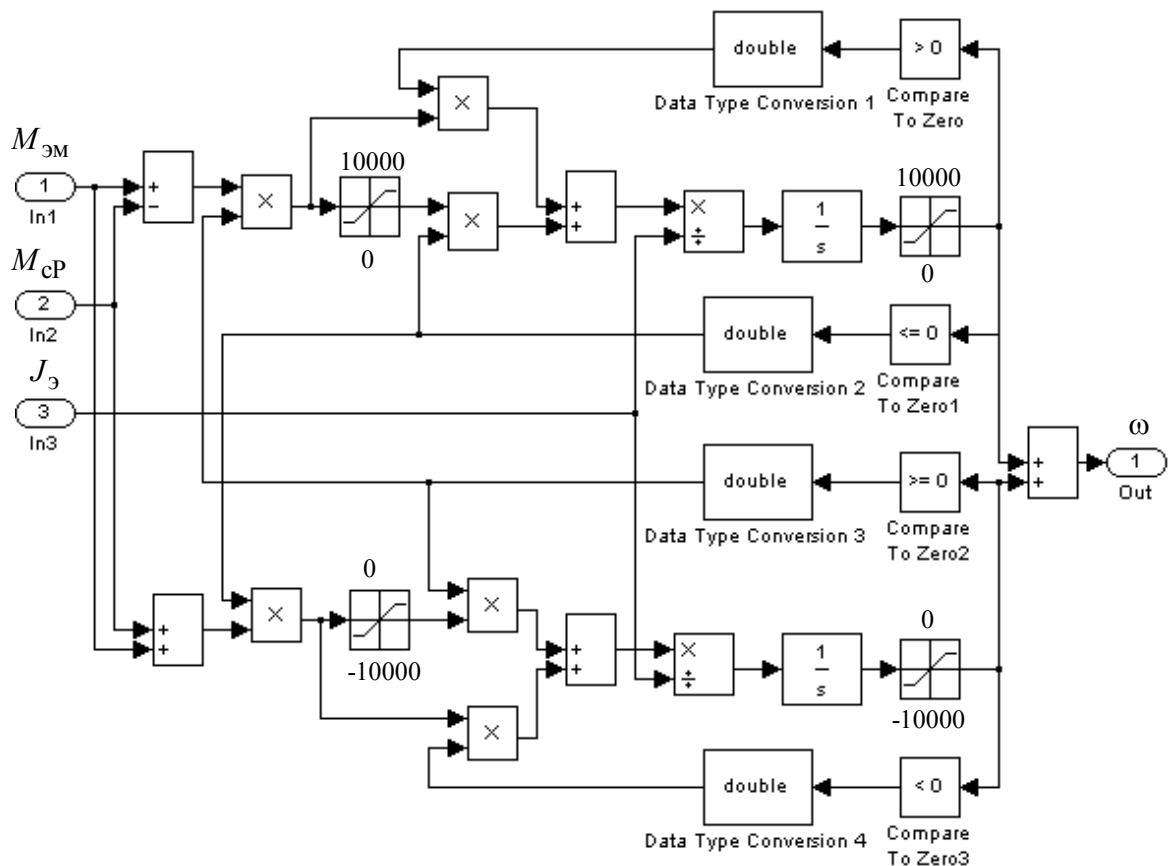


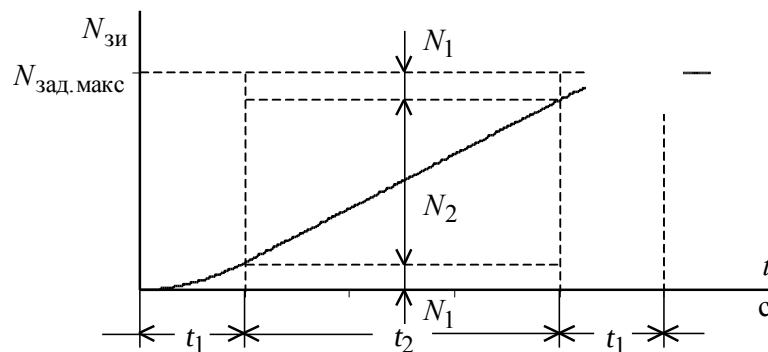
Рисунок 3.5 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой

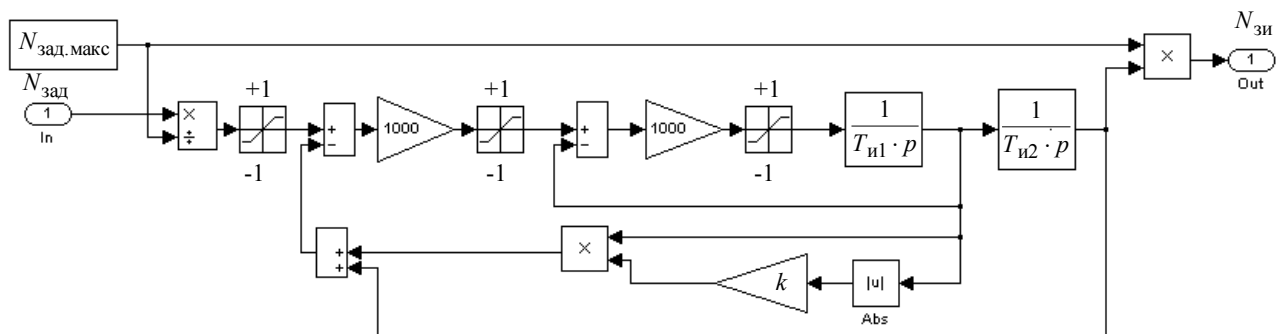
Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.5. Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

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

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



а



б

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

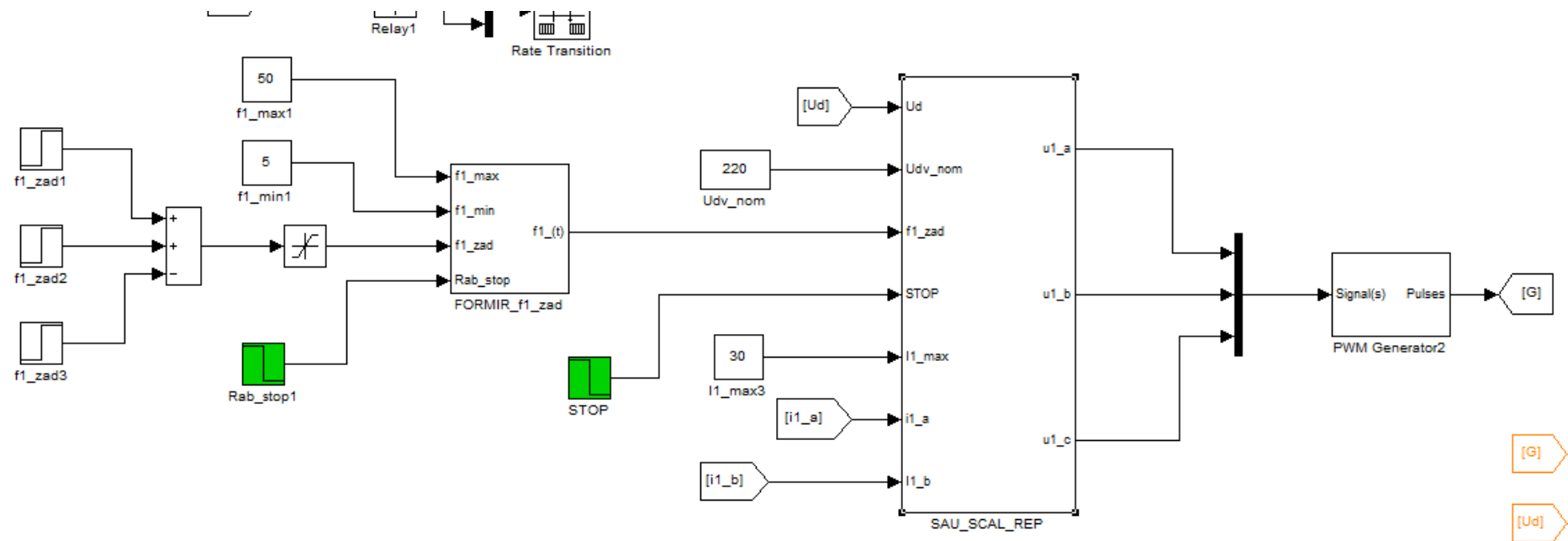


Рисунок 3.7 – Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя

3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электр привода насоса со скалярном управлением

Насосная установка предназначена для непрерывного поддержания давления в системе отопления, поэтому электропривод должен работать в продолжительном режиме и быть нереверсивным. Требование 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_H , %	$\cos \varphi_H$	η_H , %		
АИР132S4	1500	380	7,5	0,03	0,84	0,875	0,168	0,022

Продолжение таблицы 3.1

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{i\text{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	Степень защиты
2	2,5	1	7	IP54

Параметры двигателя, принятые при расчете

$$\eta_{0.85} = 0,875 \quad , \quad \cos \phi_{0.84} = 0,785 \quad ; \quad \beta = 1,55 \quad .$$

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя

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

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

$$L_m = 0,09934 \text{ Гн},$$

$$z_p = 3 \quad .$$

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

Параметры преобразователя частоты серии Danfoss

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

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

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

Параметры элементов силового канала электропривода

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

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

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

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

$C \approx (100 \div 300) \cdot P_H$, мкФ, где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт.

Параметры механической системы электропривода насоса

$$\Delta M_{с\text{дв}} = 2,704 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

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

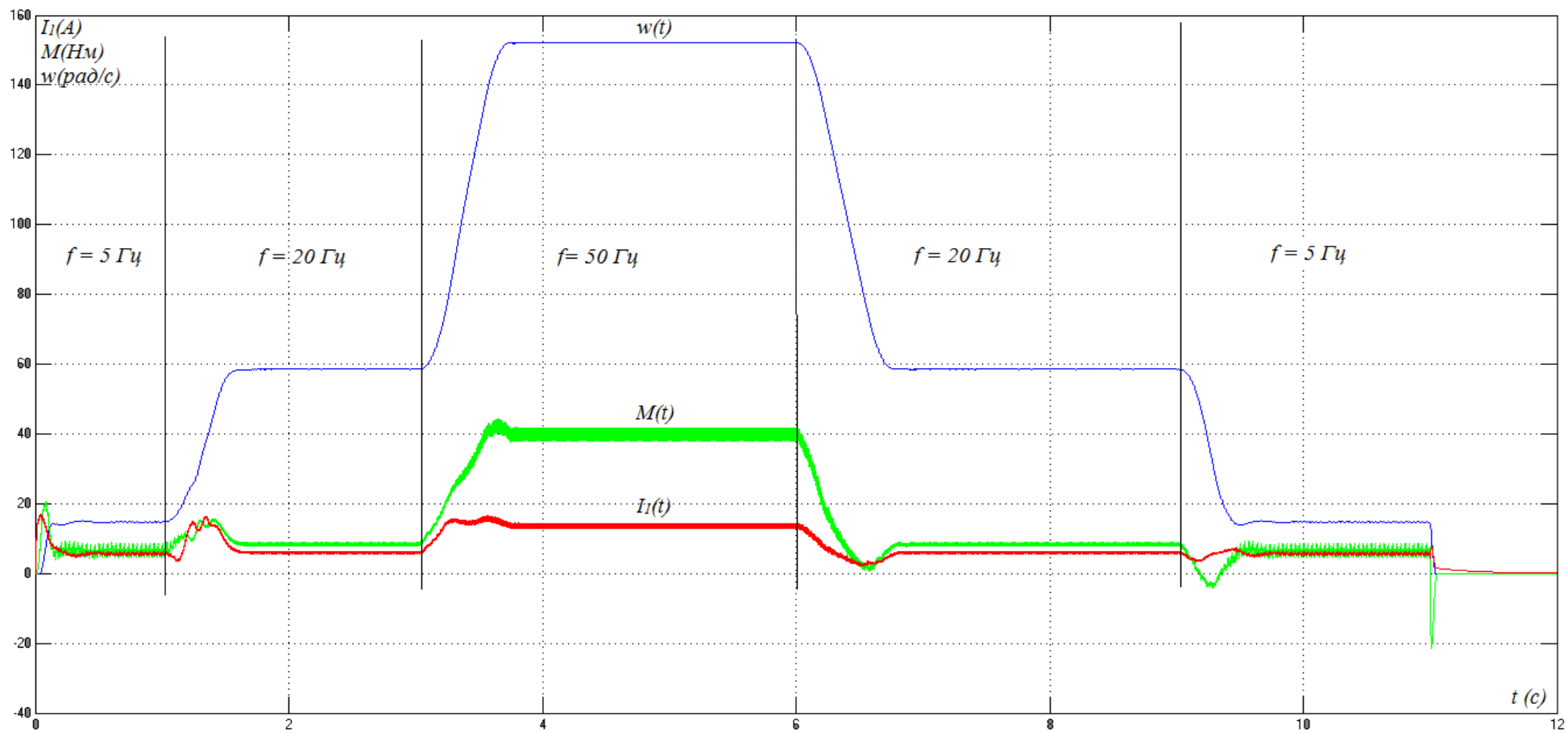


Рисунок 3.8 – Диаграммы $I_1(t)$, $M(t)$, $w(t)$ при отработке электроприводом насоса заданного цикла работы

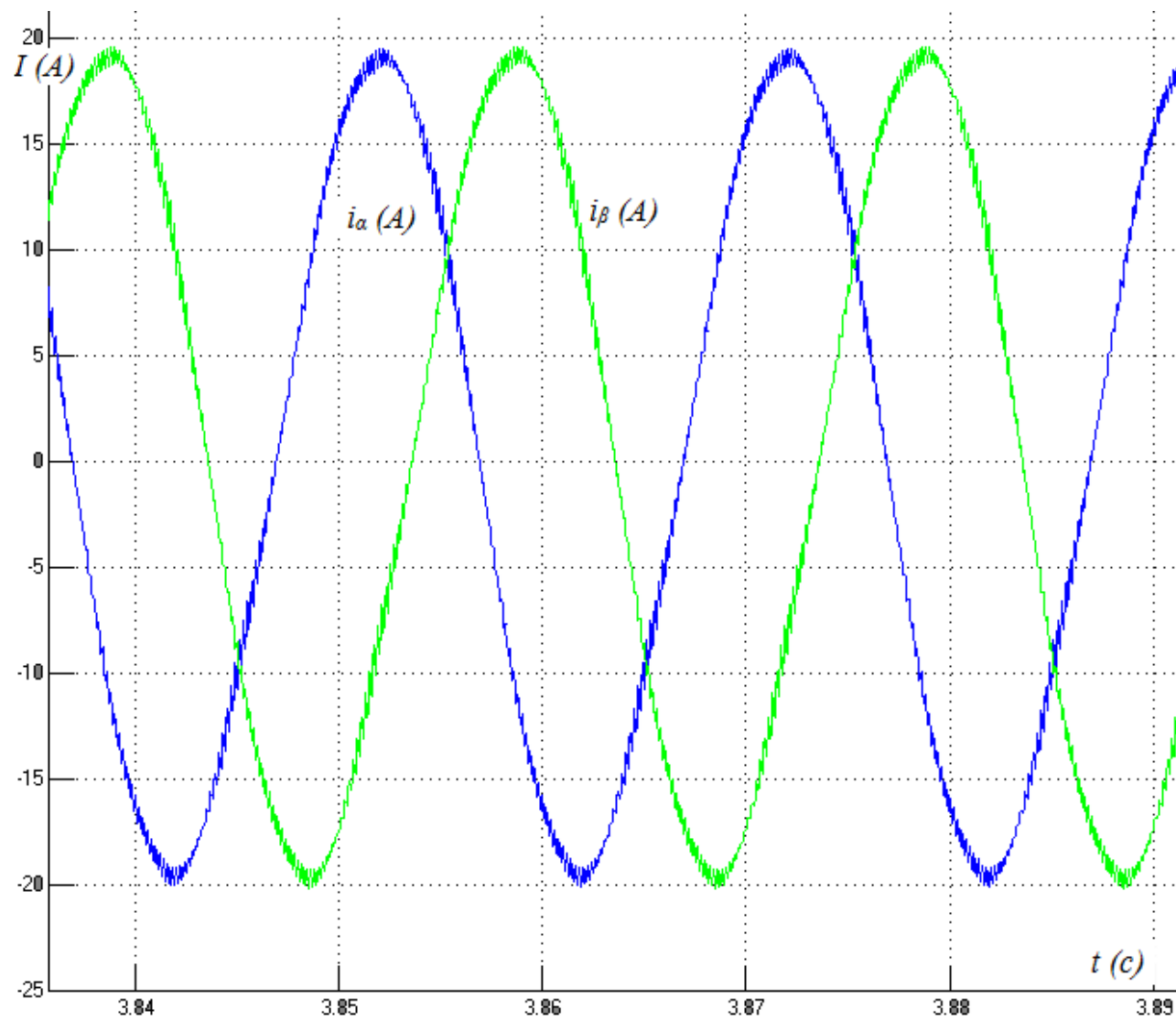


Рисунок 3.9 – Диаграммы токов статора i_α и i_β двухфазного двигателя (диаграммы токов на интервале времени от 3,8 до 4)

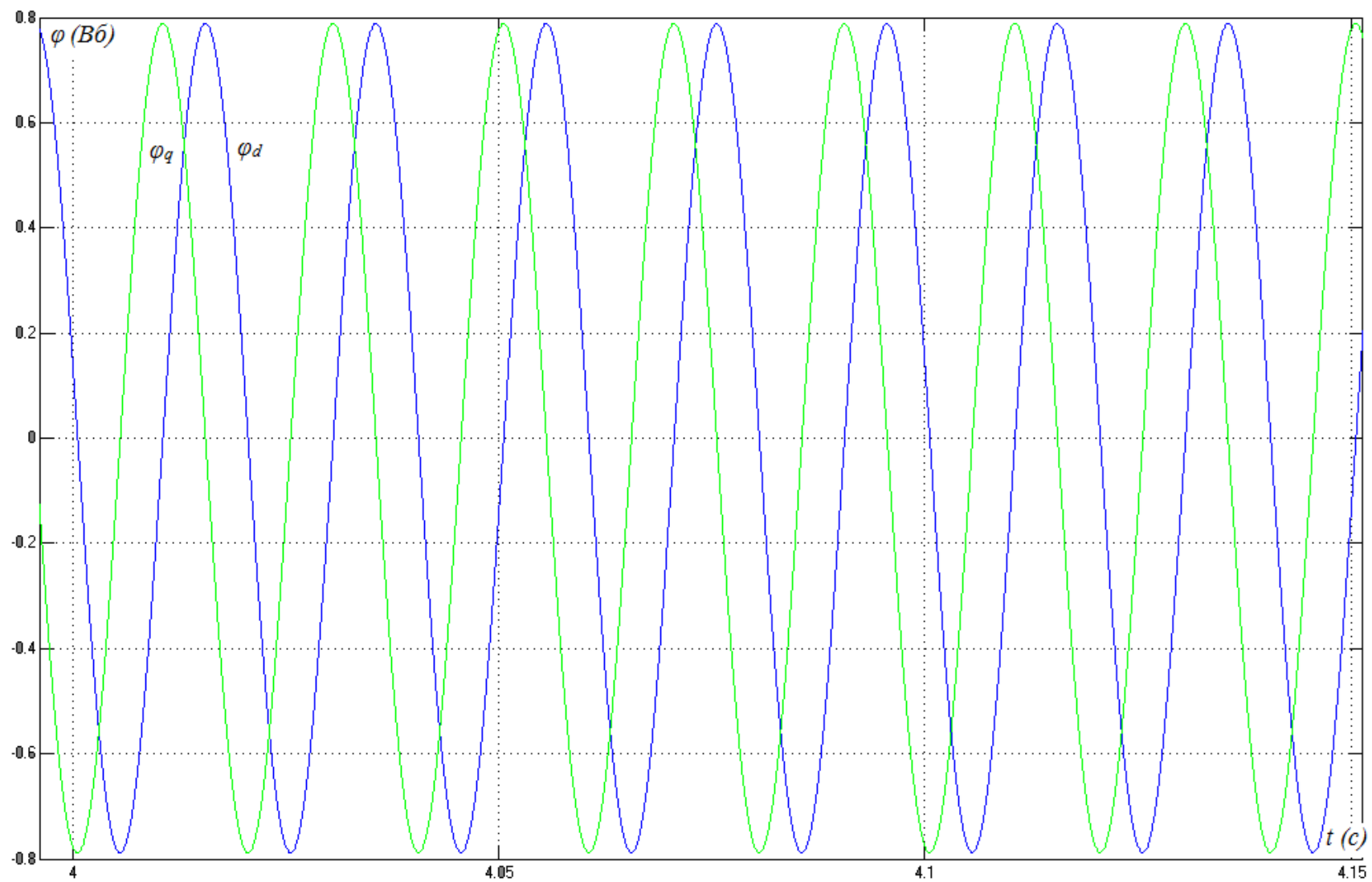


Рисунок 3.10 – Диаграммы потоков ротора φ_q и φ_d двухфазного двигателя (диаграммы токов на интервале времени от 4 до 4,15)

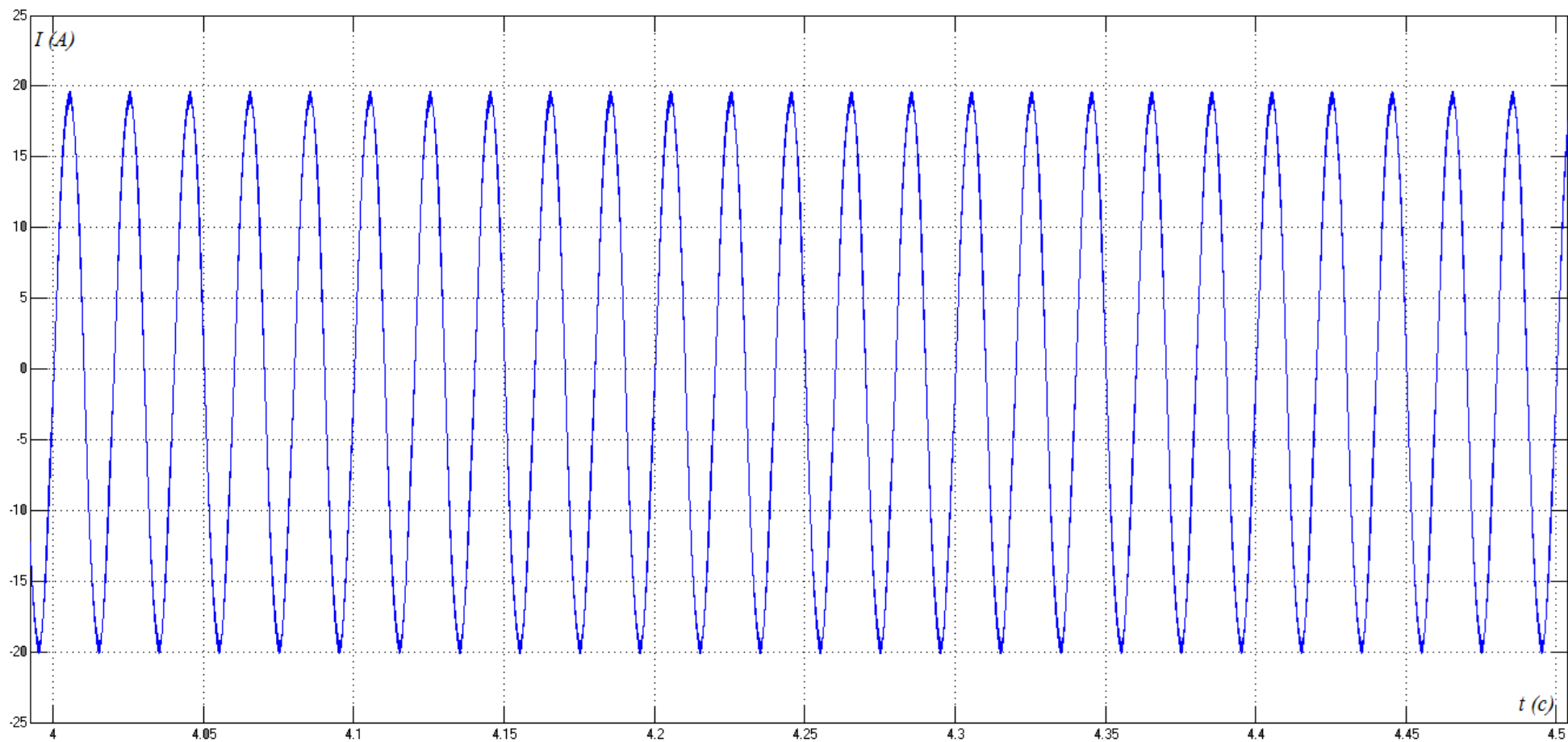


Рисунок 3.11 – Диаграмма фазного тока статора (диаграмма тока на интервале времени от 4 до 4,5)

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 стопорении 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	
3-5ГЗБ1		Кондаков Дмитрий Олегович	
Институт	Институт электронного обучения (ИнЭО)	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Для разработки электропривода потребуются следующие ресурсы: материально-технические ресурсы; финансовые ресурсы для оплаты труда исполнителям проекта; энергетические ресурсы; человеческие ресурсы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления в социальные фонды -30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование выполнения проекта, -Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования - Определение научно-технической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. 1. Диаграммы Ганта
2. 2. Круговая гистограмма затрат на проектирование
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Кондаков Дмитрий Олегович		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Важнейшим фактором успешного функционирования любого промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными производителями, является постоянное совершенствование технологии и продукции. Новые технологии и модернизация — это необходимый фактор для успешного продвижения продукции. Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое технологическое оборудование.

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен выбору наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

- **более низкая стоимость;**
- минимальные затраты на обслуживание;
- обеспечение требуемой степени защиты.

Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с применением в помещении с высокой влажностью в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP44.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. В нашем случае для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Сегментируем рынок электрооборудования по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид электропривода (рис. 1).

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка электрооборудования по используемым видам электроприводов

		Вид электропривода			
		Электропривод постоянного тока	Электропривод переменного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
Размер компании	Крупные		Фирма Б		Фирма Б
	Средние	Фирма А	Фирма В	Фирма В	
	Мелкие	Фирма А		Фирма Г	

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке электрооборудования не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Результат сегментирования:

- к основным сегментам данного рынка относятся использование электропривода с частотным регулированием средними и мелкими компаниями;
- наиболее перспективным сегментом является предложение электропривода с частотным регулированием средним компаниям;
- сегментом рынка, привлекательных для предприятия в будущем, является предложение электропривода с частотным регулированием мелким, динамично развивающимся, компаниям.

4.2 Анализ технических решений

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 4.2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены электроприводы (Бф - АИР132S4, БК1 - 5АМ132М6У3, БК2 - 5АМ112М2У3).

Таблица 5.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	5	2	0,28	0,35	0,14
3. Энергоэкономичность	0,11	5	3	3	0,55	0,33	0,33
4. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8

5. Уровень шума	0,03	3	4	4	0,09	0,12	0,12
6. Безопасность	0,08	4	2	3	0,32	0,16	0,24
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	3	2	3	0,12	0,08	0,12
2. Цена	0,15	4	5	3	0,6	0,75	0,45
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48
4. Послепродажное обслуживание	0,05	3	5	1	0,15	0,25	0,05
Итого	1				4,26	3,65	3,33

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является определение конкурентных преимуществ, которые отличающихся высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров. Из данного анализа видно, что наиболее перспективен электропривод АИР132S4.

4.3 Планирование научно–исследовательских работ

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой-либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в план-график, таблица 4.3.

Таблица 4.3. Этапы и содержание НИР

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
2. Подбор литературы	2.1.	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.1.	Расчет мощности двигателя	Инженер
	3.2.	Выбор преобразователя частоты	Инженер

Продолжение таблицы 4.3

3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.3.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.4.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.5.	Анализ результатов	Руководитель, инженер
4. Моделирование работы привода	4.1.	Разработка программы исследований модели	Руководитель, инженер
	4.2.	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Инженер
	4.3.	Исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным управлением	Инженер
	4.4.	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Инженер
	4.5.	Исследование двухмассовой системы САУ СЭП	Инженер
5. Обобщение и оценка результатов	5.1	Оценка результатов.	Руководитель, инженер

4.4 Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)

Выбор структурной (принципиальной) схемы электропривода сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Таблица 4.4 Оценка и выбор двигателей

	Варианты		Примечания (преимущества недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=15 кВт	P=7,5 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

Для оценки коммерческого потенциала ИР были рассмотрены следующие:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;

5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех.

Таблица 4.5 Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

<i>Уровень цели</i>	<i>низкий</i>	<i>средний</i>	<i>высокий</i>
<i>Оценка обеспечения цели</i>	<i>1.0</i>	<i>0.5</i>	<i>0</i>

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 Оценка качества по групповым критериям

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0.5	0	0.5	2,25

Из таблицы 4.6 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i ,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

P_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 4.7 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 4.8 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 4.9 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 5.10–Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Продолжение таблицы 4.10

<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, \Pi_1 = 6, k_2 = 0.4, \Pi_2 = 7, \\ k_3 = 0.2, \Pi_3 = 10, k_4 = 0.2, \Pi_4 = 4.$$

$$HTY = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня (9.2) можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

4.5 Формирования плана и графика разработки ИР

4.5.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях 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 (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4,$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4,$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.5.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,49 = 2,086 \approx 2,$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{121}{121 - 40} = 1,4938 \approx 1,49,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней за период дипломирования;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней за период дипломирования;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней за период дипломирования.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводятся в таблицу табл. 4.11.

Таблица 4.11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполни- тели	Трудоёмкость работ						Длительнос ть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительнос ть работ в календарн ых днях T_{ki}	
		t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни					
		Руководи- тель	Инженер	Руководи- тель	Инженер	Руководи- тель	Инженер	Руководи- тель	Инженер	Руководи- тель	Инженер
1. Разработка ТЗ на проектирование	Р	1	–	2	–	1,4	–	1,4	–	2	–
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	Р, И	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	3	3
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	Р, И	5	5	9	9	6,6	6,6	3,3	3,3	5	5
4. Кинематическая схема механизма	И	–	2	–	5	–	3,2	–	3,2	–	5
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	И	–	7	–	9	–	7,8	–	7,8	–	12
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	И	–	1	–	3	–	1,8	–	1,8	–	3

Продолжение таблицы 4.11

7. Выбор способа регулирования скорости	И	–	1	–	2	–	1,4	–	1,4	–	2
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	И	–	3	–	8	–	5	–	5	–	7
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	И	–	10	–	17	–	12,8	–	12,8	–	19
10. Оптимизация САР электропривода	И	–	10	–	15	–	12	–	12	–	18
11. Разработка программы имитационного моделирования	Р, И	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	3	3
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	И	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4
13. Техничко-экономические расчеты	И	–	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	9
14. Составление пояснительной записки	И	–	14	–	21	–	16,8	–	16,8	–	25
15. Разработка графического сопровождения проекта	И	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4
16. Сдача проекта	И	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1

На основе табл. 4.11 строится календарный план-график (Рисунок 4.1). График строится в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

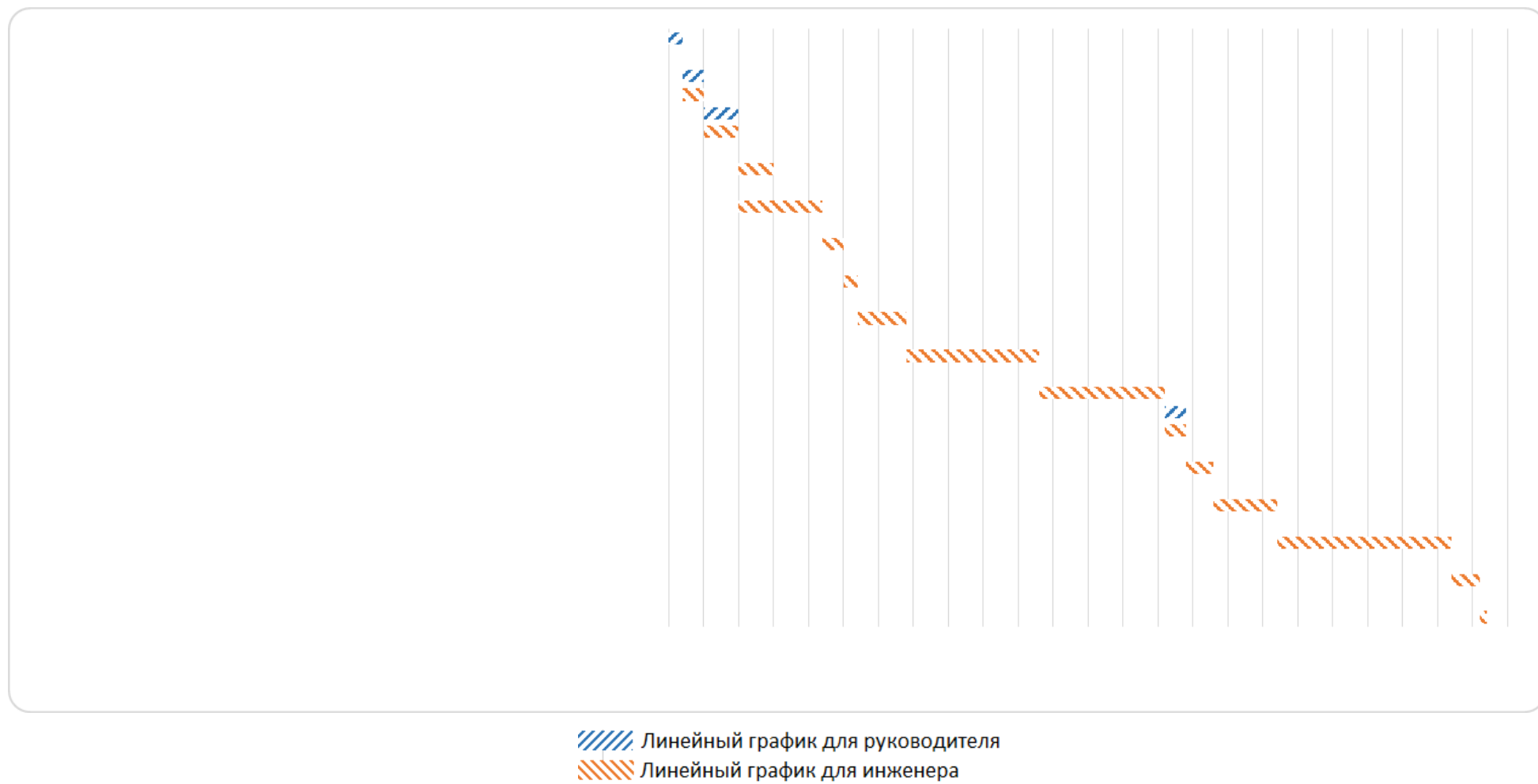


Рисунок 4.1 - Календарный план-график

4.6 Обоснования необходимых инвестиции для разработки и внедрения ИР

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Таблица 5.12 – Смета затрат капитальных вложений на реализацию проекта

	Кол- во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
I. Оборудование:			
Электродвигатель АИР132S4 ¹	1	9820	9820
Преобразователь Danfoss VLT5011 ²	1	49567	49567
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)		11773	11773
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.			
Комплектный привод (6%)			
Некомплектный (15%)			
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)		10596 1625	10596 1625
IV. Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II		1060	1060
V. Сметная стоимость проектно-конструкторских работ		938978	938978
Всего затрат			1023375

¹http://trentegroup.ru/catalog.html?flypage=flypage.tpl&page=shop.product_details&pop=0&product_id=2712

²<http://de.shopotam.ru/catalog/>

Были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен действительных на 2018 год.

4.7 Составления бюджета инженерного проекта (ИП)

4.7.1 Расчет сметы затрат на проектирование.

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, частью которого является ВКР, студента-дипломника, рекомендуется осуществлять методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов.

Таблица 4.13 - Смета затрат на проектирование

Статьи расхода	Сумма	Примечания
	руб	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	41000	ПК для проектирования
2. Специальное оборудование	38000	Стенды, приборы, установки.
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	350000	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	35000	10% от ст.3
5. ЕСН	115500	30%(ст.3+ст.4)
6. Расходы на научные и производственные командировки	30800	8% от(ст.3+ст.4)
7. Накладные расходы	280000	80% от ст.3
8. Плановая прибыль	48678	6% от (ст.3+4+5+7)
9. Годовая сметная стоимость проекта	938978	

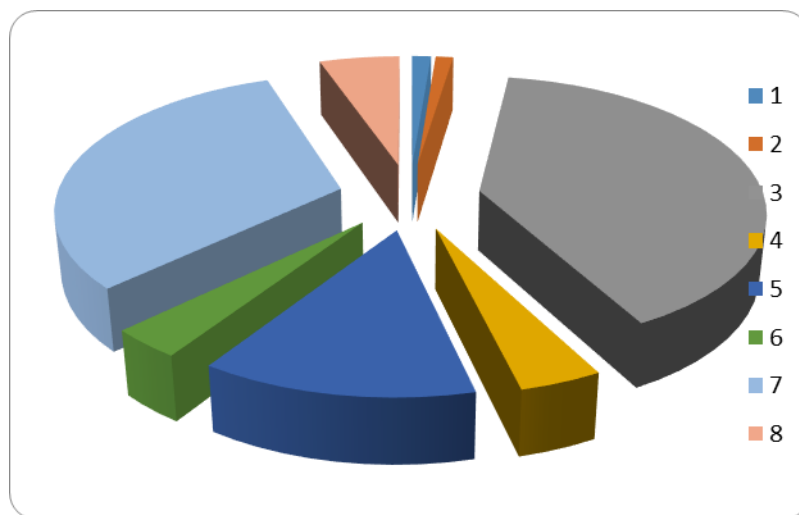


Рисунок 4.2 – Круговая гистограмма затрат на проектирование

4.7.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{7,5 \cdot 4500 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 14053 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0,6–0,7);

k_b – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0,6–0,8);

k_z – средний коэффициент загрузки оборудования (0,7–0,8);

k_c – коэффициент, учитывающий потери в сети (0,92–0,95);

$k_{дв}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0,9–0,93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{эл} = W_{сил\ эн} \cdot C_э,$$

где $C_э$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_э$ – одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 2,08 руб/кВт·ч для Красноярского края, на 2015 год.

$$C_{эн} = 14053 \cdot 2,08 = 28230,24 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100},$$

где

K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию.

– Электродвигатели – 9.6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 9300 \cdot 0.096 = 892,8.$$

– Преобразователи – 3.5%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 49567 \cdot 0,035 = 1734,845.$$

– Электропривод – 9.6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 587209 \cdot 0.096 = 56372,064.$$

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-

предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

5.7.3 Затраты на рем.-эксплуатационное обслуживание электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}},$$

где

$C_{\text{зар}}=96$ руб·час – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}}=84$ руб·час – стоимость материалов для ремонта (= основная зарплата без доплат);

$C_{\text{опр}}=168$ руб·час – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплаты); $C_{\text{охр}}=67,2$ руб·час – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 96 + 84 + 168 + 67,2 = 415,2 \text{ руб· час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энерго–персонала.

Таблица 4.14 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
5,6-10	20	4	2

Таблица 4.15 – Затраты на ППР электропривода

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Кап.ремонта без перемотки обмоток	20	Раз в 2 года	415,2	8304
Текущего ремонта	4	Раз в 6 месяцев	415,2	1660,8
Технического обслуживания	2	Раз в месяц	415,2	830,4

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово–предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 4.16–Затраты на ППР электропривода в год

	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	4152
Текущего ремонта	3321,6
Технического обслуживания	9964,8
Итого	17438,4

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

Таблица 4.17 – Эксплуатационные расходы

Вид расходов	Величина расходов, руб
Расходы на эл. энергию	28230,24
Амортизационные отчисления	58999,709
Затраты на ППР	17438,4
Всего расходов	105668,349

4.8 Экономическая эффективность

Годовой расход электроэнергии до реализации проекта:

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$
$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{15 \cdot 4500 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 28105,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0,6–0,7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0,6–0,8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0,7–0,8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0,92–0,95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0,9–0,93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_{\text{э}}$ – одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 2,08 руб/кВт·ч для Красноярского края, на 2015 год.

$$З_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot T = 28105,7 \cdot 2,08 = 58459,86$$

Затраты на электроэнергию после реализации проекта из таблицы 5.13, руб/год:

$$З_{\text{э2}} = 28230,24.$$

Экономия затрат на электроэнергию, руб/год:

$$Э_{\text{э}} = З_{\text{эл}} - З_{\text{э2}} = 58459,7 - 28230,24 = 30229,46.$$

Для каждого последующего года экономия рассчитана с учетом ежегодного удорожания электроэнергии на 10%.

Жизненный цикл проекта: $t = 4$ года.

Инвестиционные затраты на разработку и реализацию проекта из таблицы 5.9, руб.:

$$ИЗ = 1023375.$$

Годовая амортизация, руб/год:

$$A = \frac{ИЗ}{t} = \frac{1023375}{4} = 255843,75.$$

Темп инфляциис начала 2015 года: $i = 7,91\%$;

Ставка рефинансирования ЦБР: $r = 8,25\%$;

Норма дисконта:

$$E = \frac{1 + r / 100}{1 + i / 100} - 1 = \frac{1 + 8,25 / 100}{1 + 7,91 / 100} - 1 = 0,003151,$$

Коэффициент дисконтирования:

$$d = \frac{1}{(1 + E)^t},$$

где d – коэффициент дисконтирования; t – текущий год.

$$ЧДД = P_{t-1} + (ЧДП_t - ИЗ) \cdot d;$$

где P_{t-1} - результат ЧДД предыдущего года;; ЧДП – чистый денежный поток; ИЗ – инвестиционные затраты; ЧДД – чистый дисконтированный доход.

$$ЧДП = Э_3 + A,$$

где $Э_3$ - экономия электроэнергии; A – амортизация.

Рассчитаем ЧДД для всего срока службы установки:

$$ЧДД_0 = 0 + (0 - 1023375) \cdot 1 = -1023375 \text{ руб};$$

$$ЧДД_1 = -1023375 + (286073,21 - 0) \cdot 0,997 = -738160 \text{ руб};$$

$$ЧДД_2 = -738160 + (289096,156 - 0) \cdot 0,994 = -450798,431 \text{ руб};$$

$$ЧДД_3 = -450798,431 + (292421,4 - 0) \cdot 0,991 = -161008,8 \text{ руб};$$

$$ЧДД_4 = -161008,8 + (296079,16 - 0) \cdot 0,987 = 131221,31 \text{ руб};$$

Результаты расчётов сведём в таблицу 4.18.

Таблица 4.18 – Расчёт экономической эффективности проекта

Год		0	1	2	3	4
$Z_{\text{э1}}$	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T$ (1 год)	0	58459,86	64305,846	70736,431	77810,074
	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T \cdot 10\%$ (2-4 года)					
$Z_{\text{э2}}$	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T$ (1 год)	0	28230,24	31053,264	34158,59	37574,449
	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T \cdot 10\%$ (2-4 года)					
$\Delta_{\text{э}}$	$Z_{\text{э1}} - Z_{\text{э2}}$	0	30229,46	33252,406	36577,647	40235,411
ИЗ, руб.		1023375	–	–	–	–
А, руб.	$\frac{\text{ИЗ}}{t}$	0	255843,75	255843,75	255843,75	255843,75
ЧДП, руб.	$\Delta_{\text{э}} + А$	0	286073,21	289096,156	292421,4	296079,16
d	$\frac{1}{(1+E)^t}$	1	0,997	0,994	0,991	0,987
ЧДД, руб.	$P_{t-1} + (\text{ЧДП}_t - \text{ИЗ}) \cdot d$	-1023375	-738160	-450798,43	-161008,8	131221,31

Из полученных результатов, приведенных в таблице 5.18 следует, что затраты на внедрение разработки целесообразны, даже если жизненный цикл проекта был бы 4 года. Можно утверждать, что разработка полностью окупает себя и приносит значительную прибыль.

4.8.1 Срок окупаемости проекта

Срок окупаемости определяется как ожидаемое число лет, необходимое для полного возмещения инвестиционных затрат, год:

$$T_{OK} = T_{ЛЕТ} + \frac{S_{НЕВОЗ}}{P_{НАЛИЧН}} = 3 + \frac{161008,8}{(296079,16 - 161008,8) \cdot 0,987} = 4,208,$$

где, $T_{лет}$ – число лет, предшествующих году окупаемости;

$S_{невозм}$ – невозмещенная стоимость на начало года окупаемости;

$P_{наличн}$ – приток наличности в течении года окупаемости.

4.8.2 Чистый текущий дисконтированный доход

Метод чистого текущего дисконтируемого дохода (ЧТДД) основан на сравнении затрат с доходами по проекту, приведенным к текущей стоимости.

ЧТДД рассчитывается по формуле, руб.:

$$ЧТДД = ПД - ПР = 1163669,926 - 1023375 = 140294,9,$$

где ПД – суммарные приведенные доходы;

ПР – приведенные затраты на проект.

4.8.3 Ставка доходности (коэффициент рентабельности) проекта

Показатель является индексом, отражающим соотношение положительных и отрицательных денежных потоков по проекту, и рассчитывается по формуле:

$$СДП = \frac{ПД}{ПР} = \frac{1163669,926}{1023375} = 1,14,$$

Индекс доходности проекта должен быть больше единицы и означает, что проект даёт в течение всего периода эксплуатации мотор-редуктора 1,14 рубля с одного рубля инвестиций.

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем и преобразователем частоты, был проведен расчет коэффициента научно- технического уровня, который оказался довольно высоким,

что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Были рассчитаны издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово-предупредительные работы.

Выбранный электропривод является более экономически выгодным так как имеет более высокие эксплуатационные показатели в сравнении с заменяемым приводом. Это выражается в отсутствии быстроизнашивающихся частей (щёточный аппарат) и более современной элементной базе, позволяющей производить ремонт и обслуживание электропривода в разы быстрее. Так же, немаловажным является мощность привода, которая при тех же нагрузочных характеристиках составляет 7,5 кВт, что на 50% ниже заменяемого привода. Что напрямую влияет на возможность снижения эксплуатационных расходов.

Так же стоит отметить экономию электроэнергии, которая достигается путем регулирования электропривода, плавным пуском и возможностью регулировать частоту двигателя.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Кондаков Дмитрий Олегович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электропривод и электрооборудование (ЭПЭО)
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электропривод подкачивающего насоса 90К20, служащий для теплоснабжения жилого дома
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)	Основными вредными факторами являются: – Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); – Загазованность; – Шум; – Вибрация; – Отклонение показателей микроклимата; – Недостаточная освещенность рабочей зоны. Опасными факторами являются: – Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) движение производственного материала; в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна; – Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу	Анализ воздействия на литосферу: образование отходов, связанных с заменой комплектующих, с окончанием

(выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	срока эксплуатации данного оборудования.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень 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.	Разработка превентивных мер и действий во время ЧС, а также мер по ликвидации ее последствий для следующей ЧС: – Пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электромонтера по ремонту и обслуживанию электроустановок.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Кондаков Дмитрий Олегович		

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 соответствие с [18].

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ опасных и вредных факторов

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

- Поражение электрическим током;
- Поражение паром;
- Наличие вращающихся частей.

Так же присутствуют вредные факторы, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся:

- Повышенный уровень вибрации
- Недостаток естественного света
- Повышенная влажность
- Тепловое излучение
- Повышенная температура воздуха
- Повышенный уровень шума
- Повышенная скорость движения воздуха
-

5.1.2 Производственная санитария

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

При возникновении на насосной станции биологически опасных факторов, к которым относятся патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты) и продукты их жизнедеятельности, возможно заражение большого числа людей, поэтому помещения насосной станции должны находиться под санитарным контролем.

Насосные установки являются источниками шума. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровней звука на рабочих местах приведены в таблице 5.1. Согласно [22]

Таблица 5.1. – 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	22	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].

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 5.2

Таблица 5.2 – 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

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений указаны в таблице 5.3 [25]

Таблица 5.3 – 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

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать 22°С [30].

Таблица 5.4 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела, работающих от производственных источников.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового излучения, 2Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Для снижения влияния теплового излучения на обслуживающий персонал, выдается спецодежда, которая должна обеспечивать защиту от воздействия опасных производственных факторов, вызываемых тепловым излучением и конвективной теплотой, при соответствии условий работы, режима и охраны труда установленным требованиям. Материалы одежды не должны оказывать вредного воздействия на организм человека. Одежда должна иметь санитарно-эпидемиологическое заключение установленного образца о соответствии государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам [31].

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10 мг/м³.

Насосная установка относится к 3 категории вибрации - технологическая вибрация, которая воздействует на человека на рабочем месте. Источником вибрации служат: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечнопрессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности строительных материалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ). Болеют, как правило, мужчины среднего возраста. Вибрация может действовать как локально (например, на рабочие руки), так и на весь организм. Но в любом случае она способна к распространению, отражаясь на нервной и опорно-двигательной системе. Гасится вибрация благодаря эластическим свойствам мышц, связок, хрящей. Кроме того, от длительной вибрации страдает сердечно-сосудистая система и особенно - микроциркуляторное русло (мелкие сосуды, в которых идет непосредственная отдача кровью кислорода, и утилизация из тканей углекислого газа). Далее согласно[26] в таблице 5.5 приведены допустимые уровни вибрации для производственных помещений.

Таблица 5.5 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Для снижения воздействия вибрации на человека, изменяют конструкцию, в частности смещают её основные собственные частоты, при которых возможно возникновение резонанса, что достигается увеличением жесткости системы (за счет введения дополнительных ребер жесткости) или ее массы (например, усиление фундамента); Ещё один способ — это присоединение к объекту упругого подвешенного тела — динамический гаситель, который воспринимает вибрацию основного объекта (динамическое гашение вибрации);

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Данный объект относится ко 2 – ой категории опасности. Помещение можно охарактеризовать как сырое, в котором при нормальных условиях влажность временно может повышаться до насыщения, как, например, при резких изменениях температуры или при выделении большого количества пара.

Чтобы контролировать процесс работы насосной установки, на передней панели установленные светодиодные приборы индикации, продублированные звуковой сигнализацией, позволяющие вести наблюдение за режимами работы установки.

Т.к насосная станция состоит из вращающихся механизмов, то при их обслуживании существует вероятность соприкосновения с ними, а они в свою очередь могут нанести вред человеку. Для того чтобы свести влияние этого фактора к минимуму, на вращающиеся части механизмом устанавливают защитные кожухи, а так же проводят балансировку механизмов в соответствии с [19].

Техническая эксплуатация действующих электроустановок насосной станции осуществляется электротехническим персоналом в соответствии с ведомственными Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) и Правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ). Действующими называют электроустановки или их участки, которые находятся под напряжением или на которые напряжение можно подать включением коммутационных аппаратов (выключателей, отделителей, разъединителей и др.).

Обслуживание электроустановок насосной станции осуществляется административно-техническим, дежурным, ремонтным или оперативно-ремонтным электротехническим персоналом. Лица из числа дежурного и оперативно-ремонтного персонала должны пройти необходимую теоретическую подготовку, обучение на рабочем месте и проверку знаний ПТЭ и ПТБ. Оперативное обслуживание предусматривает периодические осмотры электрооборудования распределительных устройств, приборов релейной защиты и автоматики, кабельных и воздушных линий, а также производство необходимых оперативных переключений.

В процессе эксплуатации электроустановок насосной станции производятся работы, предусмотренные графиками планово-предупредительного ремонта действующего электрооборудования, профилактические испытания изоляции электрических машин, кабелей, наладка и проверка аппаратуры управления электроприводами, релейной защиты и автоматики и др., а также возможны внеплановые ремонты, ликвидация последствий аварий и п. т.

До начала работы на электроустановках насосной станции и в процессе ее выполнения необходимо выполнять организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность труда.

Работы в действующих электроустановках подразделяются в отношении принятия мер безопасности на три категории:

1. Со снятием напряжения с токоведущих частей.
2. Под напряжением на токоведущих частях с применением электрозащитных средств.
3. Без снятия напряжения на нетокведущих частях.

Для безопасного выполнения работ с полным или частичным снятием напряжения в электроустановках насосной станции необходимо выполнить следующие технические мероприятия:

1. Произвести отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы.

2. Вывесить на рукоятках коммутационных аппаратов запрещающие плакаты: *"Не включать - работают люди!"*.

3. Проверить наличие остаточного напряжения индикатором.

Насосная установка системы горячего водоснабжения включает в себя два насосных агрегата, два электродвигателя и шкаф электрооборудования, являющиеся источником опасности. Для обеспечения безопасной работы предусмотрена аварийная сигнализация и индикация режимов работы. Панель индикации передает следующую информацию: индикация наличия трехфазного напряжения на входе системы управления по фазам А, В, С; индикация состояния насосных агрегатов; индикация отказа САУ; индикация режима ручного управления.

Помещение насосной станции в соответствии [20] относится к сооружениям особой опасности. Данное сооружение имеет токопроводящие полы, более того существует возможность одновременного прикосновения к металлическим корпусам электрооборудования и заземленным конструкциям

В случае аварийной ситуации при работе электроустановок насосной станции возможно появление напряжения на металлических шкафах электрооборудования, электродвигателях и металлических частях пульта управления и других нетокопроводящих частях. Поэтому при прикосновении к металлическим установкам может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. В настоящее время в РФ действует [21], который распространяется на производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменного токов и устанавливает нормы предельно допустимых для человека значений напряжения прикосновения и токов, протекающих через его тело.

Контроль предельно допустимых уровней напряжения прикосновения и тока должен осуществляться измерениями этих величин в перечисленных местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

Для защиты обслуживающего персонала корпуса шкафов управления и прочего электрооборудования заземляются, а двигатели - зануляются.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия защитного заземления - снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус или другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала на заземленном оборудовании (за счет уменьшения сопротивления заземления), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

Защитное зануление - это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия зануления - превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (между фазным и нулевым проводником) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и автоматически отключить поврежденное электрооборудование от питающей сети. Схема защитного зануления приведена на рис. 5.1.

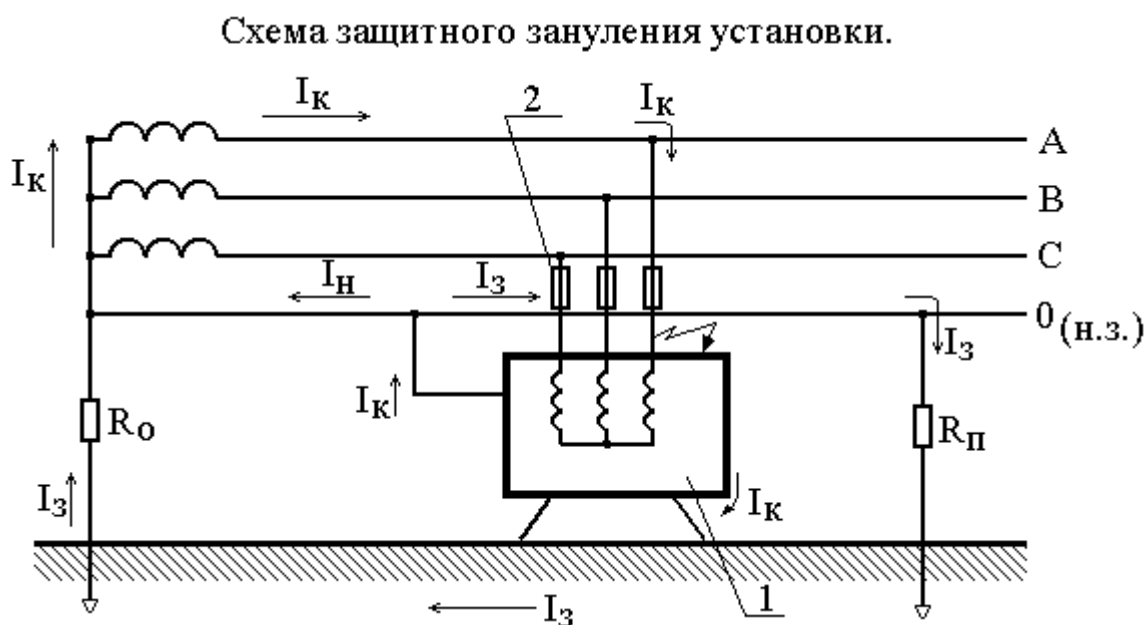


Рисунок 5.1 – Схема защитного зануления установки

1 – корпус;

2 – аппараты защиты от токов короткого замыкания (предохранители и автоматы);

R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока;

R_{Π} – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;

I_K – ток к.з.;

I_H – часть тока короткого замыкания, протекающая через нулевой проводник;

I_3 – часть тока короткого замыкания, протекающая через землю;

0 (н.з.) – нулевой защитный проводник.

Отключение поврежденной установки от питающей сети произойдет, если значение тока однофазного короткого замыкания (I_K), которое искусственно создается в цепи, будет больше значения тока срабатывания автоматического выключателя и выполняется следующее условие:

$$I_K \geq k \cdot I_{ном}$$

где k - коэффициент кратности тока, выбирается в зависимости от типа защиты электроустановки.

Для проверки обеспечения отключающей способности зануления необходимо проверить следующее условие:

$$I_{K2} \geq I_{K1}$$

где I_{K1} наименьшее допустимое значение тока короткого замыкания, I_{K2} - действительное значение тока однофазного короткого замыкания.

Нам необходимо определить:

- наименьшее допустимое значение тока (I_{K1}) короткого замыкания, при котором произойдет срабатывание защиты и поврежденное оборудование отключится от сети;
- действительное значение тока однофазного короткого замыкания, которое будет иметь место в схеме при возникновении аварии (I_{K2}).

Определим величину тока I_{K1} :

$$I_{K1} = k \cdot I_{ном} = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ A.}$$

где $I_{ном} = 50 \text{ A}$ - номинальный ток срабатывания автоматического выключателя.

Определим полное сопротивление петли "фаза-нуль":

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{H.A})^2 + (X_{\phi} + X_{H.A} + X_{\Pi})^2}$$

где $R_{\phi} = 0,9 \text{ Ом}$ (алюминий), $R_{н. а} = 0.154 \text{ Ом}$ (сталь). - активное сопротивление фазного и нулевого защитного проводников; $X_{\phi} = 0.015 \text{ Ом}$, $X_{н. а} = 0.154 \text{ Ом}$ - внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников; $X_{\Pi} = 0,02 \text{ Ом}$ - внешнее индуктивное сопротивление петли "фаза-нуль".

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{н.а})^2 + (X_{\phi} + X_{н.а} + X_{\Pi})^2} = \sqrt{(0,9 + 0,154)^2 + (0,015 + 0,154 + 0,02)^2} = 1,07 \text{ Ом}$$

Находим действительное значение тока однофазного короткого замыкания, проходящего в схеме в аварийном режиме:

$$I_{K2} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{\Pi}} = \frac{220}{\frac{0,12}{3} + 1,07} = 198,2 \text{ А}$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение, В;

Z_{Π} - полное сопротивление цепи "фаза-нуль", Ом;

Z_T - полное сопротивление трансформатора, Ом.

Сравним действительные (вычисленные) значения токов однофазного короткого замыкания (I_{K2}) с наименьшим, допустимым по условиям срабатывания защиты током (I_{K1}):

$$I_{K2} \geq I_{K1} \longrightarrow 198,2 > 62,5 \text{ А}$$

следовательно, отключающая способность системы зануления обеспечена и нулевой защитный проводник выбран правильно.

5.3 Экологическая безопасность

При эксплуатации объекта 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.

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. 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 экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода дутьевого вентилятора. Составлена смета на проведение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей, а также доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода. В разделе социальная безопасность 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

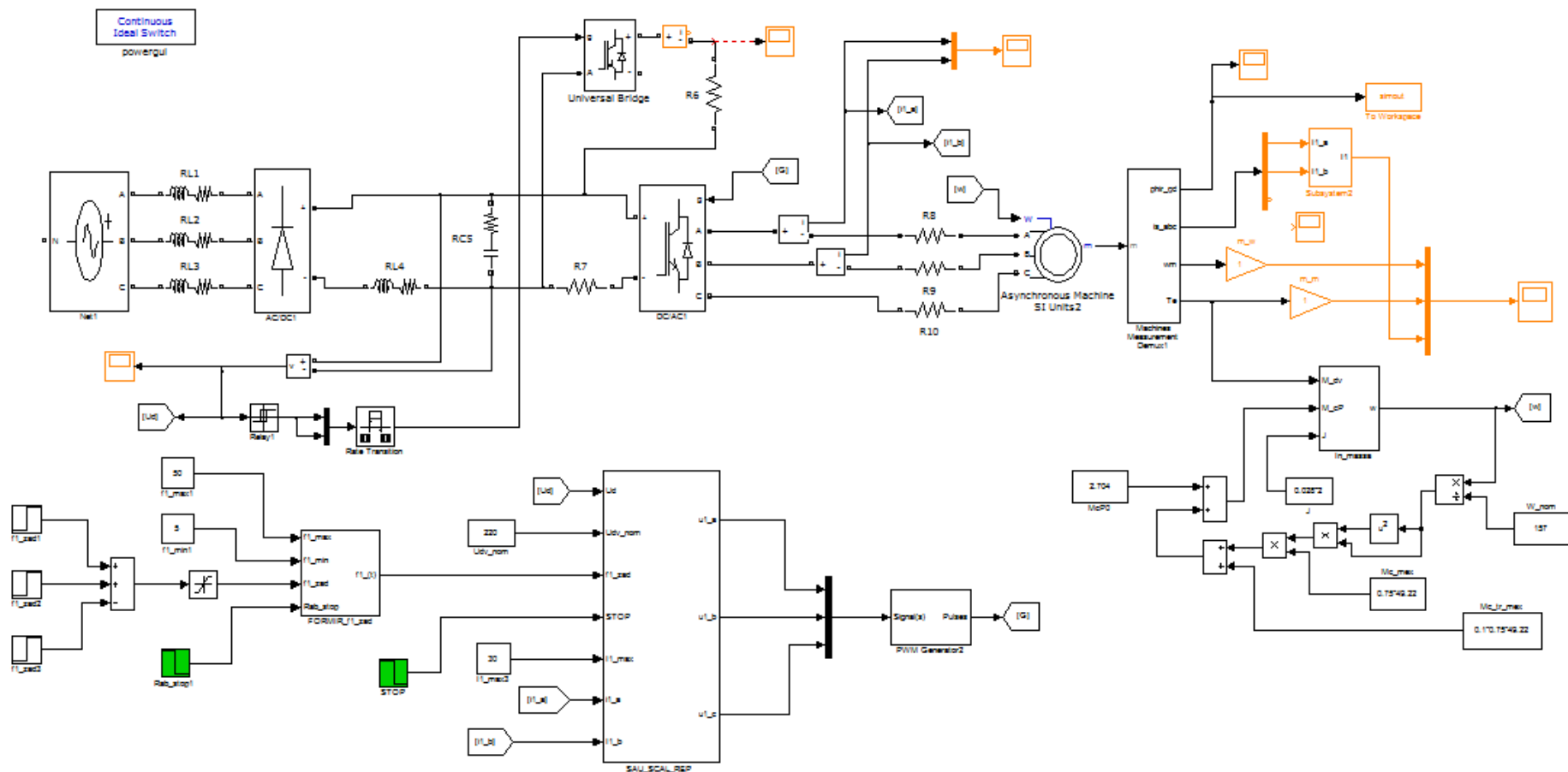
1. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
2. Алиев И. И. Электротехнический справочник. — М.: ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный 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. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
18. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
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

