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

Институт Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

УДК 628.12:62-83-523
Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3Б	Курмашев Рустем Наилевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Электропривода и электрооборудования	Тимошкин Вадим Владимирович	кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Нина Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	доктор технических наук профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра Электропривода и электрооборудования	Дементьев Юрий Николаевич	кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭПЭО
_____ _____ Дементьев Ю.Н
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	**ФИО**
5Г3Б	Курмашеву Рустему Наилевичу

Тема работы:

Автоматизированный электропривод насосной станции водоснабжения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1 Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая литература
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение: описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров схемы замещения электропривода; расчет статических и динамических характеристик; имитационное моделирование социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.

Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Потехина Нина Васильевна, старший преподаватель кафедры менеджмента
«Социальная ответственность»	Панин Владимир Филиппович, профессор кафедры ЭБЖ, д.т.н.

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

Не предусмотрено

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Электропривода и электрооборудования	Тимошкин Вадим Владимирович	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3Б	Курмашев Рустем Наилевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г3Б	Курмашеву Рустему Наилевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску* *Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ:* *Руководитель – 26 300 р.* *Инженер – 17 000 р.*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	*20 % надбавки* *16% накладные расходы* *30% районный коэффициент*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	*27,1 % отчисления на социальные нужды*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	*Анализ конкурентоспособности технического решения с позиции ресурсоэффективности*
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований* 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	*Формирование плана и графика разработки :* *-определение структуры работ;* *- определение трудоемкости работ;* *- разработка графика Ганта.* *Формирование бюджета затрат НИ:* *-заработная плата (основная и дополнительная);* *- отчисления на социальные цели;* *- амортизация на оборудование;* *- накладные расходы.*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)***:**	
1. *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений* 2. *Календарный план-график проведения научного исследования* 3. *Бюджет затрат на проектирование*	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Потехина Н.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3Б	Курмашев Р.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г3Б	Курмашеву Рустему Наилевичу

Институт	Энергетический (ЭНИН)	**Кафедра**	Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Описание рабочего места (территория ремонтно-механического цеха и понизительной подстанции) на предмет возникновения: *1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)* *1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)* *1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)* *1.4 чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)*	Территория ремонтно-механического цеха с главным объектом рассмотрения исследования-автоматизированный электропривод насосной станции водоснабжения. Необходимо поддержание: 1.1.Нормативных метеоусловий, уровней освещенности, вибрации и шума, электромагнитных полей; 1.2.Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности; 1.3.Нормативных мер при обращении с выбросами, сбросами и твердыми отходами из-за ремонта оборудования. 1.4.Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), поражение персонала электрическим током.
2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.	ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»; ГОСТ12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационнаябезопасность»; ГОСТ 12.1.005-88» Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава1.7.; №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681; Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: *1.1.физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;* *1.2.действие фактора на организм человека;* *1.3.приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);* *1.4.предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)*	Вредные факторы: 1.Шум: 2.Вибрации; 3.Возможные ненормативные метеоусловия и освещенность рабочих мест; 4. Электромагнитные поля
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	Опасные факторы: 2.1.Опасность электропоражения; 2.2.Опасность загораний (пожаров).

2.1.механические опасности (источники, средства защиты; *2.2.термические опасности (источники, средства защиты);* *2.3.электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);* *2.4.пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)*	
3. Охрана окружающей среды: *3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);* *3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);* *3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);*	Описание проектируемой системы обращения с выбросами, сбросами, твердыми отходами ремонтно-механического цеха.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: *4.1.перечень возможных ЧС на объекте;* *4.2.выбор наиболее типичных ЧС;* *4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;*	Возможные ЧС: загорание (пожар), электропоражения. Соблюдения техники безопасности Следовать плану эвакуации, вызвать пожарных. Разработать мероприятия по предупреждению загораний, электропоражений и ликвидации их последствий
5. *Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:* *5.1.специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;* *5.2.организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны*	Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. Использовать оборудования и мебель согласно антропометрическим данным.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2017

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Панин В.Ф.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3Б	Курмашев Р.Н..		

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

Институт Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭПЭО
_____ _____ Дементьев Ю.Н
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	**ФИО**
5Г3Б	Курмашеву Рустему Наилевичу

Тема работы:

Автоматизированный электропривод насосной станции водоснабжения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая литература
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение: описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров схемы замещения электропривода; расчет статических и динамических характеристик; имитационное моделирование социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92 страниц, 33 рисунка, 25 таблиц, 31 источника.

Ключевые слова: насосная станция, тиристорный регулятор напряжения, насос, асинхронный электропривод, моделирование.

Объектом исследования является асинхронный электропривод центробежного насоса ЦМЛ 300/340-30/6

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработка автоматизированного электропривода насосной станции водоснабжения с применением современных технических решений для обеспечения экономии электрической энергии и регулирование электропривода при изменении режима работы.

В процессе исследования проводились выбор асинхронного электродвигателя, расчет параметров двигателя, естественных статических характеристик, выбор тиристорного регулятора напряжения, расчет искусственных характеристик электропривода, а также было произведено имитационное моделирование асинхронного электропривода по системе тиристорный регулятор напряжения.

ВКР выполнена в текстовом редакторе MS Word 2013. Расчеты производились при помощи вычислительного ПО MathCAD 15 и MATLAB 7.12 2011a.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 12
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ 14
1.1 Анализ технологического процесса и задачи регулирования 14
1.2 Описание и технические характеристики насосной установки 16
1.3 Конструктивныы особенности центробежных насосов водоснабжения 18
1.4 Основные требования предъявляемые к центробежным насосам 21
1.5 Анализ способов пуска асинхронного двигателя 22
1.5.1 Прямой пуск двигателя 23
1.5.2 Пуск переключением соединения звезда-треугольник 24
1.5.3 Пуск с использованием преобразователя частоты 25
1.5.4 Пуск с использованием устройства плавного пуска 26
1.6 Обоснование тиристорного регулирования электропривода насоса 27
2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ-АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ 29
2.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор 29
2.2 Расчет параметров двигателя 31
2.2.1 Расчет естественных характеристик электродвигателя 31
2.2.2 Расчет механических характеристик электропривода 40
2.3 Расчет и выбор основных силовых элементов регулируемого электропривода 45
2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты 47
2.4.1Выбор магнитного пускателя 47
2.4.2 Выбор автоматического выключателя 49
2.4.3 Выбор плавких предохранителей 50
2.5 Расчет и выбор типа и сечения кабеля высокого напряжения и кабеля для вспомагательного напряжения 50
2.6 Оценка надежности электропривода 51
3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ. 53

3.1Математическая модель асинхронного двигателя 53
3.2Имитационная модель СИФУ тиристорного регулятора напряжения 56
3.3Исследование динамики асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения 60
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ 65
4.1 Анализ конкурентных технических решений 65
4.2 Планирование работ по проектированию 66
4.2.1 Структура работ в рамках проектирования 66
4.3 Определение трудоемкости работ 68
4.3.1 Разработка графика проведения проектирования 68
4.4 Бюджет затрат на проектирование 72
4.4.1 Расчет материальных затрат на проектирование 72
4.4.2 Затраты на заработную плату исполнителей темы 72
4.4.3 Отчисления в социальные фонды 74
4.4.4 Амортизация 74
4.4.5 Накладные расходы 75
4.4.6 Формирование бюджета затрат на проектирование 75
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 77
5.1 Анализ вредных факторов 78
5.2. Шум 78
5.2.1 Вибрация 79
5.2.2 Недостаток естественного света 81
5.2.3 Микроклимат 82
5.3. Анализ опасных факторов 84
5.3.1 Электропоражение 84
5.3.2 Загорание (пожар) 85
5.4 Защита окружающей среды 86
5.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий 89
5.5.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС 89

5.5.2 Электропоражение как источник ЧС 90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 92
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ 93

ВВЕДЕНИЕ

В сфере жилищно-коммунального хозяйства и в промышленности до 60% расхода электроэнергии потребляется электродвигателями. Основная доля потребления электроэнергии приходится на долю электроприводов систем насосов, вентиляторов, компрессоров и других подобных систем с периодической нагрузкой.

Постоянный рост цен на электроэнергию и другие аспекты приводят к тому, что общая стоимость затрат на эксплуатацию электроустановок стала несравнимо значительной. В связи с данной проблемой жилищно-коммунальные хозяйства и предприятия ставят перед собой задачу рационального энергосбережения т.е. снижения расходов на электроэнергию. Произведя анализ на расходы электроэнергии на обилии хозяйств и предприятий можно сделать вывод, что данную задачу можно решить следующими способами: организационно-техническими мероприятиями для исключения бесполезных расходов электроэнергии, а также применением энергосберегающих технологий и энергоэффективного оборудования, позволяющих с меньшими затратами электроэнергии производить один и тот же объём работы.

Электрический привод – это основная энергосиловая часть любого современного хозяйства либо производства, предприятия. Большую часть среди всех применяемых электроприводов занимают электроприводы с использованием асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Наряду с другими электродвигателями асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором обладает простотой конструкции и относительно доступной стоимостью, благодаря данным параметрам они приобрели свою популярность в различных механизмах. Недостатками асинхронного электродвигателя являются: тяжелый пуск при прямом подключении к питающей сети (6-7 кратные пусковые токи), а также затруднительное регулирование скорости вращения.

Асинхронные двигатели широко применяются в различных отопительных системах, насосных станциях водоснабжения, и в других системах различных хозяйств, предприятий..

Асинхронные двигатели потребляют не менее 25% всей производственной электроэнергии.[1]

Низкий КПД большинства систем водоснабжения и насосного оборудования в частности приводит к значительному уровню расхода электроэнергии.

Большинство приводов различных насосных установок являются нерегулируемыми, и это не может благоприятствовать рациональному энергопотреблению при различных изменениях техпроцесса.

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработка автоматизированного электропривода насосной станции водоснабжения жилого здания с использованием современных технических решений для обеспечения экономии электроэнергии и регулирование электропривода при изменении режима работы.

Объект исследования является автоматизированный электропривод насосной станции водоснабжения на базе системы <<ТРН-АД >>тиристорный регулятор напряжения – асинхронный электропривод>>.

В процессе выполнения работы я опирался на методы: теоретического анализа, изучение технической литературы и научных статей, а также моделирования.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- изучение и анализ технического процесса водоснабжения;
- по теме произвести анализ технической литераты;
- произвести принцип управления и его технико-экономическое обоснование;
- произвести целесообразный выбор электропривода, обеспечивающего работоспособность установки;

- произвести расчет статических характеристик электропривода;
- исследовать регулирование асинхронного электропривода насоса;
- выполнить математическое моделирование в компьютерной среде Mathlab.

1 Технологический процесс насосной станции водоснабжения

1.1 Анализ технологического процесса и задачи регулирования

Насосная станция (НС) – это сложный электрогидравлический комплекс, предназначенный для преобразования электроэнергии в механическую энергию электропривода насоса, в свою очередь который приводит в движение поток жидкости под управлением процесса преобразования.

Насосные станции в свою очередь классифицируются на станции первого, второго, третьего и следующих подъемов, а также и канализационные:

- Насосная станция первого подъема предназначены для подачи воды из источника водоснабжения непосредственно в сеть или на очистные сооружения
- Насосная станция второго подъема служит для подачи очищенной воды из резервуаров в водоводы и распределительную сеть
- Канализационные насосные станции служат для перекачки и очитски дренажных стоков из подземных строений, также служат при чрезвычайных и аварийных ситуациях.

Базовым элементом насосной станции является установка, которая, как правило, содержит один или несколько насосов, различную запорную арматуру, нагнетательную и всасывающую систему водоводов, и ряд датчиков контролирующих технологические параметры установки.

При изменяющихся условиях работы (срабатывание датчиков ,падение или увеличение давления), для обеспечения необходимых режимов работы

насосной установки требуется регулирование режима работы. Задача регулирования режима может быть осуществлена двумя способами:

1) Регулировкой гидравлического режима работы насосов.

- Дросселирование трубопровода;
- Перепуск части выходного потока на вход;

2) Регулировкой энергоэффективности работы электропривода.

- Изменение частоты вращения рабочих колес насоса;

Значительная часть затраченной электроэнергии при регулировании гидравлических режимов насосов расходуется циркуляцию воды в «холостую» или на тепло, что ведет к снижению КПД насосного агрегата. Обеспечение непрерывного и качественного напора при ступенчатом регулировании насосной станции невозможно, это связано с частотой пусков двигателей и их работы не в оптимальном режиме. Это все приводит к значительному снижению КПД всей насосной станции.

Регулирование частоты вращения рабочих колес насосов позволяет непрерывно выполнять регулировку производительности насосной установки с наименьшими затратами электроэнергии, по сравнению с другими способами регулирования. Тем не менее данный способ требует значительные затраты на регулирующее оборудование, но удорожание электроэнергии и дешевеющее регулирующее оборудование делают данный способ экономически привлекательным и перспективным.

Также существует комбинированный способ регулирования. Один из оптимальных вариантов – это ступенчатое регулирование с изменением частоты вращения рабочих колес насосов, при помощи тиристорного регулятора напряжения, который в свою очередь имеет рядом преимуществ, одним из которых является плавный пуск и мягкая остановка.

1.2 Описание и технические характеристики насосной установки

На рисунке 1 представлена насосная установка . Функция данной насосной установки состоит в перекачивании и повышении давления чистой воды. Представленная установка подходит для применения в высокоэтажных домах, гостиницах, больницах, школах и других учреждениях. В состав данной насосной установки входят 2 или 3 насоса на общей раме, установленные через виброизолирующие опоры. Рама–основание в свою очередь снабжена необходимой арматурой, манометром и гидробаком.

Рисунок 1 – Внешний вид насосной установки

На раме насосной установки установлен блок выключателей с главным выключателем и предохранителями. В оборудование насосной установки также входят датчики давления для защиты от сухого хода. Насосная установка позволяет регулировать производительность в соответствии с уровнем потребления воды и поддерживать постоянное давление путем:

- Подключение или отключения необходимого количества насосов;

- Плавного изменения частоты вращения работающих насосов;

В зависимости от уровня нагрузки, времени эксплуатации и возможной неисправности того или иного насоса система управления позволяет подключать или отключать соответствующие насосы.

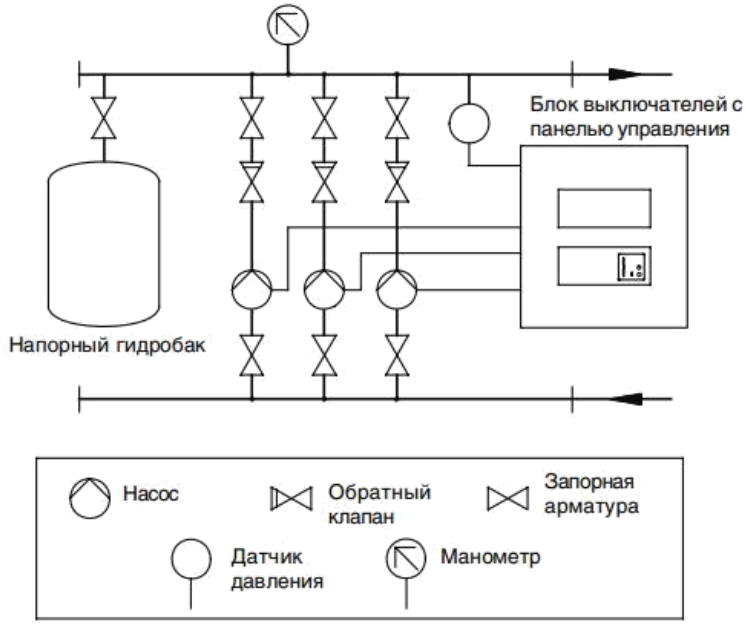

Рисунок 2 – Функциональная схема насосной установки.

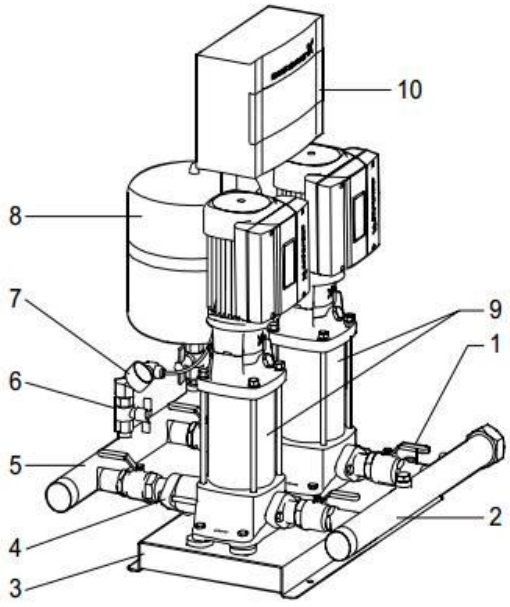

Рисунок 3 – Конструкция насосной установки:

Конструкция насосной установки состоит: 1-запорная арматура, 2-всасывающий коллектор, 3-рама-основание, 4-обратный клапан, 5-напорный коллектор, 6-вентиль, 7-манометр, 8-диафрагменный бак, 9-насосы, 10-электрошкаф с системой управления.

Техническими параметрами установки являются: мощность насосов; напор; производительность; максимальное рабочее; рабочее давление.

1.3 Конструктивные особенности центробежных насосов водоснабжения

Насос- это гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, которая в свою очередь служить для создания давления и перемещения жидкости[6].

По принципу работы насосы классифицируются на динамические и объемные. В динамических насосах жидкость движется под силовым воздействием в камере постоянного объема, сообщающейся с подводящими и отводящими устройствами.

Передвижение в объемных насосах происходит путем всасывания и вытеснения жидкости за счет циклического изменения объема в рабочих полостях при движении поршней, пластин, диафрагм.

Динамические насосы подразделяются на струйные и лопастные насосы, к вытеснительным относятся – роторные и поршневые.

Работа насоса характеризуется следующими величинами:

- Производительность ***Q*** – объем жидкости перекачиваемый насосом в трубопровод за единицу времени.
- Напор ***H*** – приращение механической энергии единицы массы жидкости между его выходом и входом
- Мощность ***P*** – полная энергия, подводимая к насосу в единицу времени.

Лопастные насосы в свою очередь подразделяются на: центробежные, центробежно-шнековые, консольные, осевые и др.

Центробежные насосы являются наиболее распространенные среди динамических машин. Центробежные насосы широко используются в следующих системах: водоснабжения, водоотведения, теплоэнергетике, в атомной и химической промышленности, а также в авиационной и ракетной технике.

Центробежный насос состоит из корпуса и расположенного внутри жестко закрепленного колеса, состоящего из двух дисков, с закрепленными между ними лопастями. корпус в свою очередь имеет спиральную форму. Лопасти отогнуты от радиального направления в сторону противоположную той, в какую направлено вращение колеса. Соединение насоса с трубопроводами, напорным и всасывающим, производится через патрубки[5].

Принцип работы центробежных насосов заключается в следующем: рабочее колесо приводится во вращение после наполнения камеры водой. Жидкость поступает к рабочему колесу через всасывающий патрубок вдоль оси вращения и направляется в канал между лопастями. Центробежная сила возникающая при его вращении выталкивает жидкость от центра колеса к его переферии, так как в центральной части возникает разряжение. Там создается повышенное давление, которое начинает вытеснять жидкость в напорный трубопровод. Понижение давления в центре рабочего колеса вызывает поступление жидкости в насос через всасывающий водопровод. Таким образом, всасывание и подачи жидкости происходит непрерывно вследствие преобразования кинетической энергии потока в потенциальную давления.

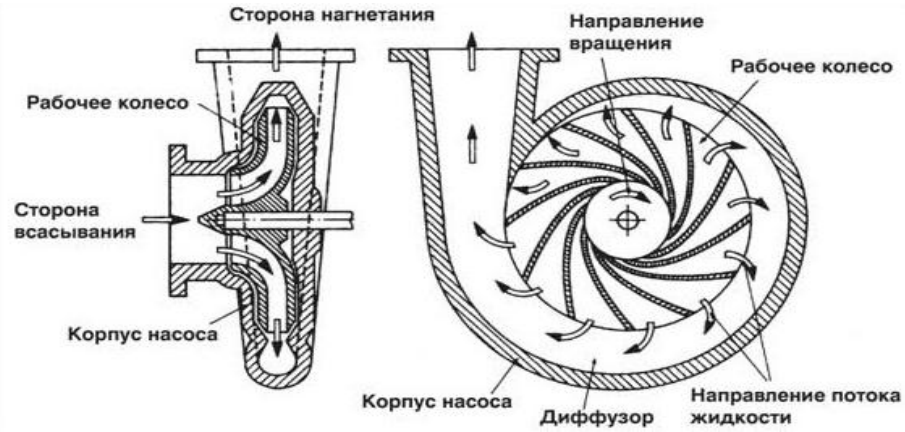

Рисунок 4 – Центробежный насос

Центробежные насосы бывают одноступенчатыми (с одним рабочим колесом), но и многоступенчатыми (с несколькими рабочими колесами).

Принцип их действия одинаков. Жидкость будет перемещаться под действием центробежной силы, которая развивается за счёт вращающегося рабочего колеса насоса.

Классификация центробежных насосов:

- По количеству ступеней (колёс);
- По расположению оси колёс в пространстве (горизонтальный, вертикальный);
- По давлению (низкого давления –до 0,2 Мпа, среднего – от 0,2 до 0,6 МПа, и высокого – более 0,6 Мпа);
- По способу подвода жидкости к рабочему колесу (с односторонним или двусторонним входом – двойного всасывания);
- По способу разъёма корпуса (с горизонтальным или вертикальным разъёмом);
- По способу отвода жидкости из рабочего колеса в канал корпуса (спиральный и лопаточный);
- Коэффициенту быстроходности (тихоходные, нормальные, быстроходные);

- Функциональному назначению (водопроводные, канализационные, пожарные, химические, щелочные, нефтяные, землесосные, терморегулирующие космические и т.д.);
- Способу соединения с двигателем: приводные (с редуктором или со шкивом) или соединения с электродвигателем с помощью муфт, которые подразделяются на магнитные муфты, муфты упругие, другие типы муфт
- Способу расположения насоса относительно поверхности жидкости: поверхностные, глубинные, погружные.

1.4 Основные требования предъявляемые к центробежным насосам

Насосами являются механизмами с режимами длительной нагрузки с большим количеством часов работы в году и малым числом включений. Нагрузка на валу приводного двигательная умеренная, без перегрузок. Необходимый диапазон частоты регулирования как правило не должен превышать 2.

Нагрузка механизма на валу носит вентиляторный характер, т.е. статический момент сопротивления на валу механизма пропорционален квадрату скорости.

Электропривод с центробежным насосом должен функционировать в условиях относительно высоких температур и повышенной влажности, а также иметь максимально возможные показатели надежности. В данных условиях целесообразным является использование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, получающего питание от тиристорного регулятора напряжения (ТРН). Асинхронный двигатель с КЗ ротором отличается простотой, надежностью, отсутствием контактных соединений (щеток), относительно дешевой стоимостью, ТРН обеспечивает эффективный

плавный пуск двигателя, имеет небольшие массогабаритные показатели, а также значительно меньшую стоимость в сравнении с ПЧ.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать требования к электроприводу с центробежным насосом. Электропривод должен обеспечивать:

- Диапазон регулирования 3:1;
- Перегрузочную способность не менее 1,5;
- Плавный пуск насосного агрегата и разгона до заданной скорости;
- Торможение выбегом;
- Климатическое исполнение УХЛ;
- Степень защиты IP44

Таким образом можно выделить следующие значительные преимущества системы ТРН-АД перед другими системами электропривода при использовании в насосной установке: надежность и простота двигателя; отсутствие контактных соединений в двигателе; относительно низкая стоимость; качественное регулирование скорости; экономичность.

1.5 Анализ способов пуска асинхронного двигателя

Существует разнообразие способов пуска асинхронного электродвигателя, основными из которых являются: прямой пуск, изменение числа пар полюсов, использование системы с преобразователем частоты, а также система плавного пуска с использованием тиристорного регулятора напряжения. В ходе данного раздела рассмотрим наиболее часто используемые способы пуска асинхронных электродвигателей.

Требования к пуску асинхронного электродвигателя:

1. При пуске АД должен развивать достаточно большой пусковой момент, чтобы ротор мог прийти во вращение и достичь номинальной частоты вращения
2. Пусковой ток должен быть ограничен таким значением, чтобы не произошло повреждение двигателя и нарушение нормального режима работы сети.
3. Схема пуска должна отличаться простотой, а количество и стоимость пусковых устройств относительно малыми

1.5.1 Прямой пуск двигателя

Прямой пуск остается одним из самых распространённых способов пуска асинхронного электродвигателя. Пусковое оборудование состоит из главного контактора и теплового реле или электронного реле перегрузки. Недостатком данного способа пуска является высокое значение пускового тока, по сравнению с другими способами. Величина пускового тока превышает величину номинального тока в 6-7 раз. Также помимо пускового тока возникает импульсный ток, который в свою очередь в 14 раз превышает номинальный, поскольку напряжение на двигателе в момент пуска отсутствует. Эти величины зависят от размера и конструкции двигателя, при этом мощные двигатели имеют большие относительные пусковой и импульсный токи.

При прямом пуске также весьма велик стартовый крутящий момент, и в большинстве случаев больше необходимого. Крутящий момент эквивалентен силе, а чрезмерные усилия ведут к ненужным перегрузкам трансмиссии и приводимых механизмов. Тем не менее есть ситуации, когда этот метод пуска прекрасно работает и более того, является единственно возможным.

1.5.2 Пуск переключением соединения звезда-треугольник

Пуск переключением соединения звезда-треугольник уменьшает пусковой ток, а также стартовый крутящий момент. Пусковое оборудование обычно состоит из трех контакторов, реле перегрузки и таймера, задающего время нахождения в состоянии соединения звездой (пусковое положение). Двигатель должен в нормальном режиме работы иметь соединение треугольником, чтобы данный способ мог использоваться.

В этом случае пусковой ток составляет около 30% от пускового тока, возникающего при прямом пуске, а стартовый крутящий момент будет на 25% меньше стартового крутящего момента, возникающего при пуске прямой подачей напряжения. Этот способ пуска применим только при небольшой нагрузке со стороны приводимого механизма во время пуска. Если электродвигатель нагружен сильно, крутящий момент может оказаться недостаточным для разгона до скорости, при которой будет производиться переключение на треугольник. Например, при пуске вентиляторов или насосов крутящий момент незначителен в начале работы и возрастает пропорционально квадрату скорости. При достижении 80-85% от номинальной скорости двигателя крутящий момент нагрузки будет равен крутящему моменту двигателя и разгон прекратится. Для достижения номинальной скорости необходимо переключение на треугольник, что зачастую приводит к возникновению пиковых нагрузок в трансмиссии и пиковых токов. Существуют некоторые случаи, когда пиковый ток может превысить пусковой ток, возникающий при прямом пуске. Если же в момент пуска крутящий момент превышает 50% от номинального крутящего момента двигателя, пуск с помощью переключения соединения звезда-треугольник становится невозможным.

1.5.3 Пуск с использованием преобразователя частоты

В настоящее время наиболее эффективным способом пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является пуск с использованием преобразователя частоты.

Преобразователь частоты (ПЧ) состоит из двух основных блоков. Первый преобразует напряжение переменного тока в постоянный ток, а второй преобразует напряжение постоянного тока обратно в переменное, но с регулируемой частотой 0-250 Гц. Поскольку скорость вращения двигателя зависит от частоты, это позволяет управлять скоростью работы двигателя путем изменения частоты напряжения на выходе ПЧ, что является большим преимуществом, если требуется регулирования скорости вращения двигателя.

В большинстве случаев ПЧ используется только для пуска и остановки электродвигателя, несмотря на то, что скорость двигателя не нужно регулировать во время обычной работы. Безусловно, это требует использование более дорогого оборудования, чем необходимо.

Благодаря управления частотой, номинальный крутящий момент может быть достигнут на низкой скорости, при этом пусковой ток составляет 1-1,5 от номинального тока двигателя. Другой полезной функцией является мягкая остановка, которая, например, необходима для остановки насосов, когда при обычной остановке может возникнуть проблема водяного удара в трубопроводе. Функция мягкой остановки также полезна при остановке ленточных конвейеров при транспортировке хрупких материалов, которые могут быть повреждены при резкой остановке ленты.

Как правило вместе с преобразователем частоты устанавливаются фильтры, чтобы уменьшить уровень излучений и генерируемых гармоник.

1.5.4 Пуск с использованием устройства плавного пуска

Для ряда механизмов рекомендуется использование плавного увеличения момента двигателя в процессе разгона или плавное уменьшение в процессе торможения. Решить данную проблему рекомендуется использованием пусковых устройств, которые позволяют избежать бросков тока и момента и снизить нагрузки на сеть и механическую часть двигателя. Одним из которых является устройство плавного пуска.

Устройство плавного пуска имеет характеристики, отличающиеся от остальных способов пуска. Данное устройство содержит тиристоры в основном контуре, а напряжение на двигателе регулируется за счёт установленной в корпусе печатной платы. В основе работы устройства лежит принцип, что при малом напряжении на двигателе пусковой ток и крутящий момент также малы

На первом этапе запуска напряжение, подаваемое на двигатель настолько мало, что позволяет только выбрать зазоры в редукторах или натянуть приводные ремни или цепи. Иными словами, это позволяет избежать ненужных рывков при пуске.

Одним из преимуществ этого метода пуска является возможность точной регулировки крутящего момента, независимо от того, есть ли нагрузка приводимого механизма. Достичь полного стартового крутящего момента можно, однако существенным отличием является более бережное отношение к приводимому механизму, что в результате выражается в снижении затрат на техобслуживание.

Также функцией устройства плавного пуска является мягкая остановка, которая полезна при остановке насосов, вентиляторов, если при использовании систем пуска с переключением звезда-треугольник или прямой подачи напряжения возникают ударные нагрузки в трубопроводах.

Функция мягкой остановки также может использоваться при остановке ремней конвейеров для предохранения материалов от повреждений, которые могут возникнуть при резкой остановки ленты.

1.6 Обоснование тиристорного регулирования электропривода насоса

Существует разнообразие способов пуска асинхронного электродвигателя, основными из которых являются: прямой пуск, изменение числа пар полюсов, использование системы с преобразователем частоты, а также система плавного пуска с использованием тиристорного регулятора напряжения.

Прямой пуск двигателя в системе водоснабжения нецелесообразен, так как при включении двигателя на прямую в питающую сеть имеются большие скачки токов и отсутствует возможность регулирования скорости.

Изменение числа пар полюсов помогает реализовать регулирование скорости исключительно ступенчато и достигается переключением статорной обмотки. Имеются следующие два способа организации такого управления скоростью: в пазах ротора укладываются несколько обмоток, имеющие разное число пар полюсов; использование специальной обмотки, позволяющей получить разное число пар полюсов путем изменения схемы соединения. Этот способ может быть оправдан, так как при переключении сохраняется КПД и коэффициент мощности и установки, но существенным недостатком являются массогабаритные показатели, а также существенным недостатком являются массогабаритные показатели, а также существенное усложнение конструкции двигателя, сложность коммутационных устройств и как следствие- увеличение стоимости.

Системы с преобразователем частоты (ПЧ) и тиристорным регулятором напряжения (ТРН) могут рассматриваться как одинаково

эффективные. В наше время ПЧ считается наиболее эффективным и перспективным, имеет достаточно небольшие и массогабаритные показатели, достаточно высокое значение КПД, а также широкий диапазон регулирования. Однако их существенным недостатком является стоимость.

В случаях водоснабжения, система с тиристорным регулятором напряжения имеет явное преимущество, так как крайне эффективно проявляет себя при использовании в установках, которые не требуют большого диапазона регулирования (насосы), но нуждаются в безударном пуске[7]. Поскольку, как говорилось выше, прямой пуск, особенно мощных двигателей, приводит к уменьшению напряжения и появлению ударных токов в сети, что негативно сказывается на работе иных потребителей электроэнергии и может привести к аварии. ТРН обеспечивает эффективный плавный пуск двигателя, имеет небольшие массогабаритные показатели, а также значительно меньшую стоимость в сравнении с ПЧ. Именно поэтому система ТРН-АД будет принята за основу в данной работе и будет использоваться как устройство плавного пуска.

2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ-АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

2.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Исходные данные к работе представлены в табл. 1

Таблица 1 - Исходные данные

Производительность, $м^3/с$	Напор, м	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД насоса	КПД передачи	Плотностяь перекачиваемой жидкости, $кг/м^3$
0,14	10,6	1450	0,75	1,0	1000

Для насоса необходимая мощность определяется по формуле:

$$P_B = K_з \cdot P_{нас} = K_з \cdot \frac{Q \cdot P_н}{\eta_н \cdot \eta_п} \cdot 10^{-3} = K_з \cdot \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot q}{\eta_н \cdot \eta_п} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1{,}15 \cdot \frac{0{,}14 \cdot 10{,}6 \cdot 1000 \cdot 9{,}81}{0{,}75 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 22{,}32 кВт$$

$$P_Н \geq P_{расч} = 22{,}32 кВт$$

где,

$K_з$ – коэффициент запаса;

$P_{нас}$ – мощность насоса (гидравлическая), кВт;

$P_н$ – давление на напоре насоса, Па;

$Q_{на}$ – производительность насоса, $м^3/с$;

H – полный напор жидкости, м;

p – плотность перекачиваемой жидкости, $кг/м^3$;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

$\eta_{на}$ – КПД насоса;

η_n – КПД передачи;

Из каталога [10] выбираем двигатель АИР180М4 с номинальной мощностью $P_H = 30$ *кВт* представленные в Таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные двигателя АИР180М4

$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$, об/мин	КПД, %	Коэф. мощности	$I_{ном}$, А	$M_{пуск}$ $M_{ном}$	$I_{пуск}$/ $I_{ном}$	$M_{макс}$ $M_{ном}$	$M_{мин}$/ $M_{ном}$	J, кг·м2	Масс ,кг
30	1470	91,5	0,87	57,3	1,7	7	2,6	1,3	0,20	175

Технические данные двигателя основного исполнения, степень защиты IP 54, класс нагревостойкости изоляции «F».

Из каталога [11] выбирается насос, ЦМЛ 300 / 340 -30/6, по номинальной мощности электродвигателя АИР 180 М4. Центробежный моноблочный насос ЦМЛ 300 / 340 -30/6 имеет следующие параметры представленные в Таблице 3.

Таблица 3- Технические характеристики насоса ЦМЛ 300 / 340 -30/6

Тип насоса	Подача, $м^3/ч$,	Напор, м	Макс. потребляемая мощность насоса, кВт	Частота вращения, (об/мин)
ЦМЛ 300 /340 - 30/6	600	12,5	30	1450

2.2 Расчет параметров двигателя

2.2.1 Расчёт естественных характеристик электродвигателя

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 1500}{30} = 157{,}08 \; рад / с.$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{дв.н} = (1 - S_н) \cdot n_c = (1 - 0{,}02) \cdot 1500 = 1470 \; об / мин.$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{дв.н} = (1 - S_н) \cdot \omega_c = (1 - 0{,}02) \cdot 157{,}08 = 153{,}93 \; рад / с.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв}}{\omega_{дв.н}} = \frac{30000}{153{,}93} = 194.88 \; Н \cdot м.$$

Тогда номинальный фазный ток:

$$I_{фн} = \frac{P_{дв}}{m \cdot U_ф \cdot \cos\varphi_н \cdot \eta_н} = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}915} = 57{,}1 \; А.$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 5.

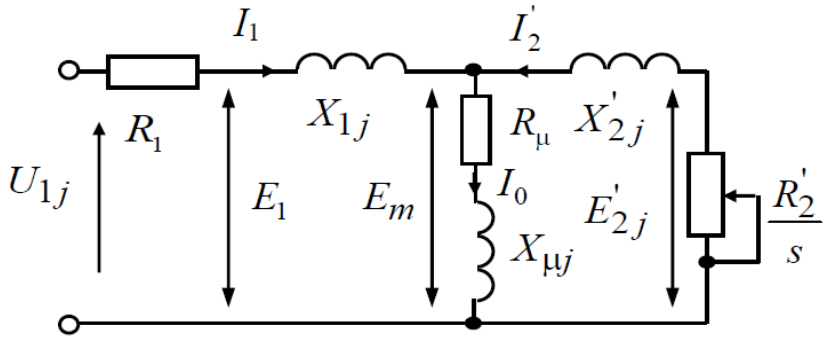

Рисунок 5 - Схема замещения асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведённой на рисунке 6.

Коэффициент мощности при частичной загрузке:

$$\cos\varphi_{p^*} = 0,98 \cdot \cos\varphi_н = 0,95 \cdot 0,87 = 0,853,$$

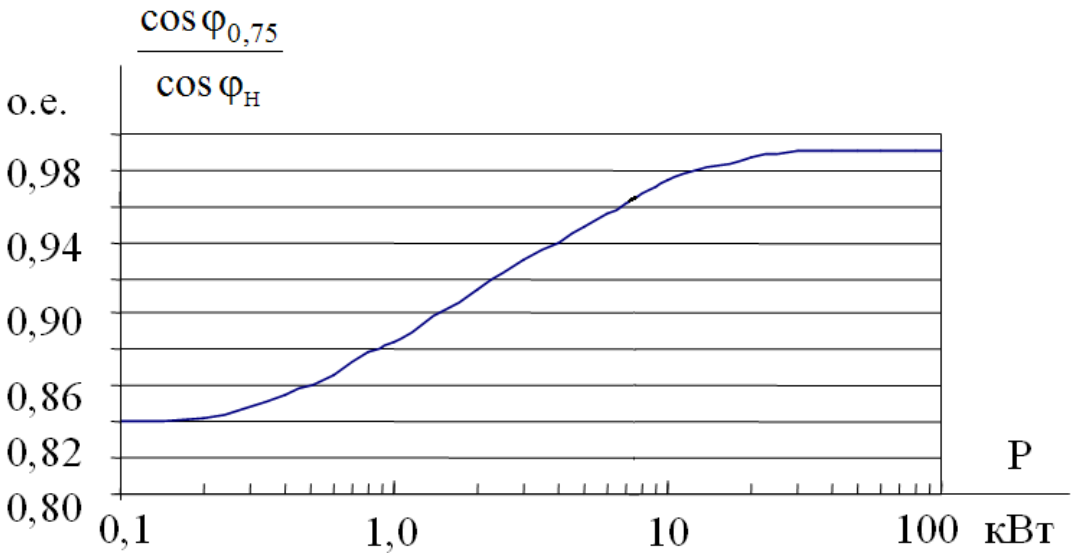

Рисунок 6 – Зависимость $\cos\varphi_{0,75} / \cos\varphi_н$ от мощности асинхронных двигателей

Коэффициент загрузки двигателя принимаем $p^* = 0,75$ из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей.

Тогда ток статора двигателя при частичной загрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{дв}}{m \cdot U_ф \cdot \cos\varphi_{p^*} \cdot \eta_н} = \frac{0,75 \cdot 30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,915} = 43,699\ A.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{{I_{11}}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{фн} \cdot (1 - S_н)}{1 - p^* \cdot S_н}\right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_н)}{1 - p^* \cdot S_н}\right)^2}} = \sqrt{\frac{43,699^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 57,1 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02}\right)^2}} = 14,578\ A$$

.

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{кр.} = S_н \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{{k_{\max}}^2 - \left(1 - 2 \cdot S_н \cdot \beta \cdot \left(k_{\max} - 1\right)\right)}}{1 - 2 \cdot S_н \cdot \beta \cdot \left(k_{\max} - 1\right)} =$$

$$= 0,02 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - \left(1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot \left(2,6 - 1\right)\right)}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot \left(2,6 - 1\right)} = 0,107\ о.е,$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$

Момент критический двигательного режима:

$$M_{кр.} = \frac{m \cdot {U^2}_{1ф}}{2 \cdot \omega_н \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{{R^2}_1 + {X^2}_k}\right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 153.93 \cdot 1,018 \cdot \left[0,087 + \sqrt{0,087^2 + 0,804^2}\right]} = 517,257\ Н \cdot м.$$

Критическое скольжение:

$$S_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{{R^2}_1 + {X^2}_k}} = \pm \frac{0,135}{\sqrt{0,138^2 + 0,944^2}} = \pm 0,142.$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_н = 2,6 \cdot 194.88 = 506,688\ Н \cdot м.$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_н = 1,3 \cdot 194.88 = 253,344\ Н \cdot м.$$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{фн}} = 1 + \frac{14,578}{2 \cdot 7 \cdot 57,1} = 1,018,$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_ф^{\,2} \cdot (1 - S_н)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{дв}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 0,107 \cdot 2,6 \cdot 30000} = 0,896.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{кр}}\right) \cdot C_1} = \frac{0,896}{\left(1 + \frac{1}{0,107}\right) \cdot 1,018} = 0,085 \ Ом.$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,018 \cdot 0,085 \cdot 1 = 0,087 \ Ом.$$

Параметр γ, для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{кр}^{\,2}} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,142^2} - 1^2} = 9,281;$$

$$X_к = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 9,281 \cdot 1,018 \cdot 0,085 = 0,804 \ Ом$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_к}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,804}{1,018} = 0,458 \ Ом.$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_к = 0,42 \cdot 0,804 = 0,338 \ Ом.$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$E_1 = \sqrt{\left(U_ф \cdot \cos\varphi_н - R_1 \cdot I_{фн}\right)^2 + \left(U_ф \cdot \sin\varphi_н + X_1 \cdot I_{фн}\right)^2} =$$
$$= \sqrt{\left(220 \cdot 0{,}87 - 0{,}087 \cdot 57{,}1\right)^2 + \left(220 \cdot 0{,}493 + 0{,}338 \cdot 57{,}1\right)^2} =$$
$$= 206{,}68\ B.$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{206{,}68}{14{,}578} = 14{,}177\ Ом.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{0{,}338}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50} = 0{,}001\ Гн.$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{0{,}458}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50} = 0{,}0014\ Гн.$$

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

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{14{,}177}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50} = 0{,}045\ Гн.$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры схемы замещения электродвигателя АИР 180 S2

$R_1, Ом$	$X_1, Ом$	$L_{1\delta}, Гн$	$X_m, Ом$	$L_m, Гн$	$R'_2, Ом$	$X'_2, Ом$	$L'_{2\delta}, Гн$	$X_к, Ом$
0,087	0,338	0,001	14,177	0,045	0,085	0,458	0,0014	0,804

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^{2} \cdot R_2'}{\omega_н \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R_2' \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_1 + X_2' \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,085}{157,08 \cdot s \cdot \left[\left(0,087 + 0,085 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(0,338 + 0,458 \right)^2 \right]};$$

Численные значения механической характеристики сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Численные значения механической характеристики

M, Нм	0	515,33	432,50	334,37	266,95	220,65	187,50	162,7	143,69	31,41
ω, рад/с	157,08	141,37	125,66	109,95	94,248	78,54	62,832	47,124	31,416	15,70

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя изображена на рисунке 7. Она справедлива в области номинальных скоростей.

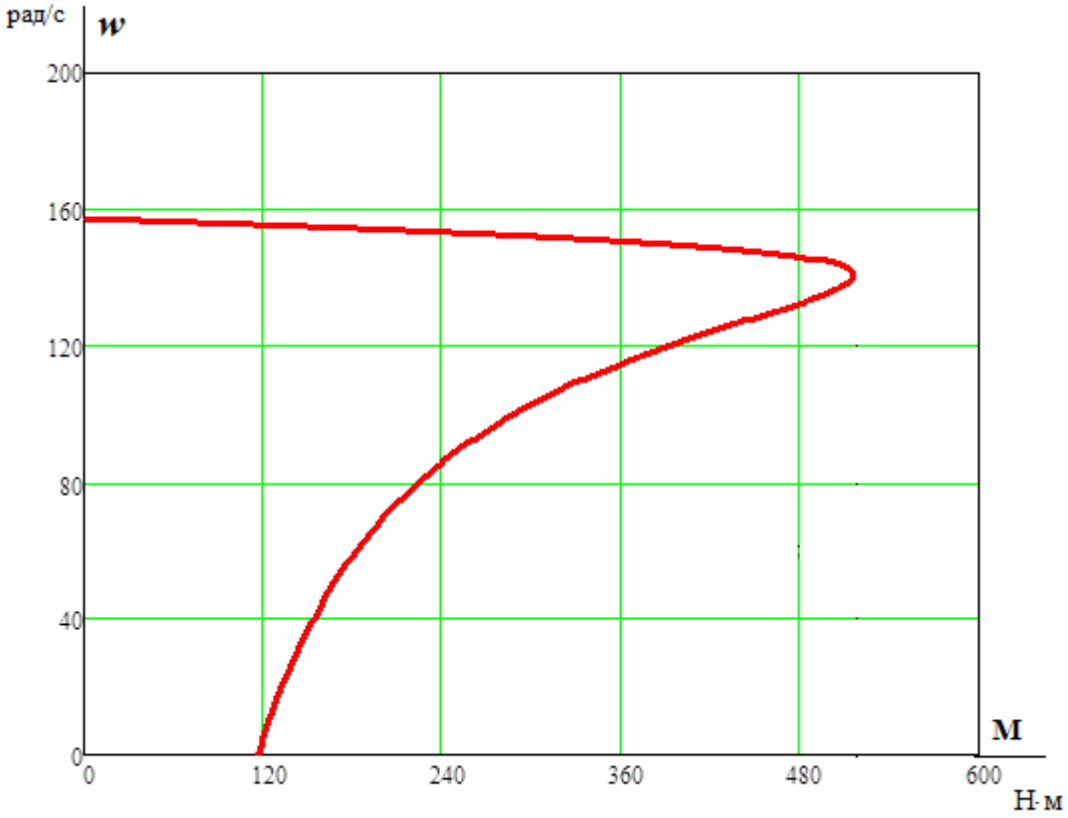

Рисунок 7 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Зависимость тока ротора I'_2, приведенного к обмотке статора, от скольжения S определяется следующим образом:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X'_2\right)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0{,}087 + \frac{0{,}085}{s}\right)^2 + \left(0{,}338 + 0{,}458\right)^2}} A ;$$

Численные значения характеристики тока ротора сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Численные значения характеристики тока ротора

I'_2	0	178,03	230,66	248,39	256,28	260,50	263,05	264,73	265,91	266,77
ω	157,08	141,372	125,664	109,956	94,248	78,54	62,832	47,124	31,416	15,708

График электромеханической характеристики $\omega = f\left(I_2'\right)$ приведен на рисунке 8.

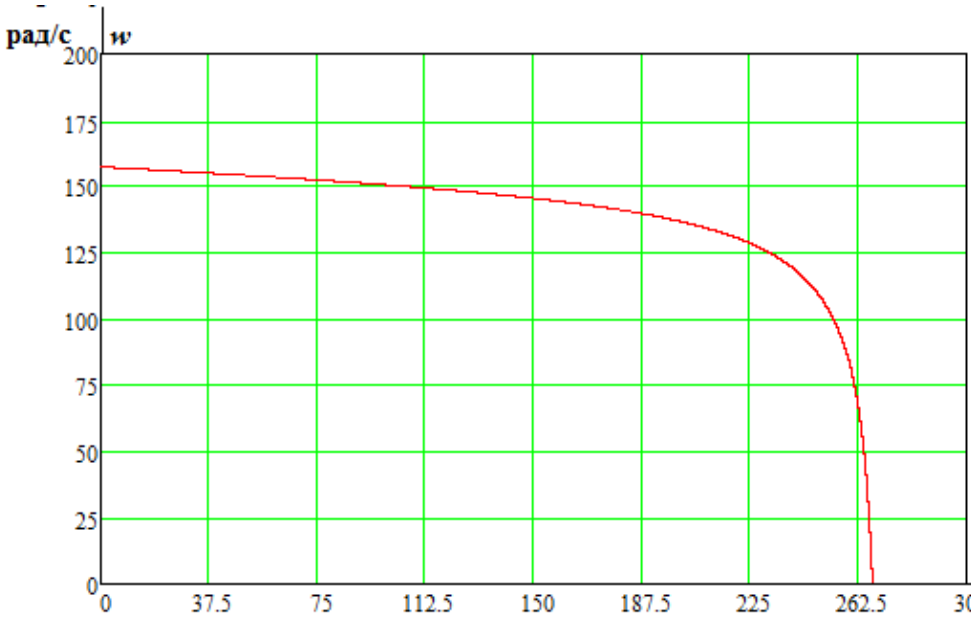

Рисунок 8 – График электромеханической характеристики тока обмотки ротора $\omega = f\left(I_2'\right)$

Для построения электромеханической характеристики тока обмотки статора использовано следующее выражение:

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

$$= \sqrt{14{,}578^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 14{,}578 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin\varphi_{2н}}$$

Где $\sin\varphi_{2н} = \dfrac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \dfrac{R_2'}{s}\right)^2 + X_k{}^2}} = \dfrac{0{,}804}{\sqrt{\left(0{,}087 + \dfrac{0{,}085}{s}\right)^2 + 0{,}804^2}}$;

Численные значения характеристики тока статора сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Численные значения характеристики тока статора

I_1, А	0	187,85	243,09	261,71	269,99	274,42	274,42	278,87	280,11	281,01
ω, рад/с	157,08	141,37	125,66	109,95	94,24	78,54	62,83	47,14	31,41	15,70

Электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунке 9.

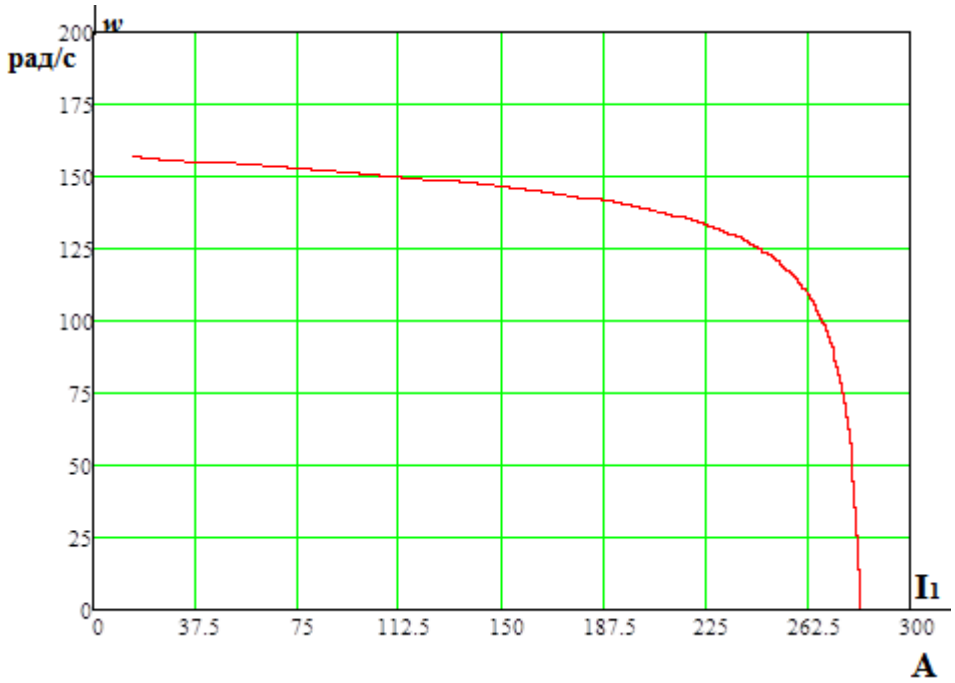

Рисунок 9 – График электромеханической характеристики тока обмотки статора $I_1 = f(s)$

Номинальный ток статора асинхронного двигателя $I_{1н}$ при номинальном скольжении $S_н = 0,02$ в соответствии с электромеханической характеристикой.

Номинальный ток ротора определяется при номинальном скольжении:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X_2'\right)^2}} =$$

$$\frac{220}{\sqrt{\left(0,087 + \frac{0,085}{0,02}\right)^2 + \left(0,338 + 0,458\right)^2}} = 44,26\ A\ ;$$

Номинальный ток статора двигателя:

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

$$\sqrt{14,578^2 + 44,26^2 + 2 \cdot 14,578 \cdot 44,26 \cdot 0,157} =$$

$$= 48,72\ A;$$

2.2.2 Расчет механических характеристик электропривода

Искусственные механические характеристики асинхронного двигателя при пониженном напряжении рассчитываются по выражениям:

$$M = \frac{m \cdot U_{пон} \cdot U^2{}_{1\phi} \cdot R_2'}{\omega_н \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R_2' \cdot s^{-1}\right)^2 + \frac{\left(R_1 \cdot R_2\right)^2}{(s \cdot X_m)}\right]};$$

$$M = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,085}{153,93 \cdot s \cdot \left[\left(0,087 + 0,085 \cdot s^{-1}\right)^2 + \frac{\left(0,087 \cdot 0,085\right)^2}{(s \cdot X_m)}\right]};$$

Численные значения искусственных механических характеристик сведены в Таблицу 10.

Таблица 10 - Численные значения механической характеристики

ω	157,08	125,66	94,24	62,832	31,416	0
M(U=0,8Uн)	0	346,007	213,563	150,001	114,958	73,5
M(U=0,6Uн)	0	259,505	160,173	112,5	86,219	42,241
M(U=0,4Uн)	0	173,003	106,782	75	57,479	19,4
M(U=0,2Uн)	0	86,502	53,391	37,5	28,74	5,23

Графики искусственных механических характеристик приведены на рисунке 7.

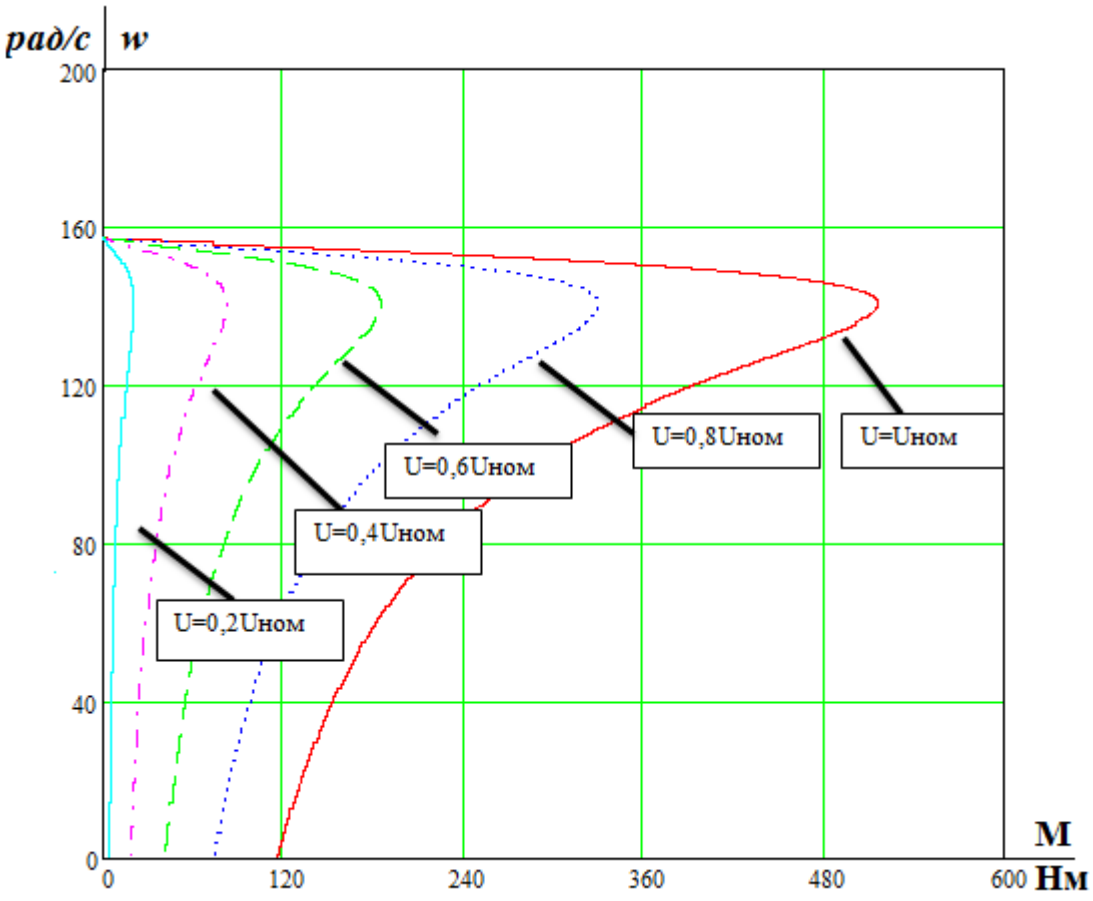

Рисунок 10 – Механические характеристики *M=f(ω)* при *α=const*

Искусственные электромеханические характеристики асинхронного двигателя при пониженном напряжении рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s) = \sqrt{{I_0}^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin\varphi_{2н}};$$

$$I_1(s) = \sqrt{14{,}578^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 14{,}578 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin\varphi_{2н}};$$

Где :

$$\sin\varphi_{2н} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + {X_k}^2}};$$

$$\sin\varphi_{2н} = \frac{0{,}804}{\sqrt{\left(0{,}087 + \frac{0{,}085}{s}\right)^2 + 0{,}804^2}};$$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1ф}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X_2'\right)^2}};$$

Численные значения искусственных электромеханических характеристик сведены в Таблицу 11 и 12.

Таблица 11-Численные значения тока ротора.

	ω	157,08	125,66	94,24	62,832	31,416	0
M(U=0,8Uн)	$I_2^{'}$	0	184,534	205,027	210,446	212,732	213,949
M(U=0,6Uн)	$I_2^{'}$	0	138,4	153,77	157,834	159,549	160,462
M(U=0,4Uн)	$I_2^{'}$	0	92,267	102,514	105,223	106,366	106,975
M(U=0,2Uн)	$I_2^{'}$	0	46,133	51,257	52,611	53,183	53,487

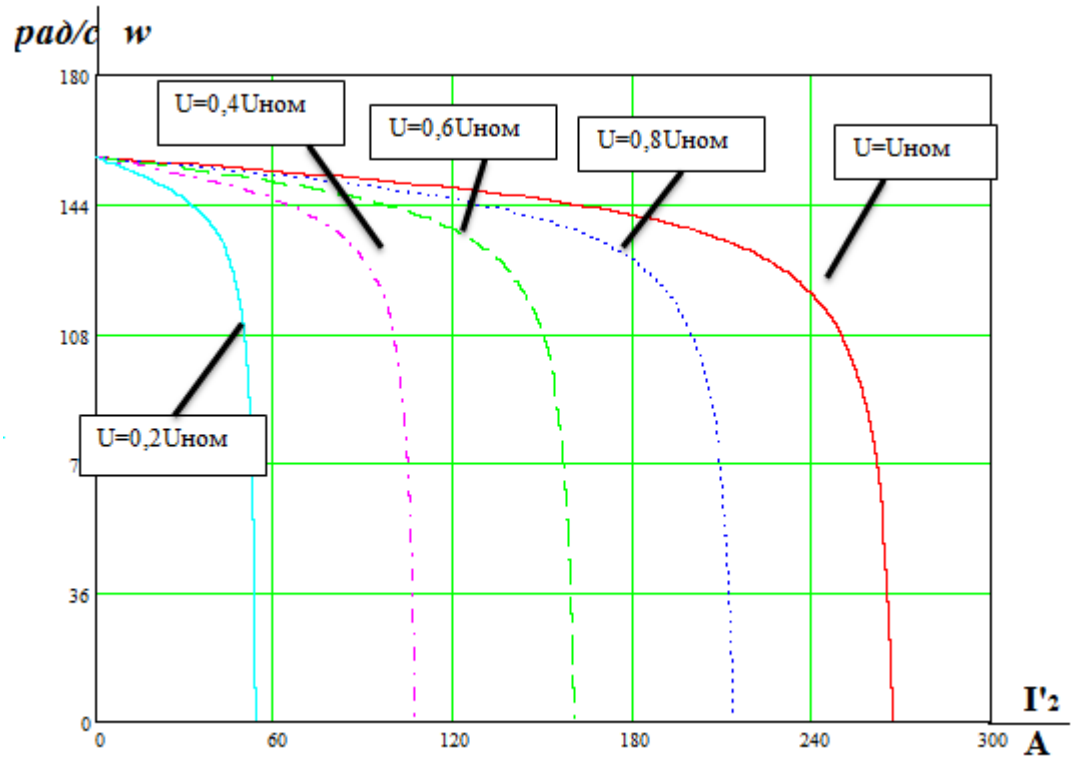

Рисунок 11 – Электромеханические характеристики $I'_2=f(\omega)$ при $\alpha=const$

Таблица 12- Численные значения тока статора.

	ω	157,08	125,66	94,24	62,832	31,416	0
M(U=0,8Uн)	I_1	0	196,986	218,749	224,505	226,934	228,227
M(U=0,6Uн)	I_1	0	150,9	167,51	171,904	173,758	174,745
M(U=0,4Uн)	I_1	0	104,856	116,287	119,313	120,59	121,27
M(U=0,2Uн)	I_1	0	58,953	65,118	66,754	67,445	67,813

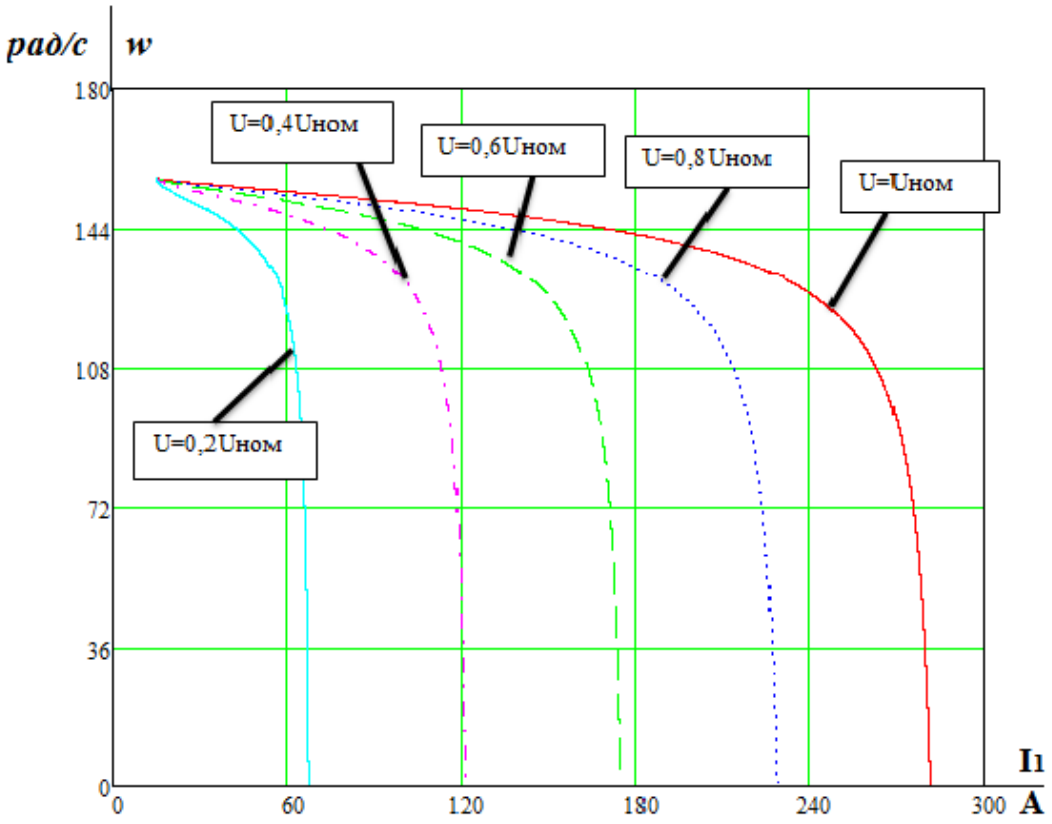

Рисунок 12 – Электромеханические характеристики $I_1=f(\omega)$ при $\alpha=const$

2.3 Расчет и выбор основных силовых элементов регулируемого электропривода

Выбор тиристоров для схемы тиристорного регулятора напряжения осуществляется по максимальным значениям токов, прямых и обратных напряжений, имеющих место при работе электропривода.

При соединении обмоток статора в звезду к тиристорам прикладывается линейное напряжение с амплитудой:

$$U_{\text{макс}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{лин}} = 1{,}41 \cdot 380 = 535\ \text{В},$$

однако, обратное приложенное напряжение из-за влияния ЭДС, наводимой затухающим полем ротора будет равно $1{,}4 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{Л}$. С учетом этого фактора, можно считать, что тиристоры 7-го и 8-го класса обеспечат нормальную работу электропривода при соединении статора как звездой (380 В), так и в треугольник (220 В).

В общем случае тиристоры необходимо выбирать по максимальному значению тока двигателя. Тиристоры нормируются по среднему току, а выражение для допустимого среднего тока одного тиристора имеет вид:

$$I_{\text{н.т}} \geq \frac{k_{\text{пт}} \cdot I_{\text{н}}}{2 \cdot k_0 \cdot k_{\phi}},$$

где : $I_{\text{н.т}}$ – номинальный средний ток тиристора;

$k_{\phi} = 1{,}11$, – коэффициент формы тока в нагрузке;

$k_0 = 0{,}5$, – коэффициент условий охлаждения;

$k_{\text{пт}} = 5,$ – кратность пускового тока к номинальному.

$$I_{н.с.} \geq \frac{i_{п.т} I_н}{2 k_0 k_Ф} = \frac{7,2 \cdot 57,1}{2 \cdot 0,5 \cdot 1,11} = 370,37 A$$

Надёжная и безаварийная работа тиристорного электропривода во многом зависит от правильного выбора тиристоров. При выборе тиристоров по току большое значение имеет способ охлаждения и величина угла проводимости.

По выбираем тиристор типа ТБ143 – 400 таблеточного исполнения 10 класса. Номинальный средний ток $I_{Н.Т} = 400A$.

$400A \geq 370,37A$ условие выполняется.

Тиристор ТБ143 – 400 имеет следующие параметры:

Таблица 13 – Параметры тиристора ТБ143 – 400

Средний прямой ток $I_{н.с.}$	400 А
Ударный прямой ток $I_{уд.с.}$	7500 А
Повторяющийся импульсный обратный ток $I_{имп}$	70 мА
Импульсное напряжение в открытом состоянии $U_{имп}$	3 В
Отпирающее постоянное напряжение управления $U_{от}$	2,5 В
Отпирающий постоянный ток управления $I_{от}$	320 мА

2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты

В задачу устройства управления тиристорами входит обеспечение надежной и стабильной работы тиристоров при работе двигателя на естественных и искусственных характеристиках и регулирование угла управления в необходимом диапазоне.

Большое значение для обеспечения долговечности тиристорных электроприводов имеет защита тиристорных устройств:

1. Защита от коммутационных перенапряжений в тиристорных устройствах осуществляется параллельными RC цепочками. Для тиристоров серии Т рекомендуется защитная цепочка с $R=10\div40$ *Ом* и $C=2\div4$ *мкФ;*

2. Защита от перегрузок по току осуществляется с помощью токовых отсечек, которые воздействуют на устройства управления тиристорами таким образом, чтобы ограничить ток до допустимой величины или полностью снять управляющие импульсы. Для реализации такой защиты применяются полупроводниковые устройства, обеспечивающие временную задержку, обратнозависимую от величины тока статора;

3. Защита тиристоров от токов короткого замыкания эффективно осуществляется с помощью быстродействующих плавких предохранителей.

2.4.1 Выбор магнитного пускателя

Управление АД заключается в его запуске, остановке, реверсировании и может осуществляться вручную по месту или дистанционно (с помощью выключателей или кнопок), а также автоматически. Управление низковольтными АД (до 1000В), особенно при частых включениях или отключениях, выполняется обычно с помощью магнитных пускателей или контакторов. Магнитный пускатель отличается от контактора наличием

устройства защиты (обычного теплового реле) от перегрузок на валу двигателя.

Магнитные пускатели и контакторы не защищают АД от токов короткого замыкания, поэтому АД подключаются к источнику питания через автоматические выключатели или плавкие предохранители, которые выполняют эту защиту.

Магнитные пускатели изготовляют нереверсивными и реверсивными. Пускатели серии ПМЕ предназначены для управления двигателями мощностью от 1 до 10 кВт, а ПАЕ - от 17 до 55 кВт. Они рассчитаны на напряжение до 500 В .[12]

Выбираем магнитный пускатель типа ПМ12-063621 (рис. 13) с параметрами, приведенными ниже:

Номинальный ток контактов головной цепи: 63 А.

Номинальное напряжение по изоляции: 660 В, 50 Гц.

Контактная группа: 2 «замыкающихся» + 2 «размыкающихся».

Степень защиты: IP 54.

Реверс: есть.

Тепловое реле: есть.

Кнопки: «пуск1»+«пуск2»+ «стоп».

Крепление: винт.

Габаритные размеры (Ш×В×Г): 330×220×180 мм.

Изготовитель: «Кашинский завод электроаппаратуры».

Рисунок 13 – Магнитный пускатель ПМ12- 063621

2.4.2 Выбор автоматического выключателя

Также был выбран автоматический выключатель [13], который предназначены для защиты проводов, кабелей, электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок. Для этого было выполнено следующее:

автоматический выключатель выбирают по номинальному току выключателя $I_{Нвык}$ и номинальному току расцепителя $I_{Нрасц}$.

$$I_{дл} = I_н = P_н / 3U_н \eta cos\varphi = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,915 \cdot 0,87} = 57,1\,A$$

$$I_{расц} = I_н / K_т = 57,1/1 = 57,1\,A$$

Где: $K_т$-тепловой коэффициент, учитывающий условия установки автоматического выключателя , $K_т=1$ - для установки в открытом исполнении; $K_т=0,85$ – для установки в закрытых шкафах.

По току расцепителя используя справочную литературу выбираем автомат типа ВА 51-31 (рис.14) с $I_н = 100\ A$, $Iн_{расц} =$ 63 А $I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц} = 10 \cdot 63 = 630\ A$

Рисунок 14– Автоматический выключатель ВА 51-31

2.4.3 Выбор плавких предохранителей

Выбираем плавкие предохранители исходя из условий:

$$I_{ВС} \geq I_{н.ЭД}$$

$$I_{ВС} \geq I_{н.ЭД}$$

Выбираем предохранитель типа ПН2-100 с параметрами, приведенными в табл. 5

Таблица 5- параметры предохранителя ПН2-100

Тип	$I_{ном}$, А	
	Предохранителя	Плавкой вставки
ПН2-100	100	40

2.5 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и кабеля для вспомогательного напряжения

Номинальный ток двигателя:

$$I_{НОМ} = 57,1A$$

Пусковой ток двигателя:

$$I_{ПУСК} = 399,7\,A$$

Выбираем предохранитель по наибольшему току:

$$I_{ВС} \geq I_{Н} = 57{,}1 \text{ А}$$

$$I_{ВС} \geq \frac{I_{ПУСК}}{\alpha} = \frac{399{,}7}{2{,}5} = 159{,}88 \text{ А}$$

где α = 2,5 –для легкого пуска

По выбираем предохранитель ПП-17-3900 с $I_{ВС} = 1000\,А$

Выбираем провод по наибольшему из токов:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{НОМ}}{k_{прок}} = \frac{57{,}1}{1} = 57{,}1 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} \geq k_{\text{з}} \cdot \frac{I_{\text{НОМВСТ}}}{\text{k}_{\text{прок}}} = 1 \cdot \frac{1000}{1} = 1000 \text{ А}$$

где $k_з$ –коэффициент защиты; $k_з$ = 1 -для сетей требующих защиту от перегрузки.

$k_{прок}$ –поправочный коэффициент, зависящий от числа параллельно проложенных кабелей. $k_{прок}$ = 1 для одного кабеля.

Выбираем кабель марки АВВГ 1х1000 сечением 1000 мм^2

с $I_{доп}$ = 1000 А.

В пункте 2.5 выбран предохранитель ПНБ5М с $I_{ВС} = 150\,А$

Выбираем провод по наибольшему из токов:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{НОМ}}{k_{прок}} = \frac{57{,}1}{1} = 57{,}1 \text{ А}$$

$$I_{доп} \geq k_{з} \cdot \frac{I_{НОМВСТ}}{k_{прок}} = 1 \cdot \frac{315}{1} = 315 \text{ А}$$

Выбираем кабель марки АСБ сечением 240 мм^2 с $I_{доп}$ = 315 А.

2.6 Оценка надежности электропривода

Расчет будет производиться на основании коэффициентов, полученных на основании анализа статистических данных выхода из строя различных узлов, входящих в системы электроприводов.

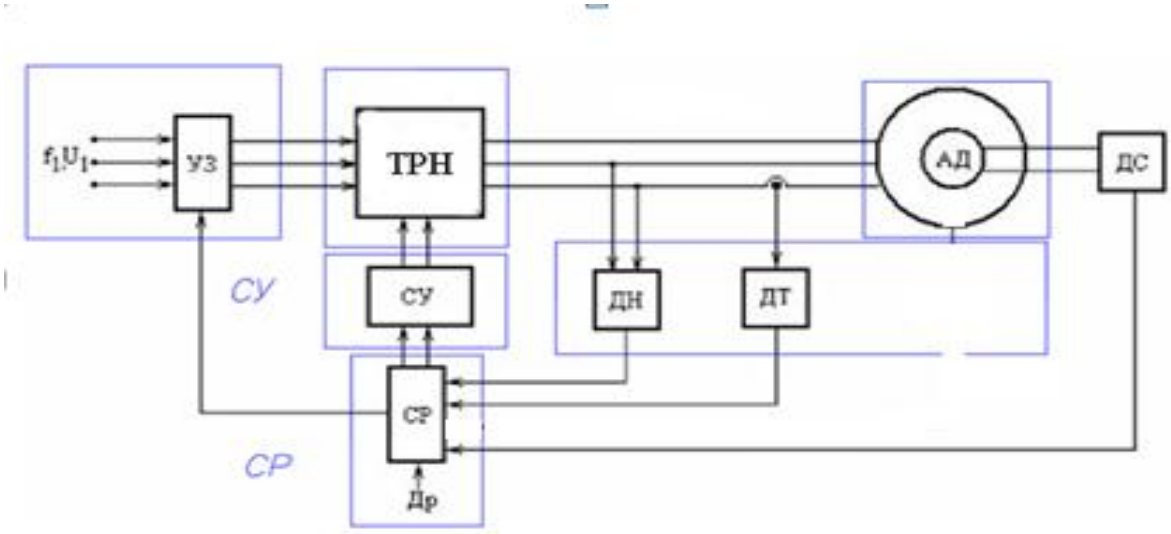

Рисунок 15 – Функциональная схема управления с обозначениями узлов

Далее будет произведен расчет эффективности отдельных узлов.

Для узла КА:

Так как элементы соединены последовательно, эквивалентный элемент будет равен произведению всех в него состоящих.

Рка =Рклем·Рпр·Рфильтр·Равт = 0,982

Где: Рка – вероятность безотказной работы коммутационной аппаратуры;

Равт = 0,998 – автоматический выключатель;

Рклем = 0,992– клеммы;

Рпр = 0,999 – проводники;

Рфильтр = 0,993– фильтр.

Отсюда рассчитывается полная вероятность безотказной работы системы:

Р =Рка·Ртрн·Рсу·Рад·Рдат=0,925

Вероятность безотказной работы:

Ртрн = 0,983- выпрямителя;

Рсу=0,984- системы управления;

Рад=0,982- асинхронного двигателя;

Рдат=0,992- датчиков;

3 Имитационное моделирование асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения

3.1 Математическая модель асинхронного двигателя

Математическое описание силового асинхронного двигателя в неподвижной системе координат представлено ниже:

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_э \cdot (T_э p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \dfrac{R_2^{'} \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \dfrac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_э \cdot (T_э p + 1) \cdot I_{1\beta} - \dfrac{R_2^{'} \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \dfrac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_\mu \cdot I_{1\alpha} + \dfrac{L_2}{R_2^{'}} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_\mu \cdot I_{1\beta} + \dfrac{L_2}{R_2^{'}} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \dfrac{3}{2} \cdot \dfrac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \dfrac{1}{Jp} \cdot (M_{\text{дв.эм}} - M_c \cdot sign(\omega)) \end{cases}$$

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β;

Параметры структурной схемы асинхронного двигателя в неподвижной системе координат:

Эквивалентные индуктивности обмоток статора и ротора:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_\mu,\ L_2 = L_{2\delta}^{'} + L_\mu.$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2^{'}}.$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_э = R_1 + R_2^{'} \cdot \frac{L_\mu^2}{L_2^2}.$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_э = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_э}; \qquad T_2 = \frac{L_2}{R_2'}.$$

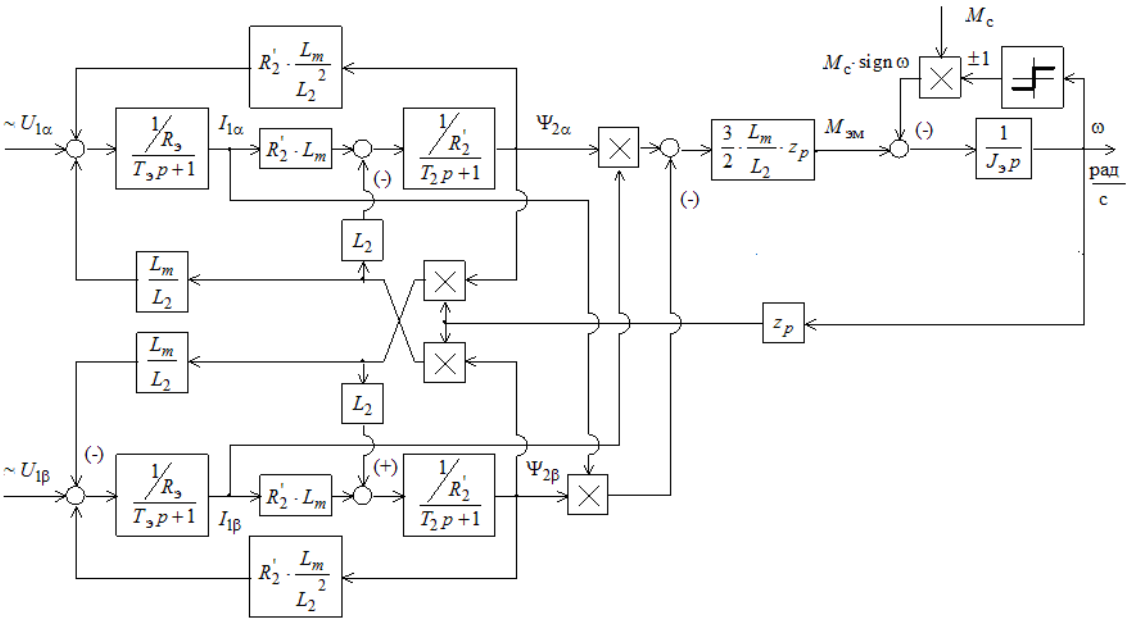

Рисунок 16 – Структурная схема АД в неподвижной двухфазной системе координат α, β

На основе полученных данных была собрана имитационная модель АД в программной среде Matlab Simulink:

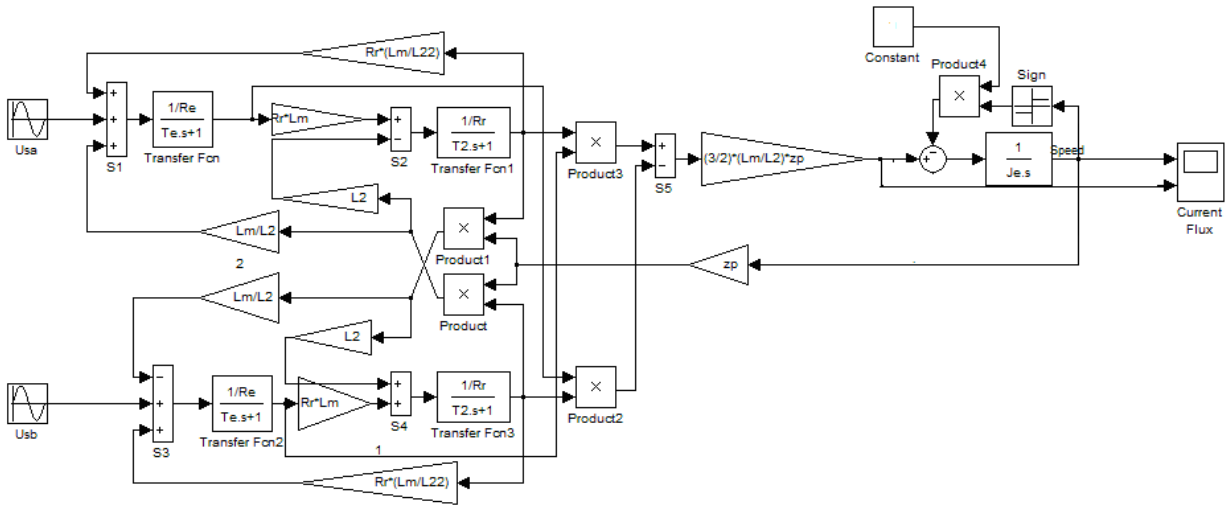

Рисунок 17 – Имитационная модель АД

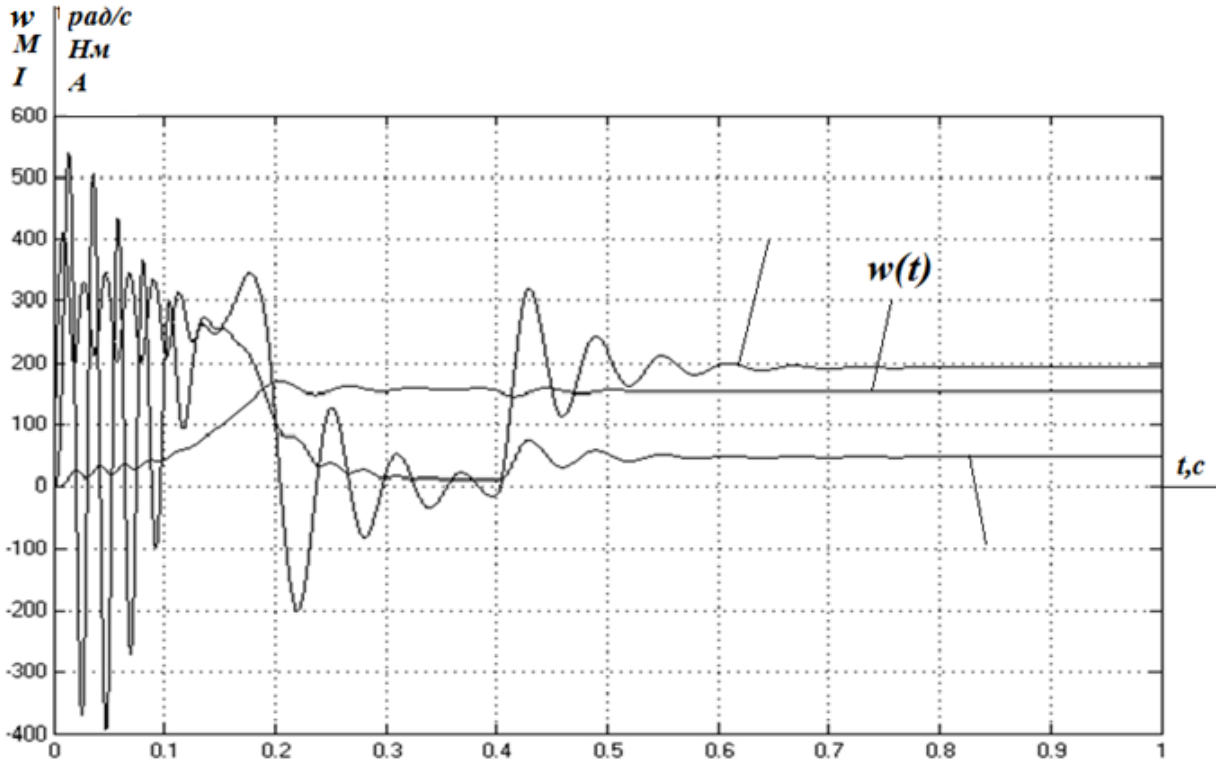

Рисунок 18 – Переходные процессы момента, скорости и тока при прямом пуске с набросом нагрузки

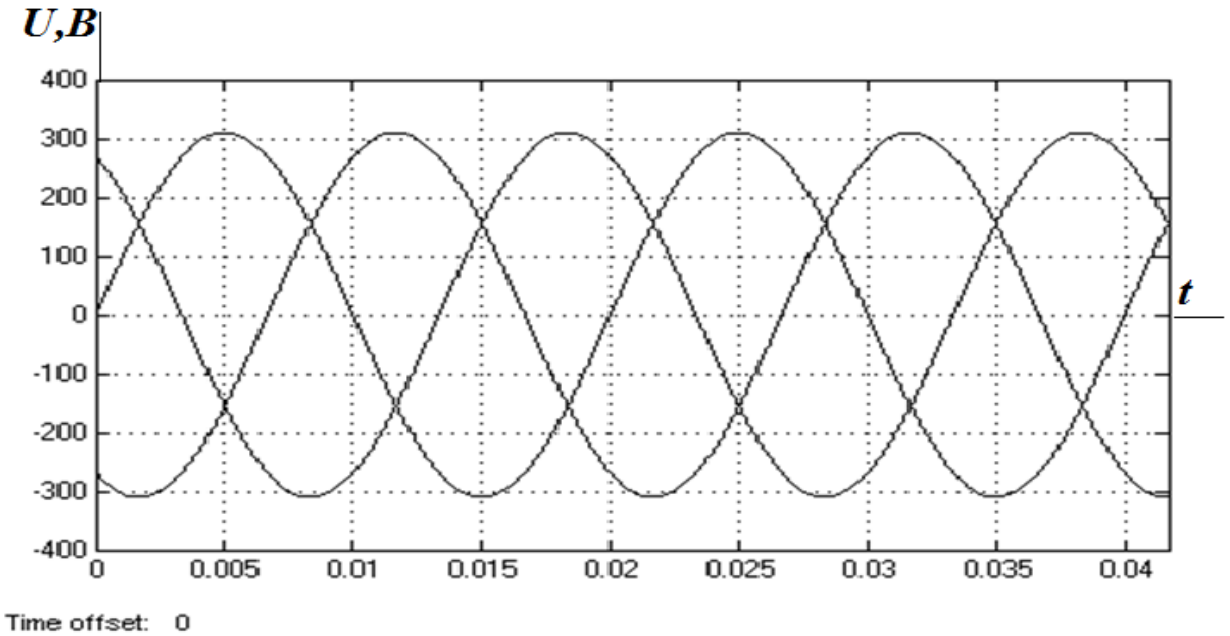

Рисунок 19 – Осциллограмы напряжений на обмотках статора

Из рис. 18 видно, что прямой пуск асинхронного двигателя приводит к большим значениям пускового тока и момента, которые негативно сказываются на работе двигателя и исполнительного механизма. Пуск асинхронного двигателя осуществлялся при номинальном напряжении питания (рис. 19).

3.2 Имитационная модель СИФУ тиристорного регулятора напряжения

На рис. 20 представлена имитационная модель СИФУ, которая была реализована с помощью программируемого блока S-function Builder в Matlab Simulink. На входы блока S-function Builder U0, U1, U2 приходят импульсы синхронизации, позволяющие синхронизовать работу СИФУ с сетью. Вход alfa позволяет задавать угол открытия СИФУ в числовом диапазоне от 0 до 1000, что соответствует изменению угла от 0 до 180 градусов. Вход Reset позволяет обнулить параметры блока S-function Builder без повторной компиляции. Шаг расчета блока S-function Builder составляет 0,00001 с.

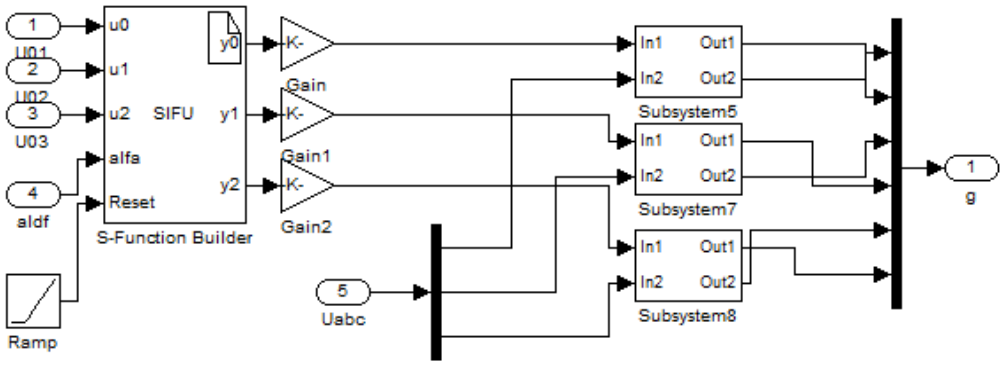

Рисунок – 20 Имитационная модель СИФУ

На рис.21 показан блок синхронизации СИФУ с сетью для одной из фаз.

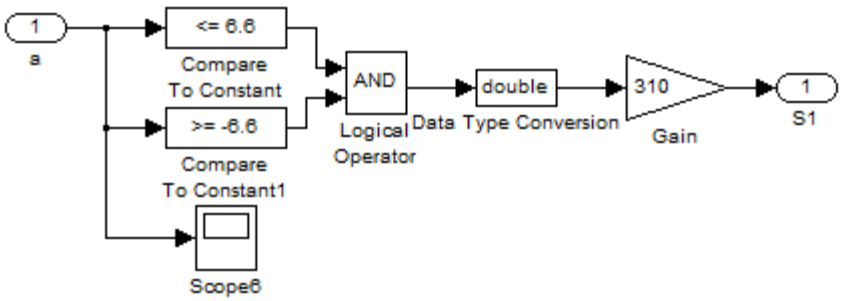

Рисунок – 21 Блок синхронизации СИФУ с сетью

Рис. 22а показывает принцип работы СИФУ, реализованный программным способом с помощью блока S-function Builder для тиристоров одной из фаз. На вход блока СИФУ поступают импульсы синхронизации, которые формируются в момент прохождения синусоиды через ноль. Принцип работы блока синхронизации показывает рис. 22б, где при входе напряжения в зону от $U_{\min}$ до $U_{\max}$ компаратор срабатывает и выдается импульс, что сигнализирует о переходе синусоиды через ноль.

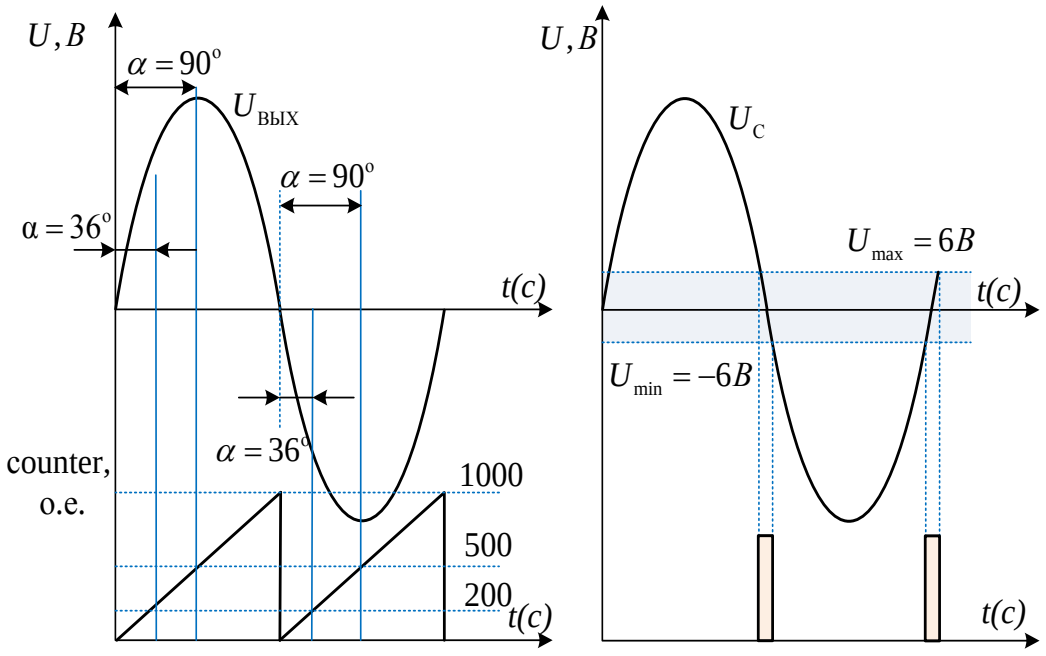

Рис. 22 Осциллограммы, иллюстрирующие работу СИФУ:
а) формирование управляющих импульсов СИФУ, б) алгоритм работы блока синхронизации

В момент появления синхронизирующего импульса запускается счётчик counter и при достижении определенного числа формируется управляющий импульс на тиристорную пару. В зависимости от того какая полуволна напряжения (отрицательная или положительная) открывается соответствующий тиристор.

На рис. 23 и рис. 24 показаны осциллограммы на выходе ТРН при работе на чисто активную нагрузку.

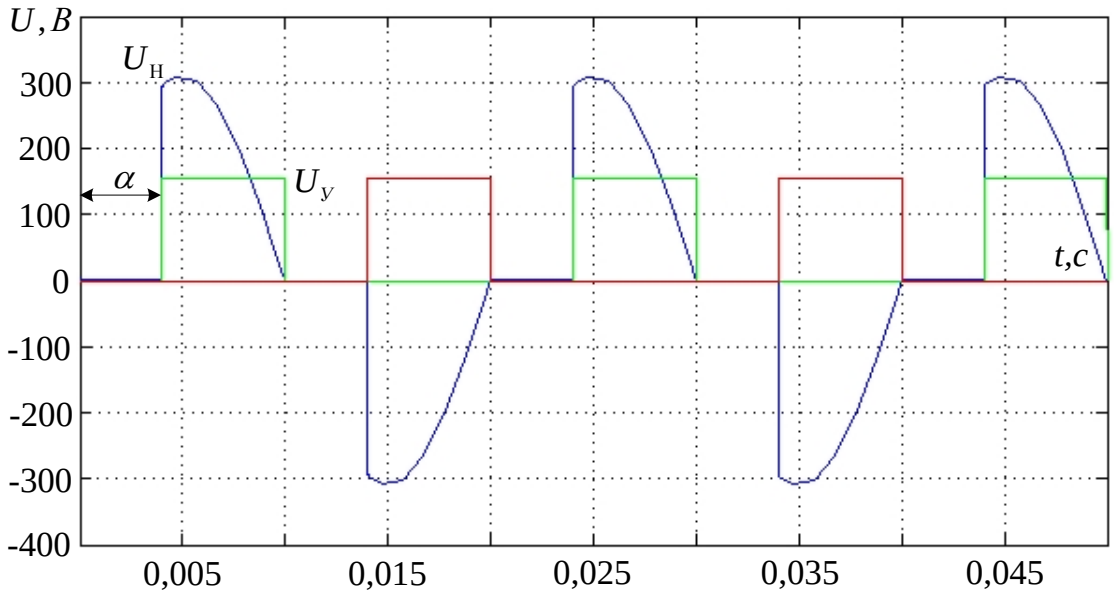

Рисунок 23 – Сигнал управления и напряжение на выходе ТРН (при активной нагрузке)

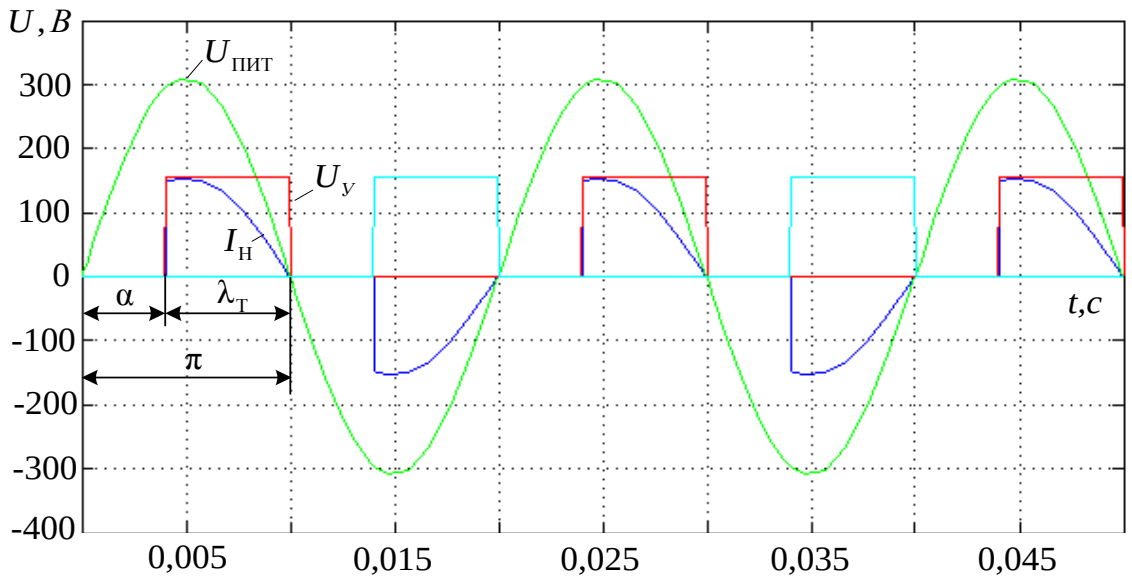

Рисунок 24 – Сигнал управления, ток в цепи нагрузки, напряжение на выходе ТРН (при активной нагрузке)

На рис. 25 и рис. 26 показаны осциллограммы напряжений и токов ТРН при работе на двигательную нагрузку.

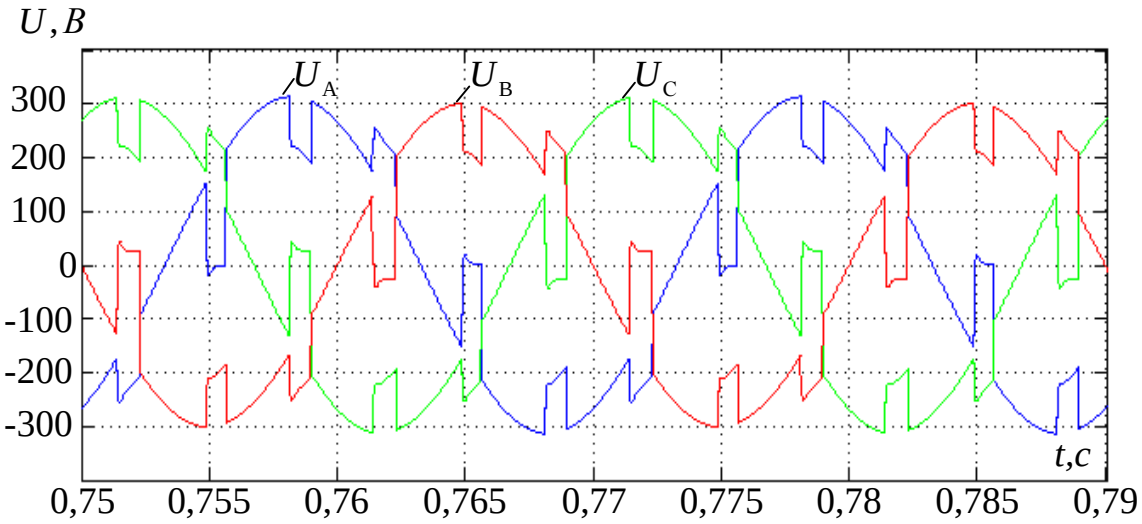

Рис. 25 Диаграммы выходных напряжений ТРН при двигательной нагрузке

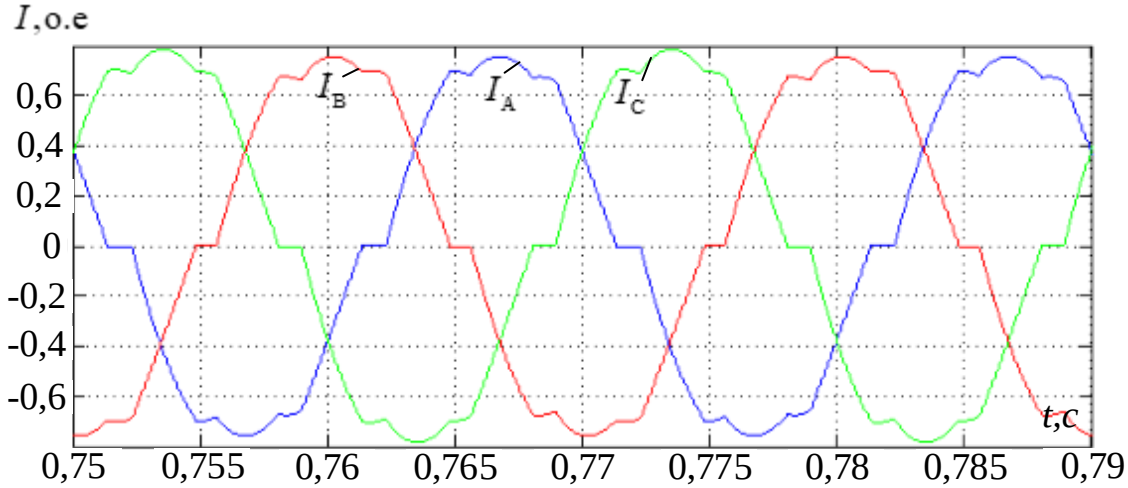

Рис. 26 Диаграммы выходных токов ТРН при двигательной нагрузке

Из рис. 25 и 26 видно, что противо-ЭДС двигателя изменяет форму сигналов питающего напряжения и токов нагрузки, поэтому это необходимо учитывать при реализации имитационной модели асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения.

3.3 Исследование динамики асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения

На рис. 27 представлена имитационная модель электропривода ТРН-АД при работе на насосную нагрузку.

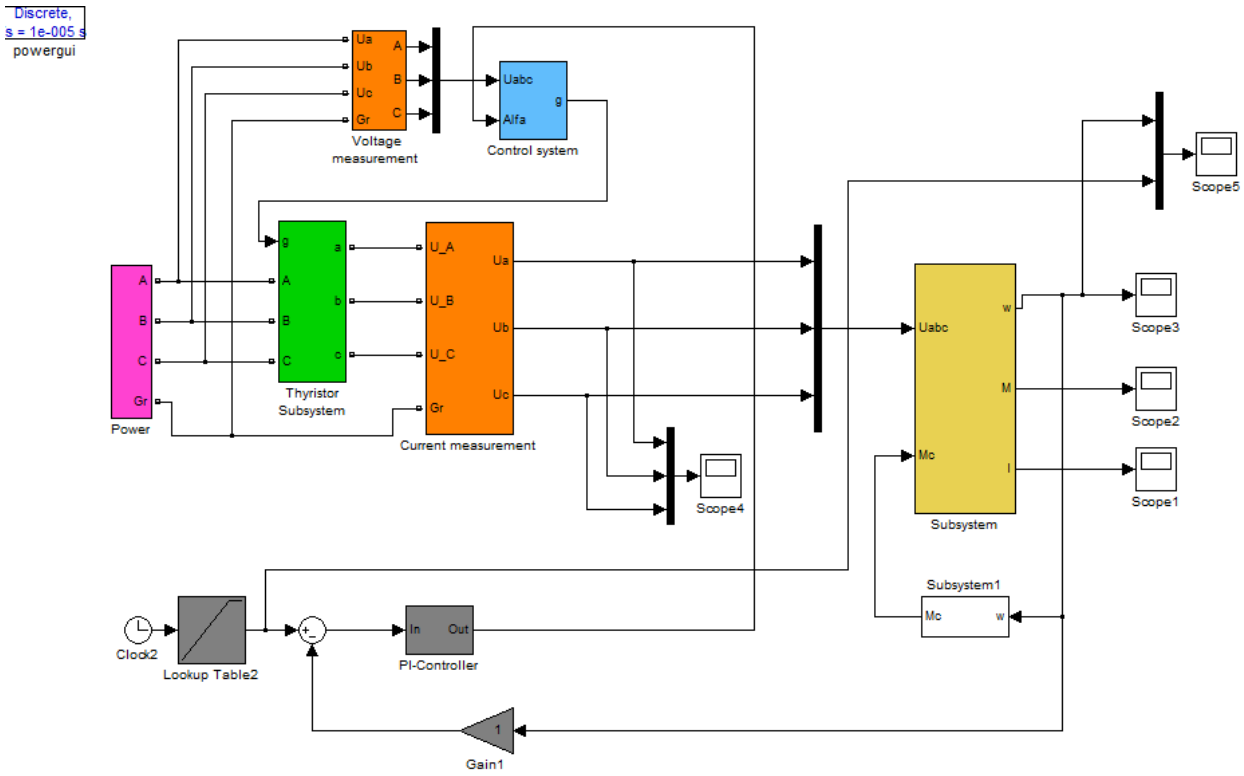

Рисунок 27 – Имитационная модель ТРН-АД

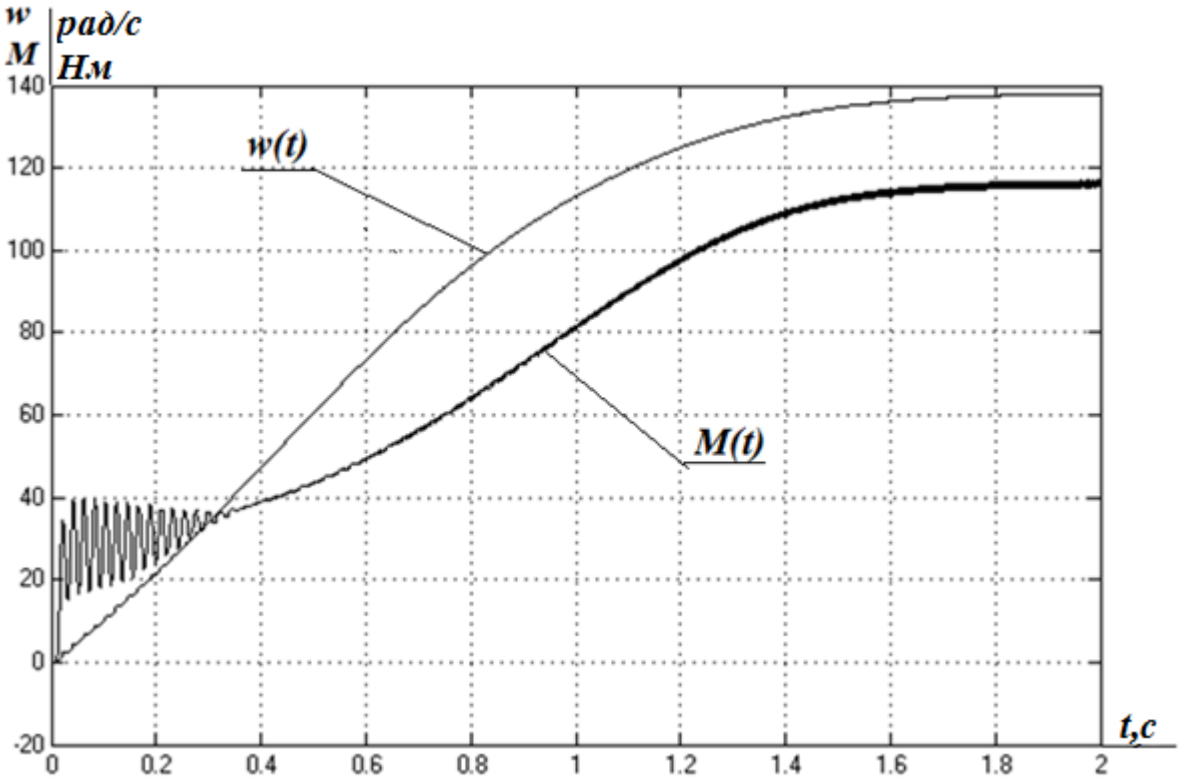

Рисунок 28 – Переходные процессы скорости и момента при α = 110˚.

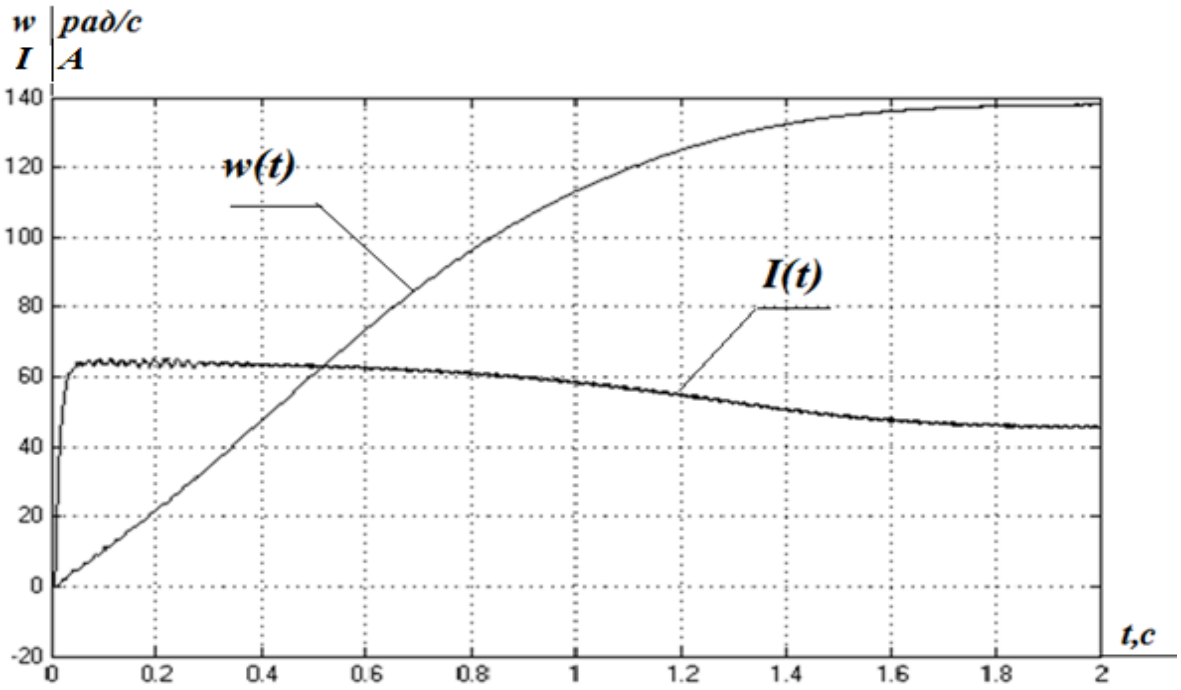

Рисунок 29 – Переходные процессы скорости и тока при α = 110 ˚ (разомкнутая система).

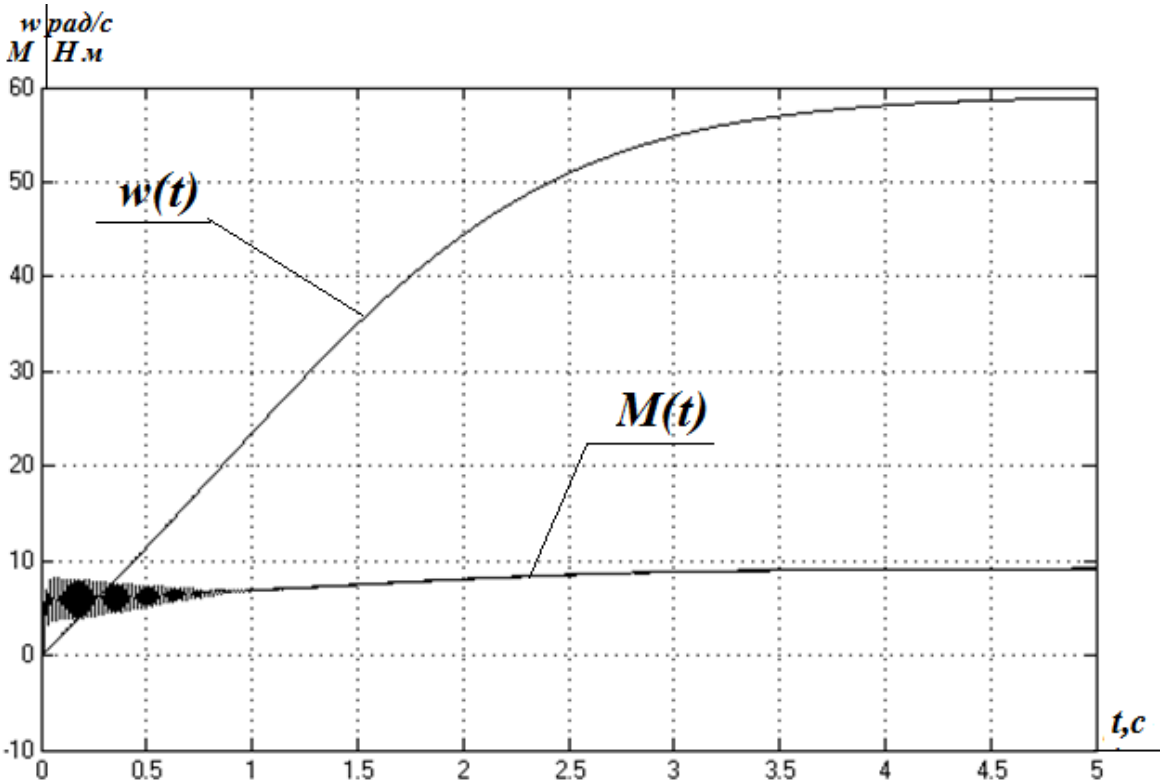

Рисунок 30 – Переходные процессы скорости и момента при α = 130 ˚ (разомкнутая система).

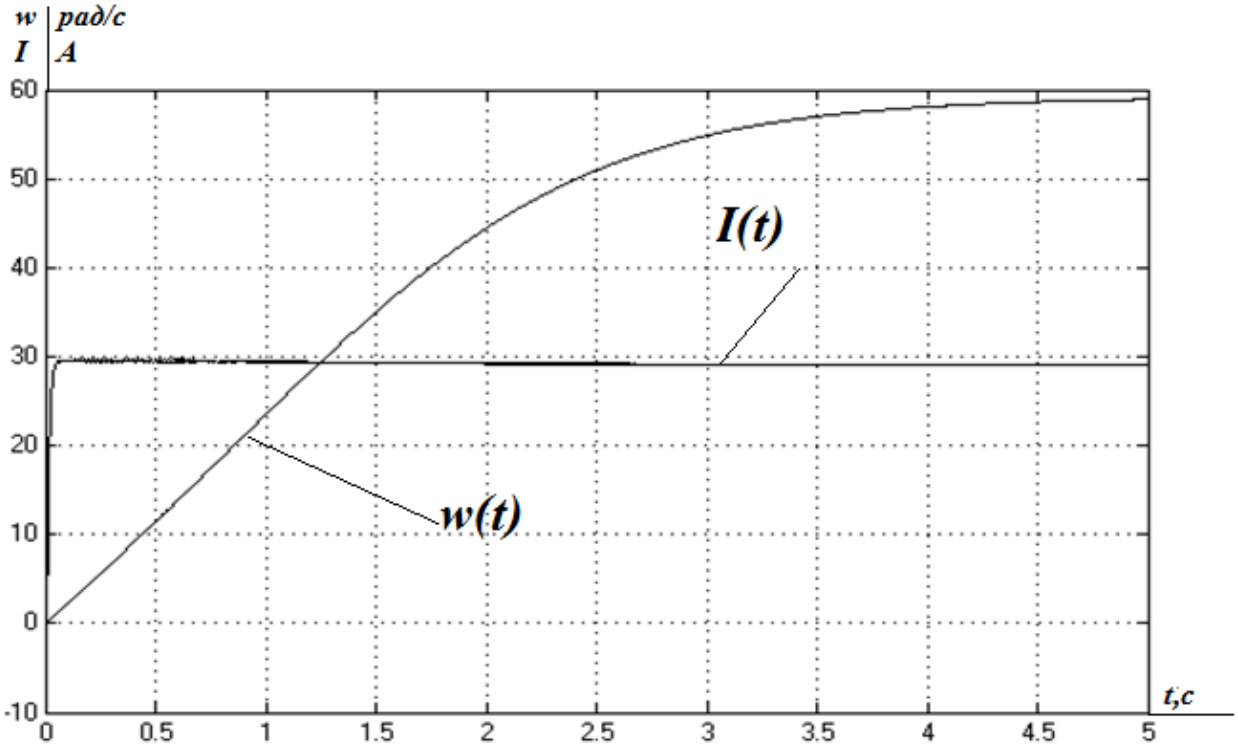

Рисунок 31 – Переходные процессы скорости и тока при α = 130 ˚.

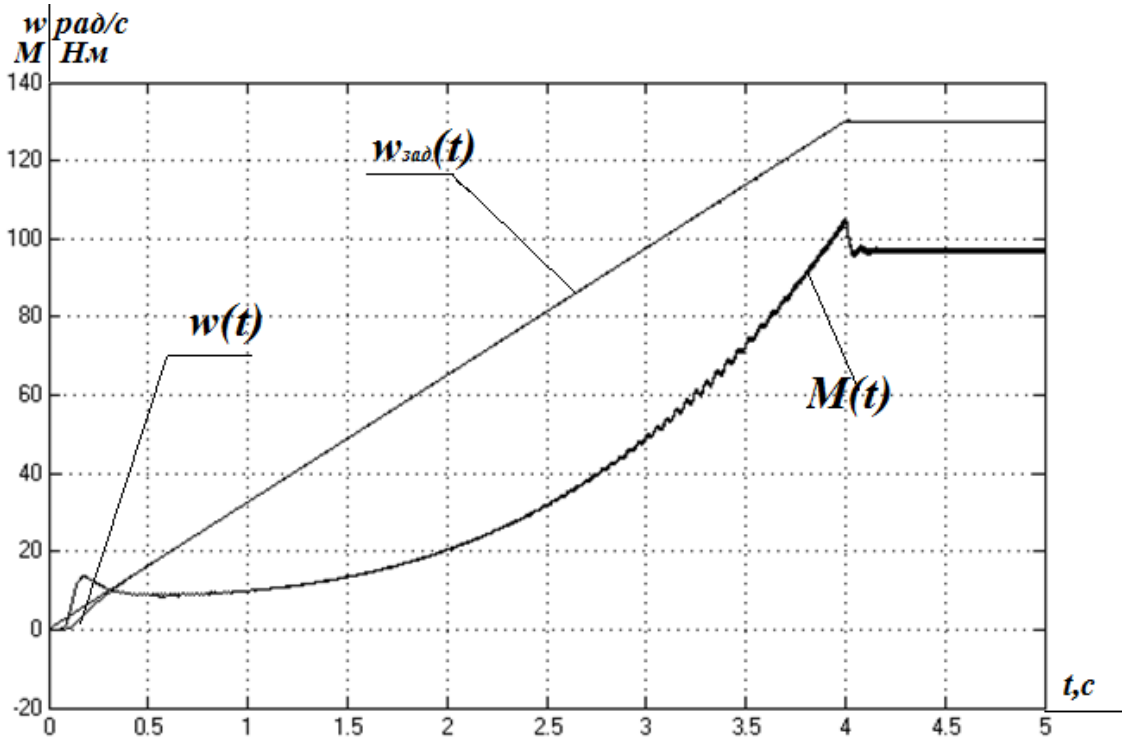

Рисунок 32 – Переходные процессы скорости и момента при $\omega_{зад}$ = 130 рад/с

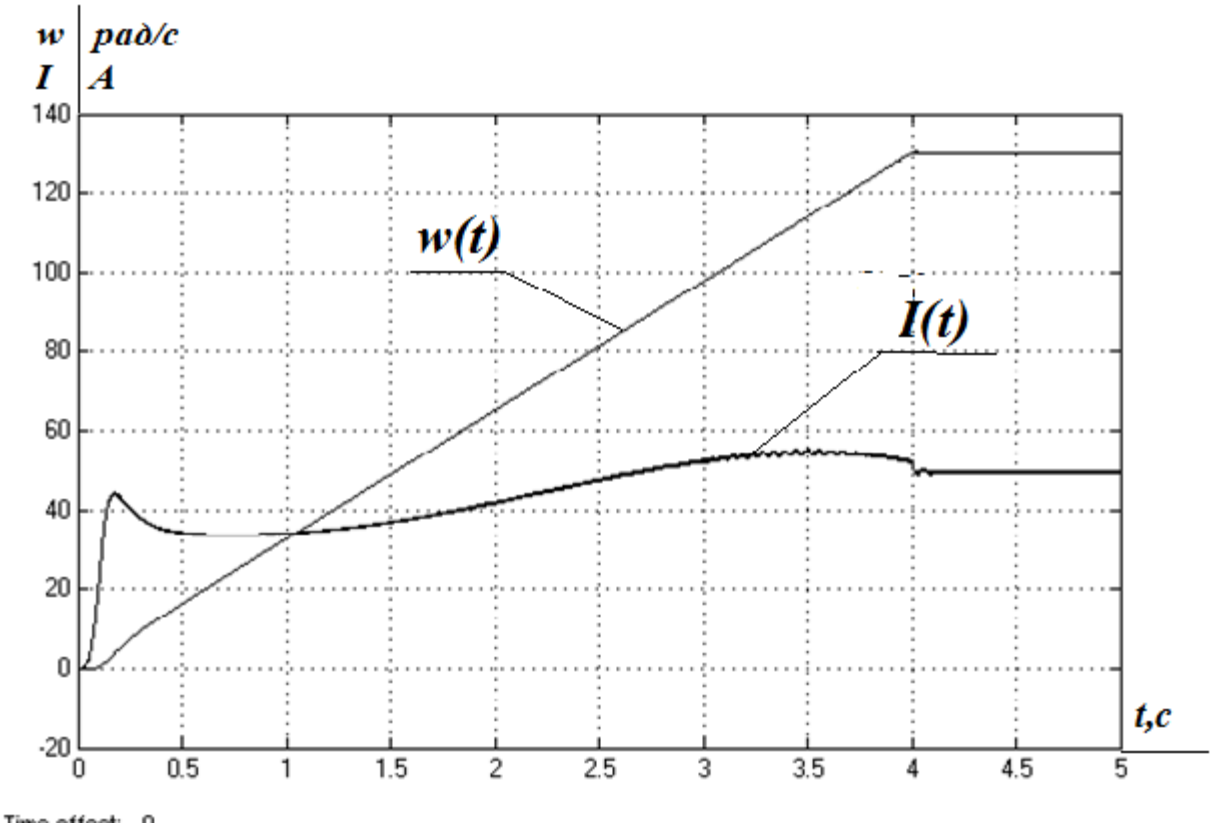

Рисунок 33 – Переходные процессы скорости и тока при $\omega_{зад}$ = 130 рад/с

В результате исследований было установлено, что зависимость между углом управления и питающим напряжением нелинейная, а также есть минимальный угол управления. Пуск при пониженном напряжении позволяет снизить колебания момента и тока. Наибольшая эффективность плавного пуска достигается при использовании обратной связи по скорости, которая позволяет реализовать пуск по заданной траектории и снизить величину ударных моментов на механизм.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел работы посвящен определению экономических показателей проектирования автоматизированного электропривода насосной станции водоснабжения жилого здания с точки зрения ресурсоэффективности. Достижение цели обеспечивается выполнением следующих задач:

- определение конкурентоспособности автоматизированного электропривода насосной станции;
- планирование работ в рамках данного научного исследования;
- формирование бюджета на проектирование.
-

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ помогает методом сравнения оценить сильные и слабые стороны автоматизированных электроприводов с применением системы Тиристорного регулятора напряжения и преобразователя частоты , чтобы наиболее обосновано выбрать автоматизированный электропривод для дальнейшего проектирования. Наиболее часто один вариант не может обладать сразу всеми техническими и экономическими показателями в высшей степени, поэтому данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который в целом обладает наивысшей конкурентоспособностью. Оценочная карта представлена таблицей 15.

Таблица 15 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		ТРН	ПЧ	ТРН	ПЧ
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
КПД	0,45	5	4	2,25	1,8
Диапазон регулирования	0,15	4	3	0,6	0,45
Перегрузочная способность	0,08	5	3	0,4	0,24
Плавность пуска	0,12	4	3	0,48	0,36
Надежность	0,04	3	5	0,12	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
Габариты	0,04	5	3	0,2	0,12
Цена	0,02	5	3	0,1	0,06
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	36	28	4,65	3,63

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$К = \sum B_i \cdot Б_i = 0,45 \cdot 5 = 2,25;$$

где $К$ – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – балл i-го показателя.

В результате анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что наибольшим преимуществом обладает автоматизированный электропривод по системе тиристорный регулятор напряжения.

4.2 Планирование работ по проектированию

4.2.1 Структура работ в рамках проектирования

Для выполнения проектных работ формируется группа, которая включает руководителя проекта и инженера. Для каждого типа запланированных работ устанавливается соответствующая должность

исполнителей. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по этим видам работ приведено в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей научного исследования

	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта
Теоретические исследования	5	Проведение предварительных расчетов и обоснований	Инженер
	6	Выбор электродвигателя	Инженер
	7	Расчет параметров электродвигателя	Инженер
	8	Расчет естественных характеристик	Инженер
	9	Выбор тиристорного регулятора напряжения	Инженер
	10	Расчет параметров структурной схемы электропривода	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Разработка электрической схемы электропривода	Руководитель проекта
	12	Разработка имитационной модели электропривода	Инженер
	13	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета но НИР	14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

4.3 Определение трудоемкости работ

Важным моментом является определение трудоемкости каждого из участников проекта. Сложность работы оценивается экспертно в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемой (средней) величины трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной *i*-ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн. Рассчитанная продолжительность работ в рабочих днях приведена в таблице 3.

4.3.1 Разработка графика проведения проектирования

Наиболее удобным и очевидным является построение графика проектирования работ в виде диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта - это горизонтальный график, в котором работа над темой представлена длительными промежутками времени, характеризующимися датами начала и завершения работы. Для удобства составления графика продолжительность каждого из этапов работы с рабочих дней должна быть переведена на календарные дни.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Пример:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot t_{\min 1} + 2 \cdot t_{\max 1}}{5}; \theta$$

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2 - дня$$

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	**Трудоёмкость работ**						**Длительность работ в рабочих днях** $T_{\text{р}i}$		**Длительность работ в календарных днях** $T_{\text{к}i}$	
	t_{min}, чел-дни		t_{max}, чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер
Составление ТЗ	4		5		4		4		5	
Подбор и изучение материалов по теме		5		6		5		5		6
Выбор направления исследований		7		12		9		9		11
Календарное планирование работ по теме	4		5		4		4		5	
Проведение предварительных расчетов и обоснований		5		7		6		6		7
Выбор электродвигателя		4		6		5		5		6
Расчет параметров электродвигателя		3		4		3		3		4
Расчет естественных характеристик		2		8		4		4		5
Выбор тиристорного регулятора напряжения		3		5		4		4		5
Расчет параметров структурной схемы электропривода		4		6		5		5		6
Оценка эффективности полученных результатов	4		6		5		5		6	
Разработка электрической схемы электропривода		7		8		7		7		9
Разработка имитационной модели электропривода		6		8		7		7		9
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)		7		8		7		7		9

Таблица 18 - Календарный план-график проведения проектирования научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	$T_{кi}$ кал дн	Продолжительность выполнения работ												
				фев		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление ТЗ	Руководитель проекта	5													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	6													
3	Выбор направления исследований	Инженер	11													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта	5													
5	Проведение предварительных расчетов и обоснований	Инженер	7													
6	Выбор электродвигателя	Инженер	6													
7	Расчет параметров электродвигателя	Инженер	4													
8	Расчет естественных характеристик	Инженер	5													
9	Выбор тиристорного регулятора напряжения	Инженер	5													
10	Расчет параметров структурной схемы электропривода	Инженер	6													
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель проекта	6													
12	Разработка электрической схемы электропривода	Инженер	9													
13	Разработка имитационной модели электропривода	Инженер	9													
14	Составление пояснительной записки	Инженер	9													

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 16 дней, а инженера 77 дней.

4.4 Бюджет затрат на проектирование

В ходе выполнения данного раздела был произведен расчет материальных затрат на проектирование, затрат на заработную плату исполнителей научного исследования, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат на проектирование

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 19.

Таблица 19 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ($З_м$), руб.
Тетрадь	Штука	1	50	50
Карандаш механический	Штука	1	25	25
Стержни на карандаш	Упаковка	1	25	25
Распечатка	Лист	100	2	200
Итого				**300**

Из таблицы видно, что материальные затраты для проектирования составляют 300 рублей.

4.4.2 Затраты на заработную плату исполнителей темы

Основная заработная плата научных и инженерных работников, непосредственно вовлеченных в выполнение работ по этому предмету

проектирования, определяется на основе трудоемкости выполняемой работы и существующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает в себя основную заработную плату сотрудников, непосредственно занимающихся проектированием и дополнительной заработной платы:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $З_{осн}$).

Определим основную заработную плату инженера:

$З_{осн}(инж) = 17000 \cdot 1,3 = 22100$ руб, где 1,3- районный коэффициент

Определим зарплату за 1 день:

$З_{день}(инж) = 22100 / 26 = 850$ руб, где 26-число рабочих дней за месяц

Определим основную заработную плату за отработанное количество дней:

$З_{осн}(инж) = 850 \cdot 62 = 52700$ руб.

Определим основную заработную плату руководителя проекта:

$З_{осн}(\text{рук.пр.}) = 26300 \cdot 1,3 = 34190$ руб, где 1,3- районный коэффициент

Определим зарплату за 1 день:

$З_{день}(\text{рук.пр.}) = 34190 / 26 = 1315$ руб, где 26-число рабочих дней за месяц

Определим основную заработную плату за отработанное количество дней:

$З_{осн}(\text{рук.пр.}) = 1315 \cdot 13 = 17095$ руб.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{доп}(инж) = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 52700 = 7905 \text{ руб.}$$

$$З_{доп}(\text{рук.пр.}) = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 17095 = 2564 \text{ руб.}$$

Определим полную заработную плату за весь период научного исследования

$З_{полн}$(инж) =52700+7905=60605 руб.

$З_{полн}$(рук.пр.) =17095+2564=19659 руб.

4.4.3 Отчисления в социальные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

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

$$З_{внеб}(рук.пр.) = 0,271 \cdot 19659 = 5328 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб}(инж) = 0,271 \cdot 60605 = 16424 \text{ руб.}$$

4.4.4 Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование:

Стоимость компьютера составляет 41000 рублей.

$$И_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_Г} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор} = \frac{77}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 41000 = 2883 \ рублей$$

где $T_{ИСП.}$ - время использования оборудования = 77 дней;

$T_Г$ - количество использования в год = 365 дней;

$C_{ОБОР.}$ - стоимость оборудования;

$T_{СЛ.}$ - срок службы оборудования =3 лет

4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают другие расходы организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печатные и фотокопировальные исследовательские материалы, оплату услуг связи, электричество, почтовые и телеграфные расходы, воспроизведение материалов и т. Д. Их стоимость определяется Следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

З накл. = 105199*0,16=16832 руб.

4.4.6 Формирование бюджета затрат на проектирование

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на проектирование приведено в таблице 20.

Таблица 20 - Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	руб.	в %
Материальные затраты НТИ	300	0,24
Затраты на заработную плату исполнителей темы	80264	65,77
Отчисления во внебюджетные фонды	21752	17,83
Амортизация	2883	2,36
Накладные расходы	16832	13,8
Итого	122031	100

В данном разделе мы сравнили автоматизированные электропривода с различными преобразовательными устройствами, и выбрали наиболее конкурентоспособный, такой оказалась система ТРН. Затем определили бюджет затрат на проектирования, который составил 122031 рублей. Спроектированный автоматизированный электропривод может быть использован для нужд водоснабжения.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В выпускной квалификационной работе разработан регулируемый автоматизированный электропривод насосной станции водоснабжения жилого дома.

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека опасных и вредных производственных факторов.

5.1 Анализ вредных факторов

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

- Поражение электрическим током
- Ожог паром
- Пожар
- Вращающиеся части производственных механизмов

Также присутствуют вредные факторы, которые оказывают негативное воздействие на человека.

К ним относятся:

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

5.2. Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

5.2.1 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 22.

Санитарные нормы вибрации представлены в таблице 23.

Таблица 22- Технические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Таблица 23- Санитарные нормы вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
Цех	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
	-	91	82	76	75	75	75	-	-	-	-

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

5.2.2 Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;

- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 24 приведены нормы освещенности на рабочих местах.

Таблица 24-Норма освещенности на рабочих местах

Характеристика выполняемой зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона, лк	Искусственное освещение	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

5.2.3 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 25.

Таблица 25 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, ^{0}C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого в помещении и периода года.

5.3. Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки двухзонного электропривода постоянного тока. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [25-28].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

5.3.1 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;

б) требования к электрооборудованию;

в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;

г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

5.3.2 Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к

классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [27] на 800 $м^2$ защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

5.4 Защита окружающей среды

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [28]: бытовой мусор после предварительной сортировки складируют в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [29]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции.

Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

5.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение.

5.5.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [30], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 $м^3$.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действии администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

5.5.2 Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [30] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [31] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить

напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной выпускной квалификационной работе был рассчитан и спроектирован автоматизированный электропривод насосной станции водоснабжения на базе системы ТРН-АД.

Применение регулируемого привода увеличивает срок службы двигателя привода насоса и обеспечивает требуемую подачу воды и соответствующий ей расход энергии.

В ходе работы был произведен расчет параметров и выбор основных силовых элементов, расчет и проверка области существования электромеханических характеристик электропривода, построение характеристик таких как: электромеханические характеристики, искусственные характеристики при пониженных напряжениях.

Было произведено имитационное моделирование асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения в компьютерной среде MATLAB Simulink.

В результате исследований было установлено, что зависимость между углом управления и питающим напряжением нелинейная, а также есть минимальный угол управления. Пуск при пониженном напряжении позволяет снизить колебания момента и тока. Наибольшая эффективность плавного пуска достигается при использовании обратной связи по скорости, которая позволяет реализовать пуск по заданной траектории и снизить величину ударных моментов на механизм.

Результаты работы удовлетворяют заданию проекта. Таким образом, основная цель дипломной работы была выполнена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. – М.: Энергоиздат, 1982

2. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчёт характеристик электроприводов переменного тока. Ч.1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136 с.

3. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о датчике давления воды URL: http://www.intechnics.ru

4. Мощинский Ю. А., Беспалов В. Я., Кирякин А. А. Определение параметров схемы замещения машины по каталожным данным. // Электричество. – 1998. – №4. – С. 38 – 42

5.Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.

6. Семидуберский М.С насосы, компрессоры, вентиляторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е перераб. и доп. М., «Высшая школа»,1974 – 232с

7.Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением / Шубенко В.А., Браславский И.Я. – М., "Энергия", 1972

8. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.

9. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.

10. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электродвигателях URL: http://ekb.pulscen.ru/products/elektrodvigatel_air_5am_ad_4am_airm_160_s4_15_kvt_1500_ob_17310390

11. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о насосе URL: http://nasos.info/catalog.php?mode=view&id=6914

12. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о контакторах URL: http://realenergo.net/product/kontaktory-serii-ci-6-50-prednaznacheny-dlja-raboty-v-diapazone-moshnostej-22-25-kvt/

13. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об автоматических выключателях URL: http://www.elektroportal.com/series/show/va-5735», 2010.

14. Каталог продукции ОАО «Сибэлектромотор

15. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). « Опасные и вредные производственные факторы. Классификация »

16. ГОСТ 12.1.005-88 « Общие сангигиенические требования к воздуху рабочей зоны »

17. ГОСТ 12.1.003-83 « Шум. Общие требования безопасности »

18. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.

19. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т « Пожарная безопасность. Общие требования »

20. СП 9.13130.2009 « Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »

21. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.

22. СНиП П-12-77. « Защита от шума »

23. СНиП 2.04. 05-91. « Отопление, вентиляция и кондиционирование »

24. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. « Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты »

25. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. « Обучение работающих безопасности труда »

26. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. « Защитное заземление, зануление »

27. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. « Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов »

28. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. « Вибрационная безопасность. Общие требования »

29. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных »

30. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 « Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »

31. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».