

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод вентиляторной установки

УДК 62-83-52:621.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зимин Данила Олегович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Киселева Е.С.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Немцова О.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ «20» февраля 2020г. Тютева П.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Зимину Даниле Олеговичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод вентиляторной установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-78/с от 20.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p>Производительность вентилятора $Q = 55 \text{ м}^3/\text{с}$; Напор $H = 5000 \text{ Па}$; КПД вентилятора = 65%; КПД передачи = 100%.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова О.А., ассистент ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С., к.э.н., доцент ОСГН ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		20.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зимин Данила Олегович		20.02.2020

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		20.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С	к.т.н., доцент		20.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 107 страниц , 23 рисунков и 6 таблиц, использованных источников.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, тиристорный регулятор напряжения, вентилятор.

Объектом исследования является электропривод приточного вентилятора на базе системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный электропривод».

Цель работы: выбрать силовую схему электропривода, выбрать вентилятор, рассчитать параметры электродвигателя, выбрать тиристорный регулятор напряжения, исследовать работу системы при прямом и плавном пуске.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2015. Также были использованы: система компьютерной алгебры MathCAD15, и среда имитационного моделирования MatlabR2019a.

Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель.

ТП – тиристорный преобразователь.

ТРН – тиристорный регулятор напряжения.

ЭП – электрический привод.

ПЧ - преобразователь частоты.

УПП - устройство плавного пуска.

ДН – датчик напряжения

ДТ – датчик тока

Дθ – датчик температуры

УМ - усилители мощности сигналов управления

СЧ - силовая часть

КМ – контакторы

ИП - источник вторичного питания

ЭМТ - электромагнитный тормоз

БЛ - блок логики

СИФУ - системы импульсно-фазового управления

ТГ - тахогенератор

БКАС - блоки коммутации аналоговых сигналов

БКДС - блоки коммутации дискретных сигналов

БВР - блок выбора режимов

ТБ - технологическая блокировка

ПУ - пульт управления

ДУ - дистанционное управление

Оглавление

Введение.....	10
1. Литературный обзор.....	13
1.1. Назначение, устройство, принцип действия, технические и эксплуатационные характеристики.....	18
1.2. Анализ основных способов регулирования угловой скорости вала для данного типа механизма.....	18
1.3. Проблема плавного пуска.....	19
1.4. Возможности при использовании системы ТРН-АД для плавном пуске асинхронных двигателя.....	20
1.5. Требования к данному типу электроприводов.....	21
2. Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода	23
2.1 Выбор электродвигателя.....	23
2.2 Расчет-выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода	25
2.3. Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода.....	28
2.4. Расчёт потерь напряжения в кабеле.....	28
3. Проектирование каналов измерения (выбор датчика тока, температуры, напряжения)..	31
3.1. Канальный датчик температуры QAM21.20.....	31
3.2. Датчик напряжения SV025.....	32
3.3. Датчик тока STS 6.....	34
3.4. Функциональные схемы асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД.....	37
4. Статические характеристики двигателя.....	40
4.1. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.....	40
4.2. Расчет естественных характеристик $\omega=f(I)$ и $\omega=f(M)$	42
4.3. Расчет искусственных характеристик при частотном управлении.....	45
4.4. Расчет статической нагрузки электропривода.....	48
5. Динамические характеристики электропривода.....	50
5.1. Исследование прямого пуска АД от сети.....	50
5.2. Имитационная модель СИФУ тиристорного регулятора напряжения.....	55
5.3. Классификация СИФУ.....	56
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
6.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	64
6.1.2. SWOT – анализ.....	65
6.2. Планирование научно – исследовательских работ.....	67
6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	67
6.2.2. Определение трудоемкости работ.....	68
6.2.3. Разборка графика проведения научного исследования.....	69
6.3. Бюджет НИ.....	73
6.3.1. Основная заработная плата.....	73
6.3.2. Дополнительная заработная плата.....	75
6.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды.....	76
6.3.4. Амортизация	77
6.3.5. Материальные затраты.....	78
6.3.6. Накладные расходы.....	79
6.3.7. Формирование бюджета затрат НИ.....	79
6.3.8. Определение ресурсоэффективности НИ.....	80
7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	85

7.1.Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	85
7.2.Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	86
7.2.2. Производственная безопасность.....	87
7.2.1.Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	87
7.2.2.Движущиеся части машин и механизмов).....	88
7.2.3.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека.....	89
7.2.4.Отклонение параметров микроклимата.....	89
7.2.5.Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	91
7.2.6.Повышенный уровень шума.....	92
7.2.7.Повышенный уровень вибрации.....	93
7.2.8.Повышенный уровень электромагнитных полей.....	95
7.2.9.Экологическая безопасность.....	96
7.2.10.Безопасность в ЧС.....	97
7.2.11.Пожарная безопасность.....	99
Заключение.....	102
Литература.....	103

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 объектах 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 объем 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 системах вентиляции, насосных станциях водоснабжения, и в других системах различных хозяйств, предприятий.

Асинхронные двигатели потребляют не менее 25% всей производственной электроэнергии.

Низкий КПД большинства систем вентиляции приводит к значительному уровню расхода электроэнергии.

В связи с большой энергоемкостью вентиляторных установок к ним предъявляют высокие требования. Повышение КПД вентиляторной установки даже на 1% дает значительную экономию. Регулирование привода помогает снизить потребления электроэнергии и рационального его использования.

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработка регулируемого привода вентилятора с системой плавного пуска для обеспечения экономии электроэнергии и регулирование электропривода.

Объект исследования является регулируемый электропривод вентилятора с системой плавного пуска на базе ТРН-АД.

Для выполнения работы использовались методы: теоретического анализа, изучение технической литературы и научных статей, а также моделирования.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- по теме произвести анализ технической литературы;
- произвести принцип управления и его технико-экономическое обоснование;
- произвести целесообразный выбор электропривода, обеспечивающего работоспособность установки;
- произвести расчет статических характеристик электропривода;
- исследовать регулирование асинхронного электропривода вентилятора;

- выполнить математическое моделирование в компьютерной среде Matlab.

1. Литературный обзор

Вентилятор — устройство для перемещения газа, то есть для проветривания помещения. В обычном случае он представляет собой ротор с закрепленными на нем лопастями. Эти лопасти, при вращении ротора, сталкиваются с воздухом, отбрасывают и перемешивают его. От формы лопаток и от их положения зависит направление, в котором будет нагнетаться воздух.

Вентиляторы принято классифицировать на:

- Осевой (аксиальный) вентилятор.
- Центробежный (радиальный) вентилятор.
- Вентилятор диаметального сечения (тангенциальный).

Осевой (аксиальный) вентилятор — воздух в таких вентиляторах проходит параллельно валу благодаря лопастям. Широкое распространение такие вентиляторы получили благодаря простоте применения и конструкции и благодаря одному и тому же направлению нагнетаемого и всасываемого воздуха. Осевые вентиляторы можно классифицировать по конструкции лопастей:

- С-колесо — Лопатки могут быть отрегулированы при работе. Имеют высокую эффективность и небольшие размеры.
- Рулевое колесо — Лопатки можно регулировать только тогда, когда вентилятор «стоит на месте». Адаптируется к необходимому объему воздуха.
- К-колесо — Лопатки не могут быть отрегулированы. Просты, небольшие размеры.

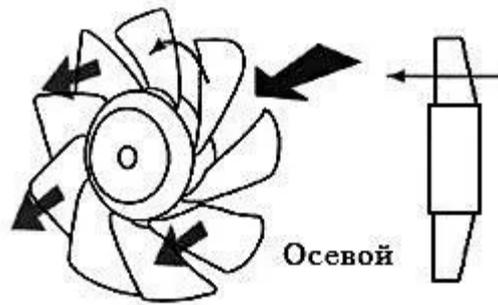


Рисунок 1 – Осевой (аксиальный) вентилятор

Центробежный (радиальный) вентилятор – у такого вентилятора ротор имеет спиральной формы лопадки. Воздух поступает через отверстие, приводя ротор в движение. В выходное отверстие спирального кожуха воздух направляется благодаря центробежной силы, т.е. нагнетаемый воздух располагается под прямым углом к входному. Такие вентиляторы широко распространились в промышленности.



Рисунок 2 – Центробежный (радиальный) вентилятор

Вентилятор диаметального сечения (тангенциальный) – имеет ротор выполненный в виде «белчьего колеса» (у такой ротор имеет лопадки вдоль всей периферии и пусто пространство в центре). У таких вентиляторов загнутая крыльчатка вместо стенок цилиндра. Крыльчатка встроена в корпус и имеет вид диффузора, что делает конструкцию похожую на центробежный вентилятор. Но разница заключается в том, что воздух у центробежного вентилятора забирается с торца, а у тангенциального по всей длине с фронтальной стороны. Воздух захватывается лопатками, после чего получает ускорения за счет диффузора в необходимом направлении. К достоинствам таких вентиляторов можно отнести равномерность воздушного потока и имеют очень низкий уровень шума. Но есть и недостатки такие как: большие

размеры и сравнительно низкое воздушное давление, а также напор низок, что делает невозможность глубокой фильтрации. Такие вентиляторы нашли применение в кондиционерах и устройствах, где напор воздуха не важен.



Рисунок 3 – диаметральный сечения (тангенциальный) вентилятор

Безлопастные вентиляторы – в таких вентиляторах формирование воздушного потока происходит с помощью нагнетателя, который подает воздух и находится в основании. Воздух поступает через щели в рамке. Благодаря аэродинамике воздух затягивает рядом находящиеся слои. Поток воздуха усиливается в таких вентиляторах может быть в 15 раз в сравнении с прокачиваемыми нагнетателями. Направления потока можно изменить регулированием положения рамки. Преимуществом данного типа вентилятора является отсутствие движущихся деталей снаружи корпуса, а недостатком является шумность.



Рисунок 4 – безлопастной вентилятор

Вентиляторы по исполнению:

- Многозональные вентиляторы.
- Канальные вентиляторы (прямоточный).
- Крышные вентиляторы (вытяжной).

Многозональные вентиляторы – такой тип исполнения даёт возможность подключить сразу несколько всасывающих воздуховодов, которые смогут обеспечить воздухом несколько разных зон. Зонами могут быть вентиляционный канал либо часть помещения. Такая вентиляция нашла применение на объектах с необходимостью сделать вытяжку из нескольких зон, а для выброса воздуха только один канал. Многозональные вентиляторы даёт возможность для оптимизации сети воздуховодов и помогает сократить фасонных изделий, что позволяет значительно сэкономить.

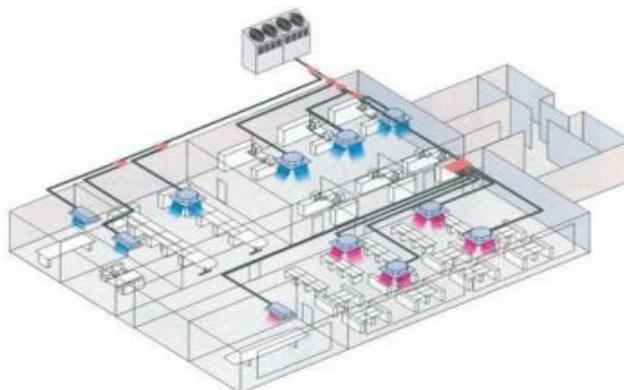


Рисунок 5 – Схема многозонального включения вентилятора

Канальные вентиляторы (прямоточный) - такие вентиляторы монтируются в вентиляционный канал. Прямоточные вентиляторы устанавливают в едином корпусе с электродвигателем на одном валу и применением дополнительной виброизолирующей прокладкой. Вентилятор может быть разного исполнения: многолопастным, радиальным или осевым, а также с загнутыми лопастями назад или вперед. Для корпуса таких вентиляторов используют специального пластика, а может быть и смешанным. Благодаря маленьким габаритам появляется возможность для установки

напрямую в сеть воздуховода и скрываться за подшивным потолком. По размещению вентилятора нет каких-то ограничений и положение может быть любым. Преимуществом канального вентилятора является его компактные габариты при больших расходах воздуха.

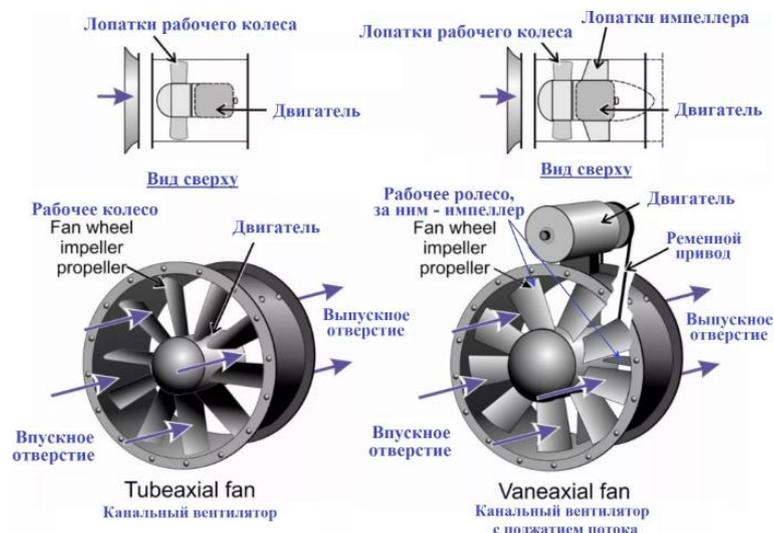


Рисунок 6 – Канальное исполнение вентилятора

Крышные вентиляторы (вытяжной) - данный тип вентиляторов монтируется на крышах зданий и имеют высокую как долговечностью, так и стойкостью к погодным условиям благодаря специальной рамы. В связи со сложными условиями эксплуатации к ним предъявляются высокие требования к пыле- и влагостойкости, так как они находятся на улице и подвержены всем изменениям погодных условий. Поэтому такие вентиляторы необходимо выполнять из высококачественной стали с эпоксидным коррозионным покрытием. Область применение вентиляторов распространяется как на высокотемпературные системы, так и на системы с общей вентиляцией.



Рисунок 7 – Крышное исполнение радиального вентилятора

1.1. Назначение, устройство, принцип действия, технические и эксплуатационные характеристики.

Главным назначением вентилятора является – вентиляция помещения (перемещение и перемешивание воздушных масс), воздуходувки. В случаях с мощными осевыми вентиляторами они могут служить в качестве движителя из-за отбрасываемого воздуха который создает силу противодействия воздействующего на ротор.

Основные характеристики вентилятора:

В зависимости от задач которые необходимо решать, выбор вентилятора должен учитывать следующие основные параметры:

- полное создаваемое давление
- расход воздуха
- потребляемая мощность
- коэффициент полезного действия (КПД)
- частота вращения
- уровень звукового давления

1.2. Анализ основных способов регулирования угловой скорости вала для данного типа механизма.

Важной проблемой в системах вентиляции является реализация плавного пуска АД, так как зачастую используется прямой пуск, что приводит к множеству проблем, таких как: удары и рывки в механической части, большое значение пускового тока. Для решения этой проблемы используют следующие способы: использование ПЧ и ТРН, изменение числа пар полюсов.

Самым старым, но и самым неэффективным является изменение числа пар полюсов, потому что такой метод дает только ступенчатое регулирование скорости, а это приводит к броскам тока.

ТРН и ПЧ системы можно считать одинаково эффективные. В настоящее время ПЧ считают более эффективным, так как имеет хорошие массогабаритные показатели, высокое КПД и широкий диапазон регулирования. Но весомым недостатком стала высокая стоимость.

В установках, которым необходим безударный пуск, но они не нуждаются в большом диапазоне регулирования такие как насосы и вентиляторы использование системы ТРН является. Так как при пуске мощных АД приводит к появлению ударных в сети и уменьшению напряжения, что оказывает негативное влияние на других потребителей и может привести в аварии. Использование системы ТРН помогает обеспечить эффективные плавный пуск двигателя, обладая хорошими массогабаритными показателями, но имеет значительно меньшую стоимость в сравнение ПЧ. В виду этого в данной работе система ТРН-АД использоваться, как устройство плавного пуска.

1.3 Проблема плавного пуска

Прямой пуск электромеханических приводов осуществляется прямым включением двигателей на номинальное напряжение. Процесс пуска определяется механическими характеристиками двигателя и нагрузки. При прямом пуске электродвигателя переменного тока по обмоткам двигателя протекают большие токи, которые при частых пусках могут привести к выходу из строя двигателя вследствие разрушения изоляции обмоток.

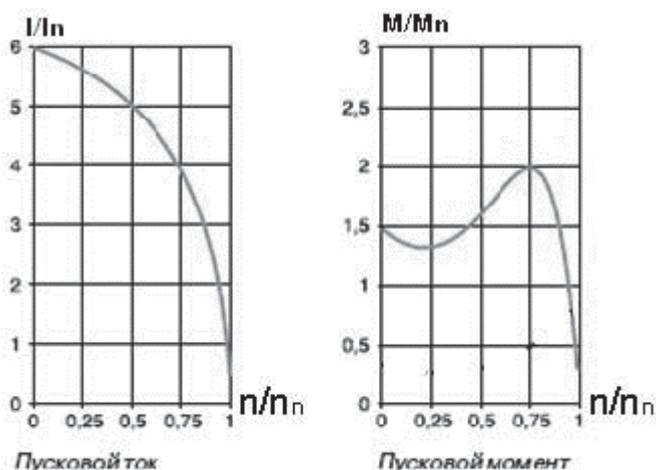


Рисунок 8 - Характеристики пускового тока и момента для асинхронного двигателя малой и средней мощности

Разрушение происходит по двум причинам: механические разрушения и снижение изоляционных характеристик из-за превышения допустимой температуры. Первая причина связана с тем, что на обмотки двигателя действуют электродинамические усилия, величина которых пропорциональна квадрату тока. Пусковой ток двигателя в 5-7 раз превышает номинальный, соответственно в 25-49 раз возрастают электродинамические усилия, действующие на обмотки. Они приводят к механическим перемещениям обмотки в пазовой и лобовых частях, которые разрушают изоляцию. Вторая причина – термическое разрушение изоляции – связана с тем, что при превышении температурой изоляции установленного для неё порога, в последней происходят необратимые физико-химические процессы, приводящие к форсированному старению изоляции. Достаточно вспомнить, что тепловыделение в обмотках пропорционально квадрату величины тока.

Кроме того, в процессе прямого пуска возникают и сильные механические вибрации, которые разрушают шестерни и подшипники электромеханических приводов. Поэтому, самой важной задачей, для решения которой необходимо отказаться от прямого пуска электродвигателей является снижение влияния переходных электрических и механических процессов. Именно переходные процессы не позволяют осуществить синхронную работу нескольких независимых узлов в сложных станках, линиях или установках в процессе пуска и торможения.

1.4 Возможности при использовании системы ТРН-АД для плавном пуске асинхронных двигателя.

Высокие технико-экономические показатели при использовании системы ТРН-АД обусловлены механической характеристикой центробежных механизмов $M_{ст} = f(\omega)$. Максимальную эффективность использования можно достичь путем применения системы ТРН-АД для плавного пуска нескольких

электроприводов. В таком случае один ТРН осуществляет поочередный пуск двигателей. При увеличении количества двигателей экономическая эффективность возрастает.

1.5 Требования к данному типу электроприводов

Требования к электроприводу вентилятора вентиляторы среди турбомеханизмов располагаются на втором месте следом за насосами по распространению в промышленности. Больше их число доводится на вентиляторы санитарно-технического назначения, которые осуществляют кондиционирование воздуха в производственных и иных помещениях. Несмотря на относительно малую мощность данных вентиляторов (до 100 кВт) на их долю доводится высокая суммарная потребляемая энергия.

Мощные вентиляторы применяются для усиления интенсивности охлаждения воды в градирнях металлургических и химических комбинатов. Они имеют низкую частоту вращения рабочего колеса, как правило не выше 600 об/мин.

Ограничение допустимой скорости концов лопастей рабочего колеса заставляет с ростом диаметра колеса уменьшать его номинальную частоту вращения. Вентиляторы обладают высоким моментом инерции, порой на порядок и более превосходящий момент инерции приводного двигателя, что затрудняет их запуск, а в отдельных эпизодах требует употребления электрического торможения для резкой остановки рабочего колеса.

Вентиляторы в отличие от иных турбо-механизмов постоянно работают на сеть без противодействия, из-за чего зависимость момента статического сопротивления на валу приводного двигателя от скорости имеет квадратичный характер, а мощность, которая подводится к вентилятору в отсутствие учета потерь на трение в подшипниках пропорциональна скорости в кубе.

Важное значение для линейки вентиляторов располагает применение регулируемого электропривода, поскольку по отдельным данным утверждается, что коэффициент полезного действия вентиляторов при регулируемом электроприводе должен быть выше, чем при нерегулируемом, приблизительно на 12 %. Кроме увеличения коэффициента полезного действия употребление регулируемого привода вентиляторов позволяет в отдельных случаях упростить устройство турбомашин, а также снабдить синхронную работу двух и более вентиляторов.

В наше время тенденции перехода к регулируемому приводу для вентиляторов стали очевидными.

Вентиляторы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с высокой длительностью работы в течение года; нагрузка на валу приводного двигателя тихая, перегрузки не наблюдаются. Вентиляторы имеют высокий момент инерции, который необходимо учитывать при расчете пусковых характеристик электроприводов.

Нужный диапазон регулирования скорости для вентиляторов как правило не превосходит 2:1. Более глубокое регулирование употребляется крайне мало.

Запуск вентилятора может быть, как при разгруженной машине, т.е. при затворенном направляющем аппарате, так и при полностью отворенном. В первом эпизоде наибольший момент при пуске двигателя вентилятора равен приблизительно 0,4 номинального, во втором – просто номинальному. При пуске мощных вентиляторов с большим диаметром рабочего колеса как правило нужно ограничение ускорений при пуске во избежание появления больших динамических напряжений в лопастях рабочего колеса.

Приведенным требованиям наиболее полно отвечает частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора. При этом, обычно, можно ограничиться употреблением простых и дешевых систем частотного регулирования.

2. Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода

2.1. Выбор электродвигателя

Мощность является главным аспектом выбора двигателя. Номинальная мощность выбранного двигателя должна быть больше мощности, рассчитанной с помощью исходных данных. Исходные данные предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные к работе

Производительность вентилятора	$Q = 55 \text{ м}^3/\text{с}$,
Напор	$H = 5000 \text{ Па}$,
Диапазон регулирования	$D_\omega = 1 - 5$
КПД вентилятора	$\eta = 0,65$
КПД передачи	$\eta_n = 1$

Для вентиляторов необходимая мощность определяется по формуле:

$$P = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta \cdot \eta_n} = 1,25 \cdot \frac{0,55 \cdot 5000}{0,65 \cdot 1} = 5,288 \text{ кВт},$$

Выбран двигатель 4А100L2У3 с номинальной мощностью 5500 Вт, изображенный на рисунке 7. Из расчета видно, что данный двигатель подходит для привода вентилятора

$$P_{\text{ном}} = 5,5 \text{ кВт} \geq P_{\text{рас}} = 5,288 \text{ кВт},$$

Условие выполняется.

Таблица 2 – Техническая характеристика двигателя 4А100L2У3

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, %	$\cos \varphi_{\text{Н}}$	$s_{\text{Н}}$, %	$m_{\text{П}}$	$m_{\text{К}}$	$m_{\text{М}}$	$k_{i,\text{ДВ}}$	$J_{\text{ДВ}}$, кг·м ²
5,5	87,5	0,91	3,4	2	2,5	1,6	7,5	0,0075
Типоразмер электродвигателя	$P_{2\text{НОМ}}$, кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.				
		$\eta_{\text{Н}}$, %	$\cos \varphi_{\text{Н}}$	x_{μ}'	в номинальном режиме работы			
					R_1'	x_1'	R_2''	x_2''
Синхронная частота вращения 3000 об/мин								
4А100L2У3	5.5	87.5	0.91	3.8	0.050	0.054	0.036	0.11

Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным:

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{Н}}}{z_p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{ДВ.Н}} = (1 - s_{\text{Н}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,034) \cdot 314 = 303,478 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}}}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{5500}{303,478} = 18,123 \text{ Нм},$$

КПД

$$\eta_{\text{Н}} = 0,875.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда:

$$U_{1\text{ФН}} = \frac{U_{1\text{ЛН}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В},$$

$$I_{1\text{ФН}} = I_{1\text{ЛН}} = I_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}}}{3 \cdot U_{1\text{ФН}} \cdot \cos \varphi_{\text{Н}} \cdot \eta_{\text{Н}}} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,91 \cdot 0,875} = 10,466 \text{ А},$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_{i,\text{ДВ}} \cdot I_{1\text{ЛН}} = 7,5 \cdot 10,466 = 78,493 \text{ А},$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{К}} = m_{\text{К}} \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = 2,5 \cdot 18,123 = 45,308 \text{ Нм},$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 18,123 = 36,246 \text{ Нм.}$$

2.2. Расчет-выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода

Выбор тиристоров для схемы тиристорного регулятора напряжения осуществляется по следующим параметрам:

Максимально допустимое напряжение на тиристоре:

$$U_M = 2,32 \cdot U_{\Phi} = 2,32 \cdot 220 = 510,4 \text{ В,}$$

Тиристор должен выдерживать пусковой ток:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i,\text{дв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7,5 \cdot 10,466 = 78,493 \text{ А,}$$

На основании этих расчетов выбираем тиристоры серии Т132-50

Основные особенности:

- Герметичные металлокерамические корпуса
- Прижимные внутренние контактные соединения, обеспечивающие высокую стойкость к циклическим нагрузкам
- Соответствие международным стандартам
- Высокое повторяющееся импульсное обратное напряжение (U_{drm}) и повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии (U_{prm})
- Низкие потери в открытом состоянии

Области применения:

- Полностью управляемые и полу управляемые выпрямительные мосты
- Управление двигателями постоянного тока
- Регуляторы переменного тока (например, для контроля температуры)

Параметры тиристоров Т132-50

Таблица 4

Обозначение параметра	Наименование, единица измерения	Тип тиристора			Условия установления норм на параметры
		T131-40 T132-40	T131-50 T132-50	T132-63	
$I_{T(AV)}$	Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии, А	40	50	63	$T_c = 85^\circ\text{C}$, $t_i = 10$ мс, $f = 50$ Гц
I_{TRMS}	Действующий ток в открытом состоянии, А	62	78	98	$T_c = 85^\circ\text{C}$
I_{TSM}	Ударный ток в открытом состоянии, кА	0,75	0,80	1,25	$T_{jm} = 125^\circ\text{C}$, $U_R = 0$, $t_i = 10$ мс, импульс одиночный
		0,82	0,90	1,37	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $U_R = 0$, $t_i = 10$ мс, импульс одиночный
U_{TM}	Импульсное напряжение в открытом состоянии, В, не более	1,75		1,60	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_T = 3,14 I_{T(AV)}$
$U_{T(TO)}$	Пороговое напряжение в открытом состоянии, В	1			$T_{jm} = 125^\circ\text{C}$
r_T	Динамическое сопротивление в открытом состоянии, Ом	0,0060	0,0048	0,0030	$T_{jm} = 125^\circ\text{C}$
I_H	Ток удержания, мА, не более	90		120	$T_j = 25^\circ\text{C}$, $U_D = 12$ В
I_L	Ток включения, мА, не более	150			$T_j = 25^\circ\text{C}$, $U_D = 12$ В, $I_G = 3I_{GT}$, $t_G = 50$ мс
$I_{T(AV)}$	Средний ток в открытом состоянии, А (с типовым охладителем)	21	23	24	$T_a = 40^\circ\text{C}$, естественное охлаждение, охладитель ОР231

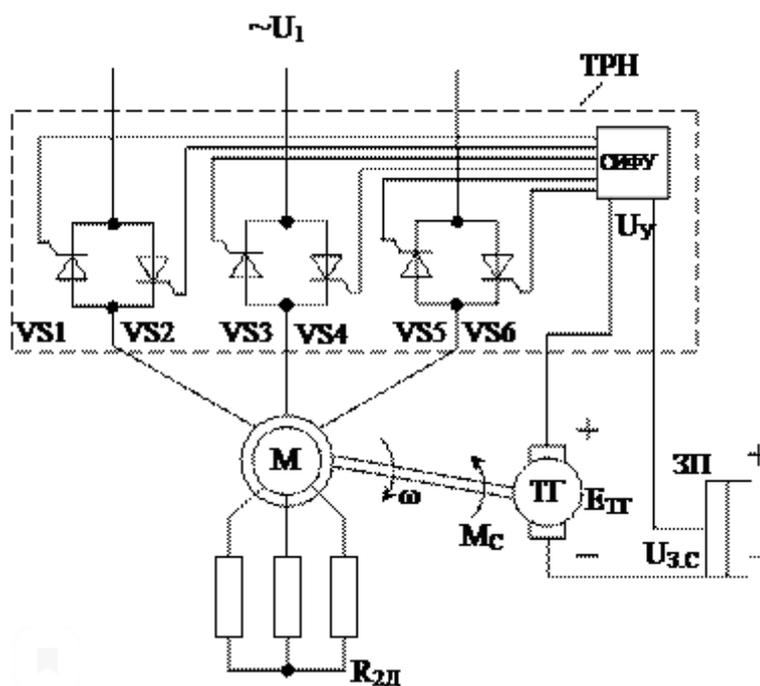


Рисунок 9 - Схема замкнутой системы ТРН—АД

Между сетью и статором АД включены три пары встречно-параллельно соединенных тиристоров VS1 — VS6, образующих силовую часть ТРН. Управляющие электроды тиристоров подсоединены к выходам системы импульсно-фазового управления (СИФУ), которая распределяет управляющие импульсы на все тиристоры и осуществляет их сдвиг в зависимости от сигнала управления U_y . К валу АД подсоединен тахогенератор ТГ. Его ЭДС $E_{ТГ}$ сравнивается с задающим напряжением $U_{3,с}$, снимаемым с

задающего потенциометра скорости ЗП, причем эти напряжения включены навстречу друг другу. Разность напряжений $U_{з.с}$ и $E_{тг}$, равная напряжению управления поступает на вход СИФУ.

$$U_y = U_{з.с} - E_{тг};$$

При увеличении этого сигнала угол управления тиристорами уменьшается, а подаваемое на АД напряжение увеличивается и наоборот. В цепь ротора АД постоянно включен добавочный резистор R2Д, наличие которого позволяет расширить диапазон регулирования скорости и облегчить тепловой режим АД при его работе на пониженных скоростях.

На рис.15. приведена функциональную схему СИФУ системы ТРН-АД.

Система импульсно-фазового управления СИФУ с блоком комбинированной синхронизации БС (по напряжению U и току I) совместно с блоком формирования импульсов БФИ и блоком отдельного управления тиристорами в фазах БРУТ позволяют обеспечить при малых нагрузках устойчивую работу в разомкнутой системе ЭП. В специальных режимах эта структура позволяет реализовать кратковременное снижение скорости при квазичастотном управлении, форсирование пускового момента, вращения вала АД в прямом и обратном направлении на пониженных скоростях.

Для получения линейной зависимости выходного напряжения ТРН от входного сигнала система управления может содержать блок линеаризации ЛИН, существенно упрощающий синтез внешних, по отношению к СИФУ, обратных связей в замкнутой системе ЭП.

Блоки коммутации аналоговых БКАС и дискретных сигналов БКДС по командам от блока выбора режимов БВР формируют последовательность импульсов для элементов управления СИФУ. Блок БВР управляет очередностью выполнения команд (сигналов) функциональных блоков Ф1-Фі, блоков защит ФЗ1-ФЗі, технологических блокировок ТБ, команд с пульта управления ПУ или дистанционного управления ДУ.

2.3. Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода

Выбор типа проводников и конструкции сети проводится с учетом окружающей среды помещений цехов. В цеховых сетях до 1000 В используются электропроводки, комплектные шинопроводы, кабельные линии. Способ прокладки питающей сети определяется в зависимости от характера окружающей среды.

Исходя из номинального тока двигателя выбирается медный трехжильный бронированный круглый жил с пропитанной бумажной изоляцией кабель сечением 16 мм² марки ПВ-3(1х16), у которого допустимый ток равен 90 А. Каждая жила кабеля имеет слой изоляции и оболочку, подушки из бумажной и брони. Три изолированные жилы плоского кабеля уложены параллельно в ряд. Каждая жила кабеля имеет слой изоляции и оболочку, подушки из бумажной и брони.

Кабель марки ПВ имеет:

Рабочее напряжение 0 – 3 кВ
Допустимую температуру окружающей среды от –50°С до +70°С
Срок службы кабеля ПВ - не менее 30 лет.



Рисунок 10 – кабель марки ПВ-3(1х16)

2.4 Расчёт потерь напряжения в кабеле

Расчет потерь линейного (между фазами) напряжения кабеле при производится по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta U(B) &= \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{л}} \\ &= \frac{5,5 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 2,5 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380} \\ &= 4,35 \text{ В,}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta U(\%) &= \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{л}^2} \\ &= \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 1,6 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380^2} \\ &= 0,011\%,\end{aligned}$$

X - удельное индуктивное сопротивление, для кабелей с медными жилами 0,09 Ом/км;

P - активная мощность передаваемая по линии, Вт;

Q - реактивная мощность передаваемая по линии, Вар;

R - удельное активное сопротивление для кабелей с медными жилами 2,97 Ом/км;

L - длина кабельной линии, м;

U_л - линейное напряжение сети, В;

U_ф - фазное напряжение сети, В.

Проверить сечение кабеля по условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защите:

Выбираем кабель марки ПВ-3(3х16), у которого $I_{доп} = 90 \text{ А}$;

$$I_{доп} = 90 \text{ А} \geq I_{ном} = 10,466 \text{ А},$$

Проверка сечения проводника по условию соответствия аппарату защиты:

$$I_{доп} = 90 \text{ А} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_{прокл}} = \frac{60 \cdot 1}{1} = 60 \text{ А},$$

Выбираем предохранитель НПН2-60, $I_{вс} = 15 \text{ А}$;

$$\text{Проверка: } I_{\text{ном.пр.}} = 60 \geq I_{\text{вс}} = 25 \text{ А,}$$

$$I_{\text{вс}} = 25 \text{ А} \geq I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} = 10,466 \text{ А,}$$

$$I_{\text{вс}} = 25 \text{ А} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha} = \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha} = \frac{52,33}{2,5} = 20,932 \text{ А,}$$

$$\text{где } I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_{\text{р}} = 5 \cdot 10,466 = 52,33 \text{ А,}$$

α - коэффициент, характеризующий условия пуска двигателя. Для легкого пуска: $\alpha = 2,5$.

Значит $I_3 = 60 \text{ А}$.

Выбираем автомат серии *ВА13-25* $I_{\text{ном}} = 25 \text{ А}$

$$I_{\text{н.расц.}} = 25 \text{ А} \geq I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} = 10,466 \text{ А,}$$

$$I_{\text{кз.}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск.}} = 1,5 \cdot 30,1 = 45,15 \text{ А,}$$

$$\text{где } I_{\text{кз.}} = k \cdot I_{\text{н.расц.}} = 4 \cdot 25 = 100 \text{ А.}$$

3. Проектирование каналов измерения (выбор датчика тока, температуры, напряжения)

3.1 Канальный датчик температуры QAM21.20

Канальные датчики температуры воздуха предназначены для измерения температуры в канале воздуховода системы вентиляции.

Канальные датчики температуры могут быть использованы для измерения температуры как приточного, так и вытяжного воздуха.

Датчик TMD Pt1000, NTC10 крепится к воздуховоду с помощью регулируемого фланцевого соединения для оптимального измерения температуры.

Датчик дТС3015-Pt1000.B2.200 используется совместно с измеритель-регулятором температуры ТРМ-1 и контроллером RegVent PRO.



Рисунок 11 – Датчик дТС3015-Pt1000.B2.200

Технические характеристики датчика дТС3015-Pt1000.B2.200

Таблица 5

Чувствительный элемент	Pt1000
Температура среды, °C	-50...+120
Погрешность, °C	(0,3+0,005 t)
Допустимое давление, МПа	1,6
Длина монтажной части, мм	200
Тип сенсора	Pt1000 PCA1.2010.10L
Материал защитной арматуры	12X18H10T
Схема подключения	двухпроводная
Степень защиты	IP54

Датчик температуры приточного воздуха предназначен для определения температуры воздуха в воздуховоде. Он передает электрический сигнал о температуре на контроллер, который, в свою очередь, управляет регулирующим клапаном на теплоносителе калорифера. При уменьшении измеренной температуры клапан открывается, при увеличении — закрывается, изменяя количество теплоносителя поступающего в калорифер и, следовательно, изменяется нагрев воздуха в системе.

3.2 Датчик напряжения SV025

Отличительные особенности

- Компенсационный датчик на эффекте Холла
- Изолирующий пластиковый негорючий корпус,
- Расширенный температурный диапазон -50 °C .. + 85 °C

$$U_{PH} = 10 \dots 500B,$$

$$I_{PH} = 10mA.$$



Рисунок 12 – Датчик напряжения SV025

Преимущества:

- Отличная точность;
- Хорошая линейность;
- Низкий температурный дрейф;
- Оптимальное время отклика;
- Широкий частотный диапазон;
- Высокая помехозащищенность;
- Высокая перегрузочная способность;

Применение:

- Частотно-регулируемые приводы переменного тока;
- Статические преобразователи постоянного тока;
- Системы управления работой аккумуляторных батарей;
- Источники бесперебойного питания (ИБП);
- Источники питания для сварочных агрегатов.

Параметры датчик напряжения

I_{in}	Номинальный входной ток, эфф.знач.	10	mA
I_r	Диапазон преобразования	0 .. ± 20	
R_m	Величина нагрузочного резистора	$R_{n, min}$	$R_{n, max}$
	при ± 12 V	при ± 10 mA _{max}	30 190 Ом
		при ± 20 mA _{max}	30 100 Ом
	при ± 15 V	при ± 10 mA _{max}	100 350 Ом
		при ± 20 mA _{max}	100 350 Ом
I_{out}	Номинальный аналоговый выходной ток	25	mA
K_N	Коэффициент преобразования	2500 : 1000	
V_c	Напряжение питания (± 5 %)	± 12 .. 15 В	
I_c	Ток потребления	10 (@±15В) + I_{in} mA	
V_i	Электрическая прочность изоляции, 50 Гц, 1 мин	4.1	kВ

Точно-динамические характеристики

X	Точность преобразования при $I_{in} = T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.8	%	
ϵ_L	Нелинейность	< 0.2	%	
I_{out}	Начальный выходной ток при $I_{in} = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Средн	Макс	
		Температурный дрейф I_{in} -40°C .. +85°C	± 0.15 mA	± 0.50 mA
		-50°C .. -40°C	± 0.25 mA	± 0.80 mA
t_d	Время задержки при 90 % от $I_{r, max}$	20	мкс	

Справочные данные

T_A	Рабочая температура	-50 .. +85	°C
T_s	Температура хранения	-50 .. +90	°C
R_{in}	Входное внутреннее сопротивление при $T_A = 85^\circ\text{C}$	135	Ом
R_{out}	Выходное внутреннее сопротивление при $T_A = 85^\circ\text{C}$	117	Ом
m	Вес	22	г

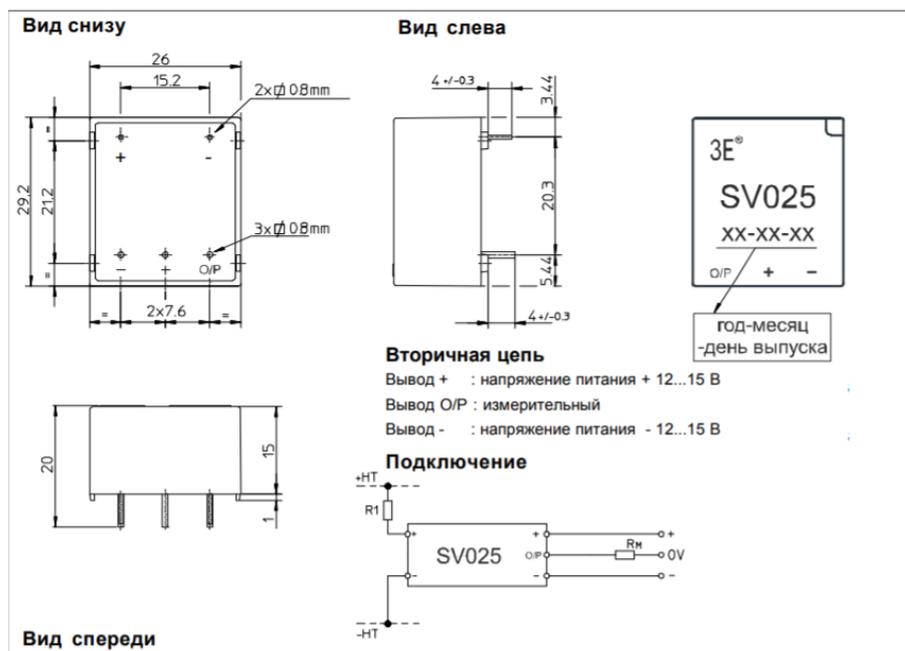


Рисунок 13 – Размеры SV025

3.3 Датчик тока STS 6

Отличительные особенности

- Датчик на эффекте Холла;
- Однополярное питание +5В;
- Разработан для установки на печатную плату;
- Адаптирован к применению в микропроцессорных системах;
- Встроенный измерительный резистор;
- Изолирующий пластиковый негорючий корпус;
- Расширенный диапазон преобразования.

$$I_{PH} = 2, 3, 6 \text{ A}$$

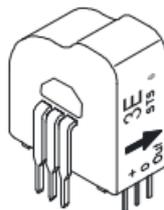


Рисунок 14 – Датчик тока STS 6

Преимущества

- Отличная точность;
- Хорошая линейность;
- Высокая перегрузочная способность;
- Широкий частотный диапазон;

Применение :

- Частотно-регулируемый привод переменного тока;
- Преобразователи для привода постоянного тока;
- Системы управления работой аккумуляторных батарей;
- Источники бесперебойного питания;
- Программируемые источники питания;
- Источники питания для сварочных агрегатов.

Электрические параметры			
I_{PN}	Номинальный входной ток, эфф. значение	6	А•вит
I_P	Диапазон преобразования	0 .. ± 19.2	А•вит
V_{OUT}	Выходное напряжение, при $I_P = 0$	2.5 ¹⁾	В
	при I_P	2.5 ± (0.625 • I_P / I_{PN})	В
R_L	Сопротивление нагрузки	≥ 2	кОм
N_S	Число вторичных витков (± 0.1 %)	960	
R_M	Встроенный измерительный резистор (± 0.1 %)	100	Ом
TCR_M	Температурный дрейф измерительного резистора	< 50	ppm/K
V_C	Напряжение питания (± 5 %)	5	В
I_C	Потребляемый ток при $I_P = 0$, $V_C = 5$ В	25 + I_S^{21} + (V_{OUT} / R_L)	мА
V_S	Электрическая прочность изоляции, 50 Hz, 1 мин	3	кВ

Точностно-динамические характеристики			
X	Точность преобразования при I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.2	%
X_G	Полная точность преобразования при I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C} \pm 0.7^{3)}$		%
ϵ_L	Нелинейность	< 0.1	%
		Макс. знач.	
TCV_{OUT}	Температурный дрейф V_{OUT} при $I_P = 0$		
	- 40°C .. + 85°C	0,5	мВ/К
TCE_G	Температурный дрейф коэфф. преобразования,		
	- 40°C .. + 85°C	50 ⁴⁾	ppm/K
V_{OM}	Гистерезис выходного напряжения при $I_P = 0$, после прохождения тока		
	3 x I_{PN}	± 0.5	мВ
	5 x I_{PN}	± 2.0	мВ
	10 x I_{PN}	± 2.0	мВ
t_f	Время задержки при 90 % от $I_{P, max}$	< 400	нС
di/dt	Скорость нарастания входного тока	> 50	А/мкс
f	Частотный диапазон (0 .. - 0.5 дБ)	0 .. 100	кГц
	(- 0.5 .. 1 дБ)	0 .. 200	кГц

Справочные данные			
T_A	Рабочая температура	- 40 .. + 85	°C
T_S	Температура хранения	- 50 .. + 100	°C
m	Вес	10	г

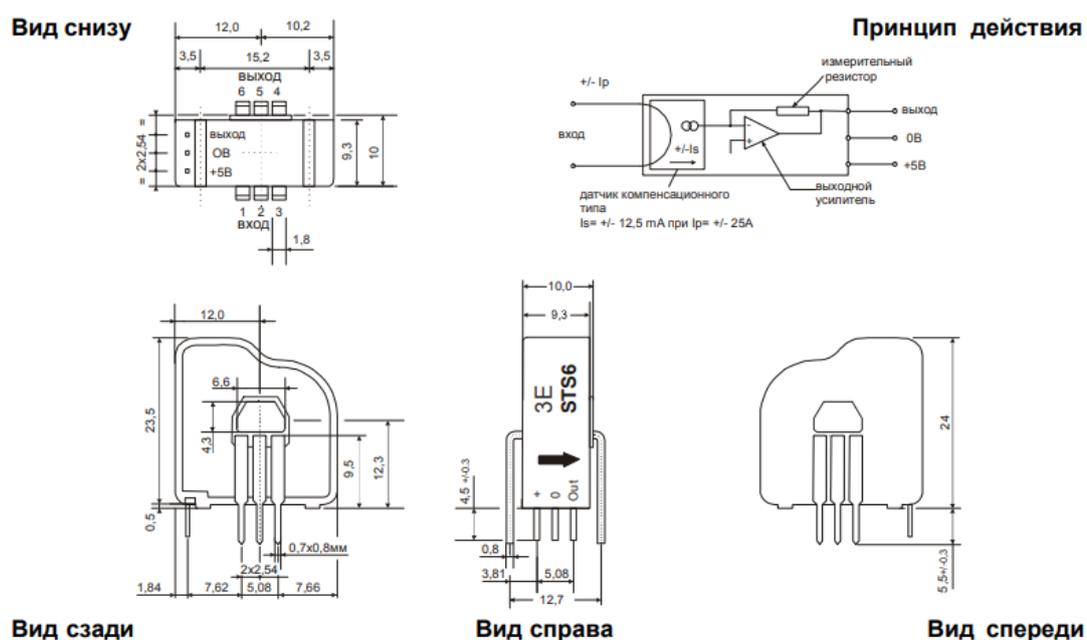


Рисунок 15 – Размеры STS 6

3.4 Функциональные схемы асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД

На рис.16. приведена структурная схема обобщенной системы ТРН-АД. Конкретная структура ЭП может быть получена на основе обобщенной путем выделения требуемых элементов и связей, ее составляющих.

В обобщенную структуру ТРН-АД входят: силовая часть СЧ, состоящая из силовых тиристорных блоков, шунтируемых силовыми контакторами КМ; источник вторичного питания ИП; датчики напряжения ДН на входе и выходе СЧ; датчики тока ДТ; датчики температуры силовых элементов, обмоток АД-Дθ; датчик скорости ДС; датчик положения ДП и электромагнитный тормоз ЭМТ. Система управления содержит усилители мощности сигналов управления УМ питания катушки контактора КМ, сигналов цепей управления VS, катушек ЭМТ с оптронной развязкой ОР.

происходит корректировка управляющего сигнала блоком управления, в состав которого входят различные регуляторы.

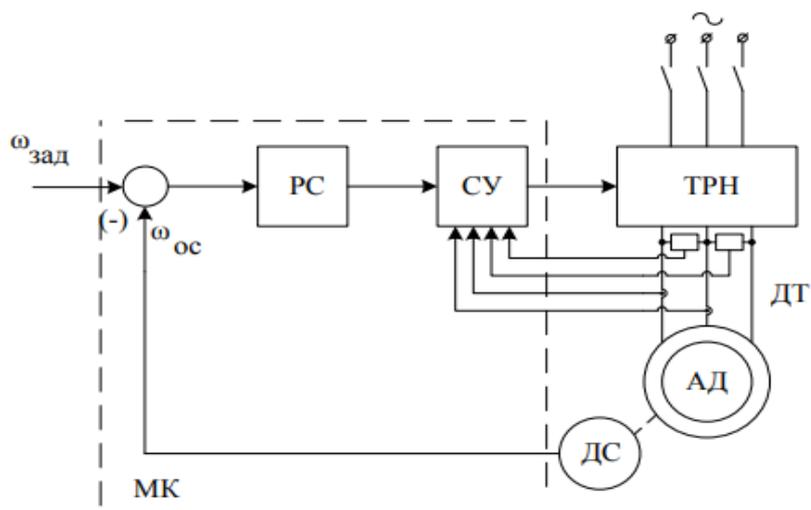


Рисунок 17- Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью от датчика скорости

Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью по скорости состоит из таких блоков, как: микропроцессор (МК), регулятор скорости (РС) и система управления (СУ); тиристорный регулятор напряжения (ТРН), асинхронный двигатель (АД), датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН) статора [3]. В данной схеме обратная связь организуется от датчика скорости (ДС). Работа МК заключается в том, чтобы выработать закон управления открытия тиристоров в ТРН согласно заданной скорости $\omega_{зад}$. Закон управления формируется за счет данных с ДС, ДН, ДТ.

Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН – АД, замкнутого по сигналу с наблюдателя скорости (НС) представлена на рис.16.

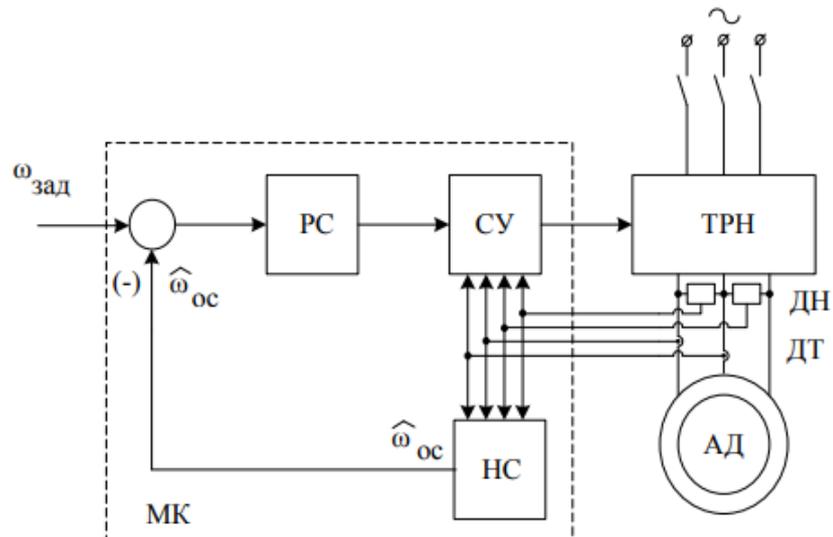


Рисунок 18- Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью от наблюдателя скорости

Данная функциональная схема отличается от предыдущей тем, что вместо ДС используется НС, использующий данные с ДТ и ДН. Принцип работы аналогичен.

4. Статические характеристики двигателя

4.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по параметрам схемы замещения в относительных единицах

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,05 \cdot \frac{220}{10,466} = 1,051 \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = x'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,054 \cdot \frac{220}{10,466} = 1,135 \text{ Ом},$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,135}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 3,613 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_2 = R''_2 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,036 \cdot \frac{220}{10,466} = 0,757 \text{ Ом},$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора:

$$X'_{2\sigma} = x''_2 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,11 \cdot \frac{220}{10,466} = 2,312 \text{ Ом},$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,312}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 7,36 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме:

$$X_{KH} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} = 1,135 + 2,312 = 3,447 \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление):

$$X_{\mu} = X'_{\mu} \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 3,8 \cdot \frac{220}{10,466} = 71,471 \text{ Ом.}$$

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

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{71,471}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,228 \text{ Гн,}$$

Ток холостого хода двигателя

$$I_0 = \frac{E_1}{X_{\mu}} = \frac{205,16}{71,471} = 2,871 \text{ А,}$$

где

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\phi H} \cdot \cos\varphi_H - I_{1\phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi H} \cdot \sin\varphi_H - I_{1\phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,91 - 10,466 \cdot 1,051)^2 + (220 \cdot 0,414 - 10,466 \cdot 1,135)^2} \\ &= 205,16 \text{ В.} \end{aligned}$$

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

4.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{ЭМ.Н}}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X'_{\mu}} \right)^2 \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,757}{314,159 \cdot 0,034 \cdot \left[3,447^2 + \left(1,051 + \frac{0,757}{0,034} \right)^2 + \left(\frac{1,051 \cdot 0,757}{0,034 \cdot 3,8} \right)^2 \right]} \\ &= 18,526 \text{ Н} \cdot \text{м,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\text{эм.н}}^{**} &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L'_{2\sigma}} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} \\
&= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,228}{0,228 + 7,36 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,924 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{6,113^2 - 1,636^2} \\
&= 19,099 \text{ Н} \cdot \text{м},
\end{aligned}$$

где $\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 2,871 \cdot 0,228 = 0,924$ Вб,

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}}; \quad M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}}^{**}.$$

Условия выполняются:

$$18,123 < 19,099 \leq 1,1 \cdot 18,123 = 19,936 \quad 18,526 \approx 19,099.$$

4.3 Расчет естественных характеристик $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$

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

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

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

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M_{\text{эм}})$ (рисунок 18), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению:

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

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

– значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении $s_{\text{н}}$:

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

– значение критического скольжения:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0,757 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,051}{71,471} \right)^2}{1,051^2 + 3,447^2}} = 0,21,$$

– значения угловой критической скорости вращения двигателя:

$$\omega_{\text{кр}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{кр}}) = 248,06,$$

– значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении:

$$\begin{aligned} M_{\text{эм}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} &= \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314,159 \cdot \left[1,051 + \sqrt{(1,051^2 + 3,447^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{1,051}{71,471} \right)^2 \right]} \right]} \\ &= 49,642 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

На рис.19 представлена естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ для асинхронного двигателя.

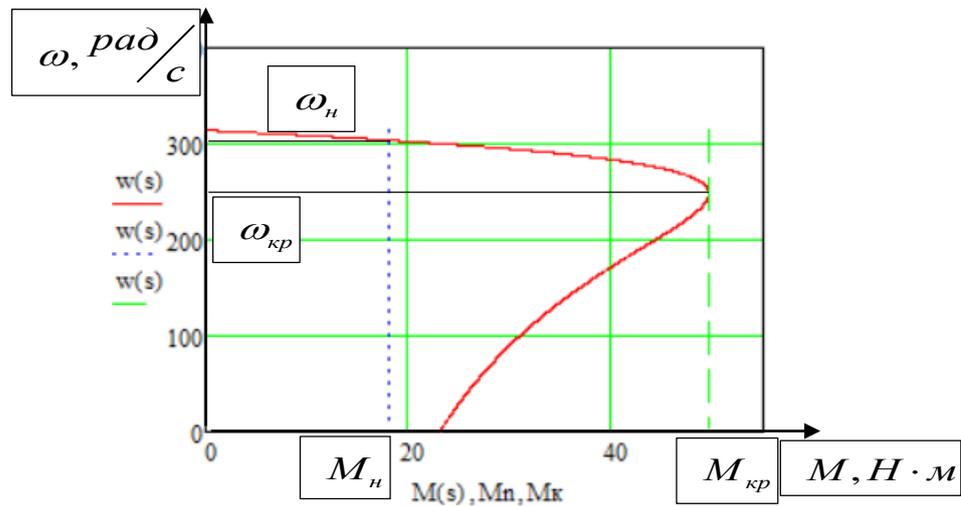


Рисунок 19 - Естественная механическая характеристика АД

На основании полученной характеристики можно сделать вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

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

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

где – $I_1 = I_{1\phi}$ действующее значение фазного тока двигателя, А
– приведенный к обмотке статора ток ротора;

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

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$c = \frac{U_{1\phi н}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2}} = \frac{220}{\sqrt{1,051^2 + (1,135 + 71,471)^2}} = 3,03 \text{ А},$$

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

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ и $I_2'(\omega)$ (Рисунок 17), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению: $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

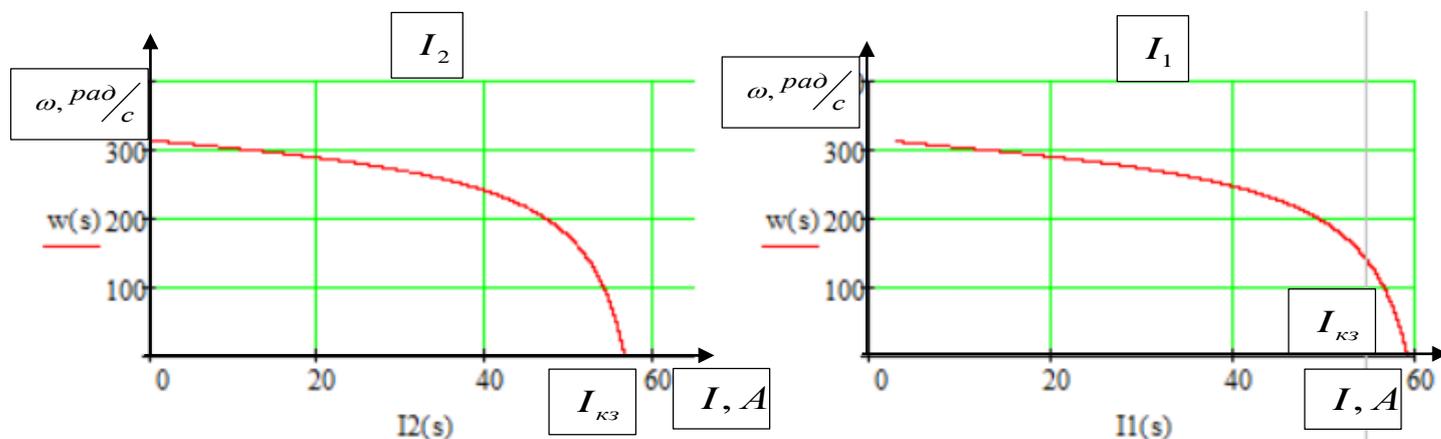


Рисунок 20-Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

4.4 Расчет искусственных характеристик при частотном управлении

Рассчитать и построить электромеханические и механические характеристики разомкнутой системы "регулятор напряжения – АД" для различных задающих напряжений. Произвести анализ полученных результатов.

Для разомкнутой системы "регулятор напряжения – АД" построим электромеханические и механические характеристики при действующем значении напряжения равными:

$$U_H = 220 \text{ В}, U_1 = 180 \text{ В}, U_2 = 140 \text{ В}, U_3 = 100 \text{ В}, U_4 = 60 \text{ В}, U_5 = 20.$$

Частоты равными:

$$f_H = 220 \text{ В}, f_1 = 180 \text{ В}, f_2 = 140 \text{ В}, f_3 = 100 \text{ В}, f_4 = 60 \text{ В}, f_5 = 20.$$

Пример расчета для M_1 и ω_1 :

$$M_1(s) = \frac{3 \cdot \left[U_2 \cdot \frac{f_3}{f} \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{kn} \cdot \frac{f_1}{f} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$\omega_1(s) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f} \cdot (1 - s)$$

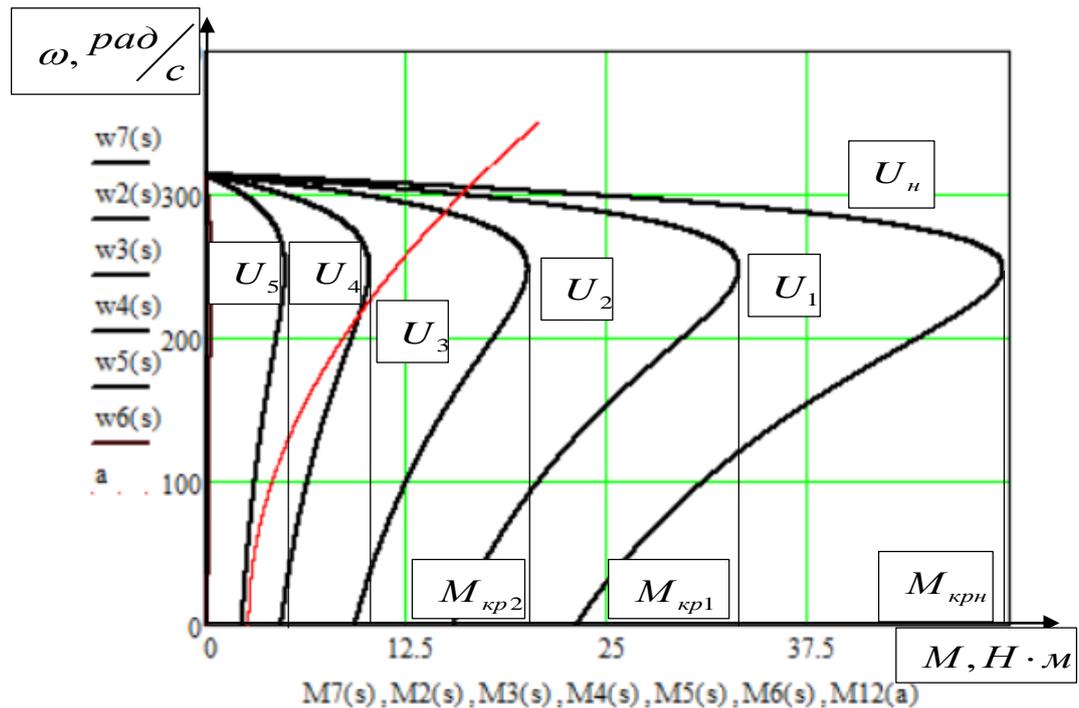


Рисунок 21 – Механические характеристики при $U=var$

Анализируя полученные механические характеристики, следует сказать, что при номинальной постоянной нагрузке практически во всём диапазоне регулирования напряжения двигатель не запустится. При изменении напряжения статора критический и пусковой момент асинхронного двигателя уменьшаются пропорционально квадрату фазного напряжения. Регулирование скорости происходит за счёт изменения жёсткости характеристик.

Когда напряжение $U=60\text{В}$ двигатель не запустится, тогда найдем минимальное напряжение:

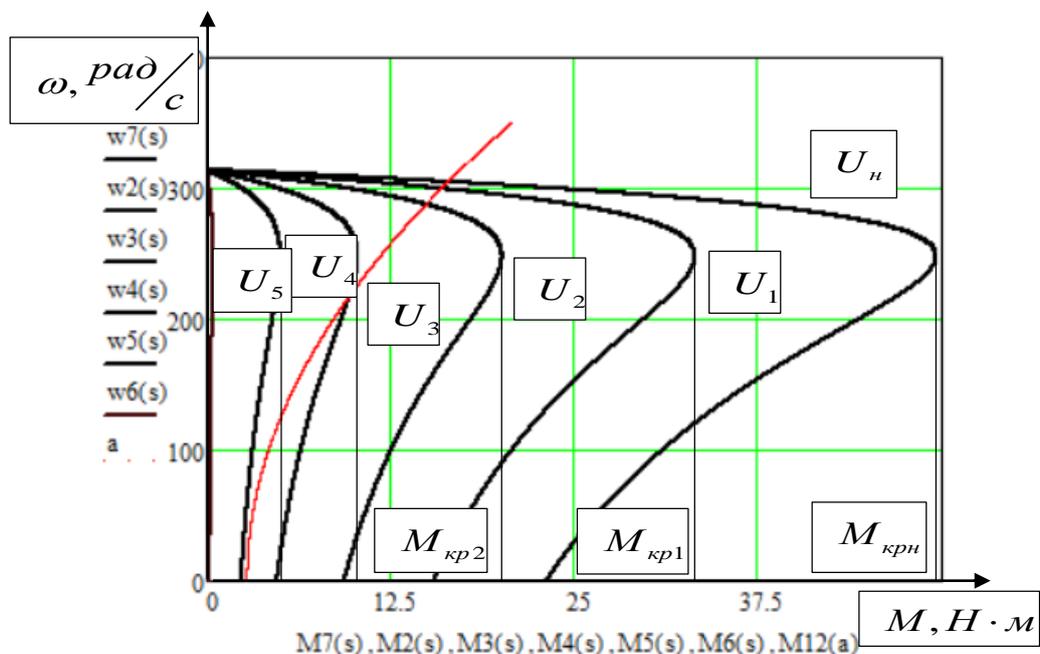


Рисунок 22– Механические характеристики при $U=var$

Полученное семейство характеристик благоприятно для работы ЭП на вентиляторную нагрузку.

Пример расчета для I_{01} и $I_{11}(s)$

$$I_{01} = \frac{U \cdot \frac{f_1}{f}}{\sqrt{R_1 + (X_1 + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f}\right)^2}} \quad I_{11}(s) = \frac{U \cdot \frac{f_1}{f}}{\sqrt{\left(X_{kn} \cdot \frac{f_1}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 \cdot \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f}}\right)^2}}$$

$$\omega_{11}(s) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f} \cdot (1 - s)$$

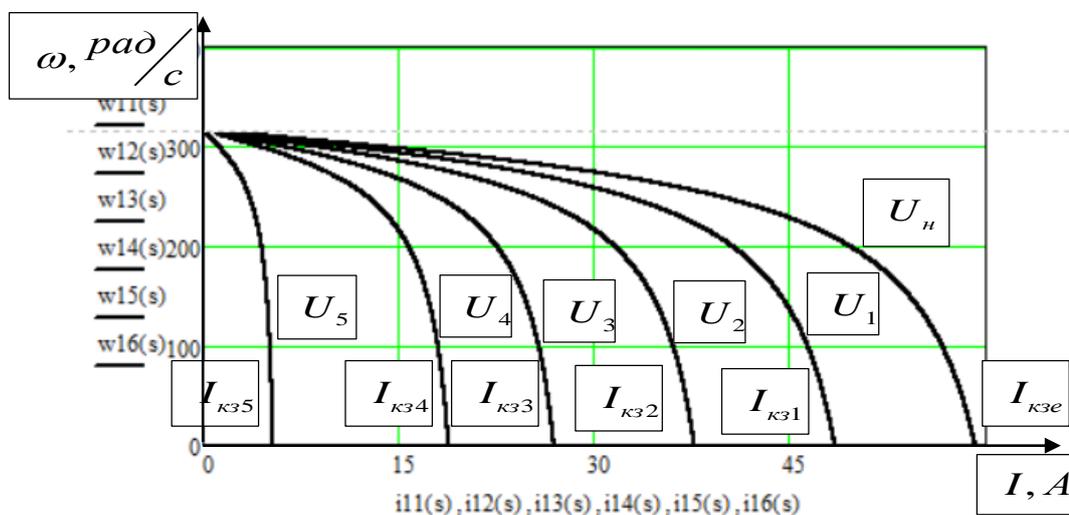


Рисунок 23 – Электромеханическая характеристика при $U = var$

Анализируя полученные электромеханические характеристики, пропорционально напряжению уменьшается ток короткого замыкания, что благоприятно сказывается на период эксплуатации двигателя и на динамику электропривода, однако решающее значение имеют механические характеристики.

4.5 Расчет статической нагрузки электропривода

Рассчитаем нагрузку, которую будет обеспечивать данный вентилятор. Уравнение, описывающее вентиляторную нагрузку, выглядит следующим образом:

$$M(\omega) = M_0 + k \cdot \omega^2$$

Значение M_0 , как правило, принимается равным примерно $0,15 \cdot M_H$:

$$M_0 = 0,15 \cdot M_H = 0,15 \cdot 18.123 = 2.718 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Также нужно знать значение коэффициента k , который можно найти из уравнения вентиляторной нагрузки при задании номинального значения момента и скорости электродвигателя:

$$k = \frac{M_H - M_0}{\omega_H^2} = \frac{18.123 - 2.718}{303,478^2} = 1,673 \cdot 10^{-4};$$

Следовательно, уравнение вентиляторной нагрузки электродвигателя примет следующий вид:

$$M(\omega) = 2,718 + 1,673 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^2$$

Механическая характеристика с вентиляторной нагрузкой на валу электродвигателя представлена на рисунке 23:

$$M(314,159) = 17,217;$$

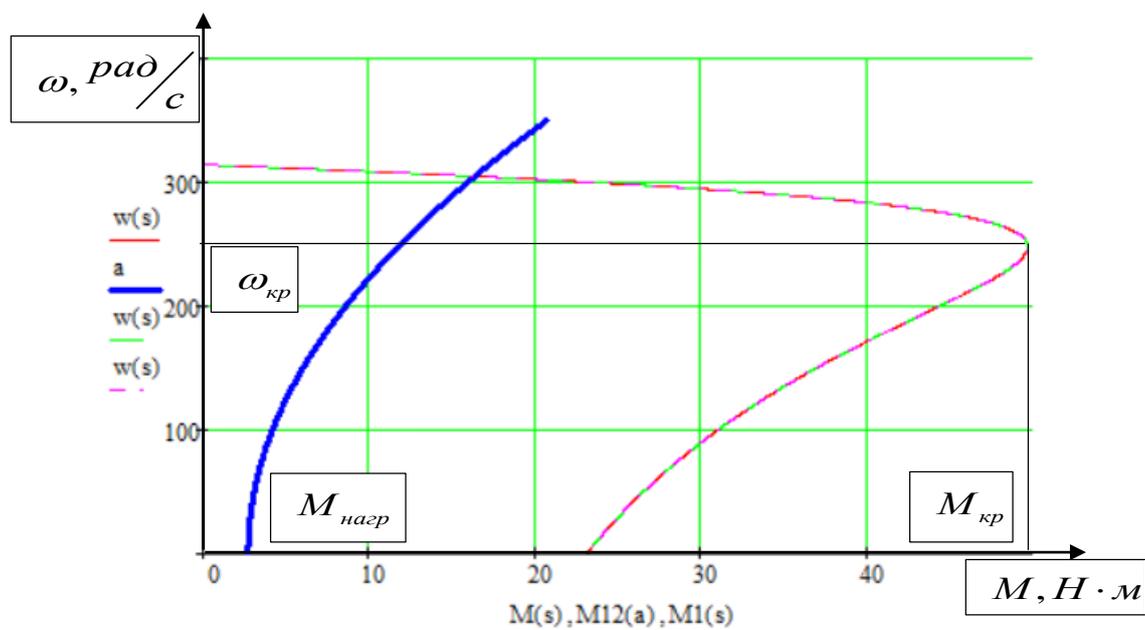


Рисунок 24 - Естественная механическая характеристика АД с вентиляторной нагрузкой на валу

Таблицы 6

Типоразмер электродвигателя	P _{2H} ом, кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.				
		η _H , %	cosφ _H	x'μ	в номинальном режиме работы			
					R'1	x'1	R'2	x'2
4A100L2Y3	5,5	87,5	0,91	3,8	0,05	0,054	0,036	0,11
Типоразмер электродвигателя	Механическая характеристика						k _i	J _{дв, кг·м}
	$m_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	$m_K = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	s _H , %				
4A100L2Y3	2,0	1,6	2,5	3,4	7,5	0,007 5		

Произведем расчет параметров, необходимых для построения структурной схемы.

Соотношение для расчета критического скольжения (в первом приближении принимаем коэффициент β=1):

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - (1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0.155,$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_n} = 1,019,$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot k_i \cdot I_n} = 5,686,$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_n}\right) \cdot C_1} = 0,748 \text{ Ом},$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 0,762 \text{ Ом},$$

Параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = 6,384,$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 4,865 \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0,58 \cdot X_{kn}}{C_1} = 1,962 \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{kn} = 2,043 \text{ Ом},$$

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

$$E_m = \sqrt{(U \cdot \cos\varphi - R_1 \cdot I_H)^2 + (U \cdot \sqrt{1 - \cos^2\varphi} - x_1 \cdot I_H)^2} = 203,381 \text{ В},$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = 67,129 \text{ Ом},$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = 0,006504 \text{ Ом},$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенная к статорной:

$$L_{\sigma 2} = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f} = 0,006244 \text{ Ом},$$

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_m = 0,235 \text{ Ом},$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L_2 = L_{\sigma 2} + L_m = 0,234 \text{ Ом},$$

Коэффициенты для расчета динамики двигателя:

$$K_r = \frac{L_m}{L_2} = 0,973,$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} = 0,013,$$

$$R_e = R_1 - R_2 \cdot L_r^2 = 1,47,$$

$$A_r = \frac{R_2}{L_2} = 3,192,$$

$$K_m = \frac{3}{2} \cdot K_r \cdot zp = 1,46,$$

Момент инерции принимаем удвоенному моменту инерции двигателя:

$$J = 2 \cdot J_{дв} = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Переход от трехфазной системы напряжений:

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_B(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t - 120^\circ) \\ U_C(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t + 120^\circ) \end{cases}$$

к неподвижной двухфазной:

$$\begin{cases} U_\alpha(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_\beta(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \end{cases}$$

осуществляется с помощью прямого преобразования Кларка:

$$U_\alpha(t) = U_A(t); \quad U_\beta(t) = \frac{U_A(t) + 2 \cdot U_B(t)}{\sqrt{3}}$$

Модуль и угол поворота вектора потокосцепления рассчитываются по формулам:

$$|\psi_r| = \sqrt{\psi_{ra}^2 + \psi_{r\beta}^2}; \quad \theta_\psi = \text{arctg} \left(\frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{ra}} \right).$$

На основании полученных данных построим структурную схему электропривода в двух вариантах (рис 26).

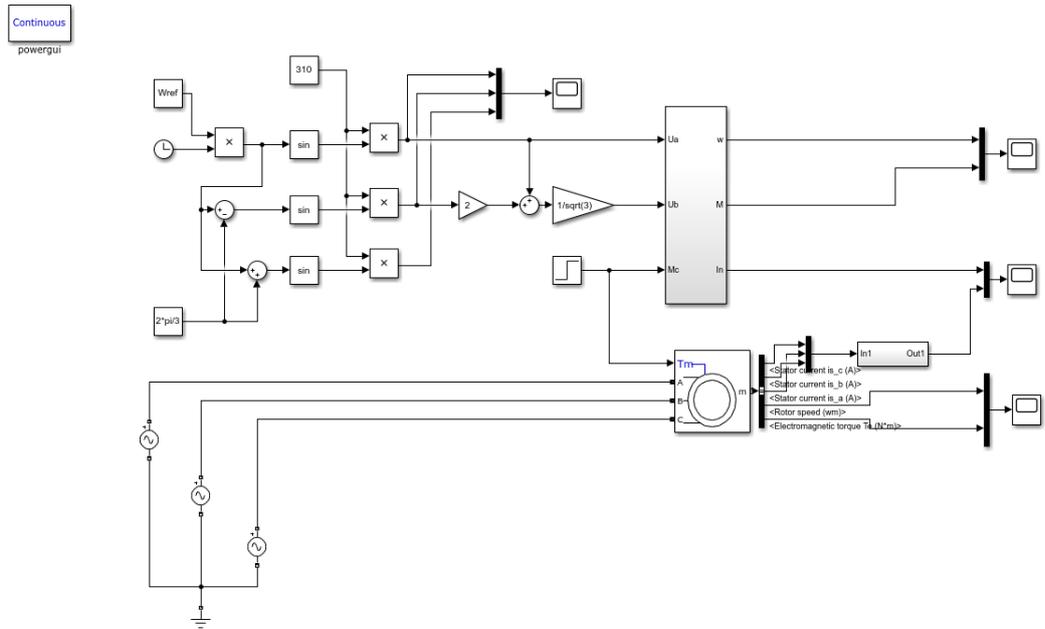


Рисунок 26 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

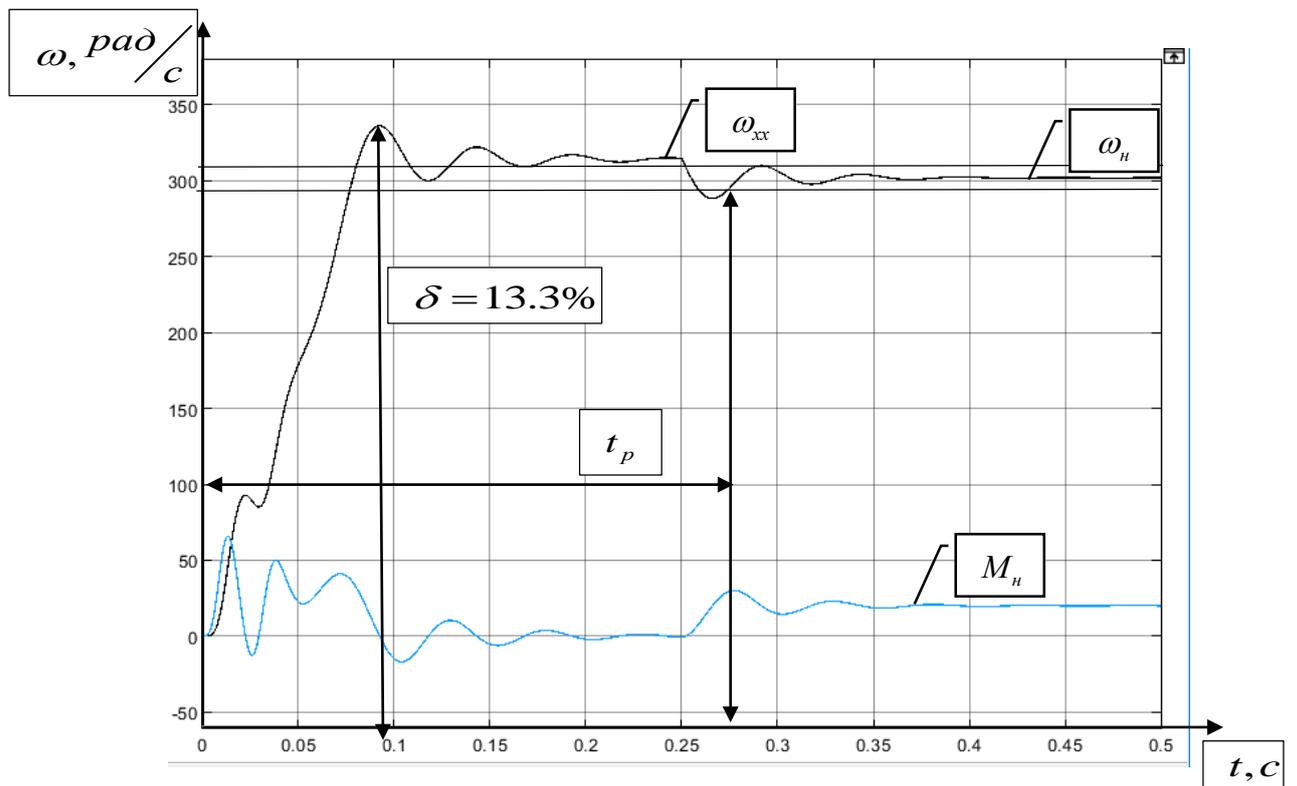


Рисунок 27 – Переходные процессы в АД при пуске с нагрузкой $U_{амп}=310В$

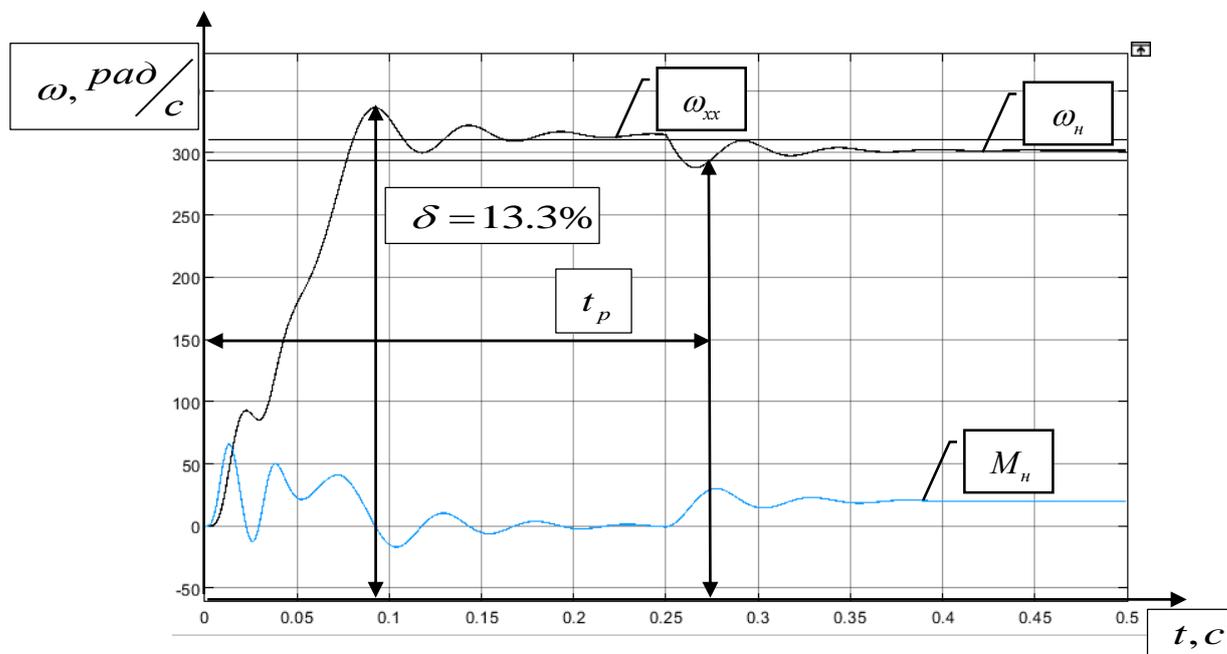


Рисунок 28 – Переходные процессы в АД при пуске с нагрузкой $U_{амп}=310В$ с использованием готовой модели асинхронного двигателя из библиотеки MATLAB Simulink

Исходя из приведенных переходных процессов, которые полностью соответствуют друг другу, в дальнейшем при моделировании будет использован готовый блок из библиотеки MATLAB Simulink. Данный выбор основывается на том, что готовый блок позволяет более точно осуществлять моделирования, так как готовый блок лучше согласует силовые элементы, которые используются в готовой модели.

5.2 Имитационная модель СИФУ тиристорного регулятора напряжения

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) называется так, поскольку управляющий сигнал имеет форму импульса, а фаза этого импульса может регулироваться.

СИФУ предназначена для выполнения следующих двух функций:

1. Определение моментов времени, в которые должны быть включены те или иные конкретные вентили. Эти моменты времени задаются величиной напряжения управления U_y , которое подается на вход СИФУ и определяет значения выходных параметров преобразователя: таких, как среднее значение тока и напряжения на выходе выпрямителя или действующее значение тока, или напряжения на выходе ППН, т.е. в зависимости от величины напряжения управления U_y определяются фазы открывания тиристоров.

2. Формирование открывающих импульсов, передаваемых в нужные моменты времени на управляющие электроды тиристоров, по длительности и мощности и обеспечение гальванической развязки между СИФУ и силовой схемой преобразователя.

Для выполнения этих функций СИФУ содержит два основных узла:

1. ФСУ (фазосмещающее устройство) – осуществляет задачу преобразования напряжения управления U_y в угловой интервал α .

2. ВФ (выходные формирователи) - формируют открывающие импульсы по длительности, форме и мощности и обеспечивают потенциальную развязку между системой управления и силовой схемой преобразователя.

5.3 Классификация СИФУ

На данный момент разработано большое количество различных СИФУ, удовлетворяющих самым разнообразным требованиям.

Все свойства различных СИФУ определяются некоторой совокупностью признаков, к числу которых относятся:

1. Вид развертываемого сигнала:

а) вертикальные – развёртывается опорный сигнал, а $U_y = \text{const}$;

б) интегрирующие – развёртывается управляющее напряжение, а $U_{\text{оп}} = \text{const}$.

2. Способ отсчета угла α :

- а) одноканальные (отсчет α в одном канале для всех тиристорov);
- б) многоканальные (отсчет α для каждого тиристора (пары противофазных тиристорov) производится в своем канале).

3. Тип синхронизации

а) синхронные – определение требуемого момента включения вентиля производится путем отсчёта временного интервала от момента естественного открывания ключа;

б) асинхронные – определение требуемого момента включения вентиля производится путем отсчёта временного интервала от момента предыдущего включения тиристора.

4. По форме преобразования информации:

а) аналоговые;

б) цифровые.

В данной работе будет использована модель СИФУ с RL нагрузкой так как такая нагрузка наиболее приближена к реальной. Схема состоит из двух подсистем, 6 тиристорov попарно подключенных на фазы (двухполупериодная схема подключения) и RL-нагрузки. В первой подсистеме задается напряжение на фазах, а во второй системе происходит формирования сигнала угла управления, который задается блоком Constant. После формирования сигналы подаются на тиристоры после чего происходит их открытие, регулирование координат происходит за счет изменения угла управления.

Далее представлены имитационные модели СИФУ, которые были реализованы на базе ТРН-АД в нескольких исполнениях R и RL.

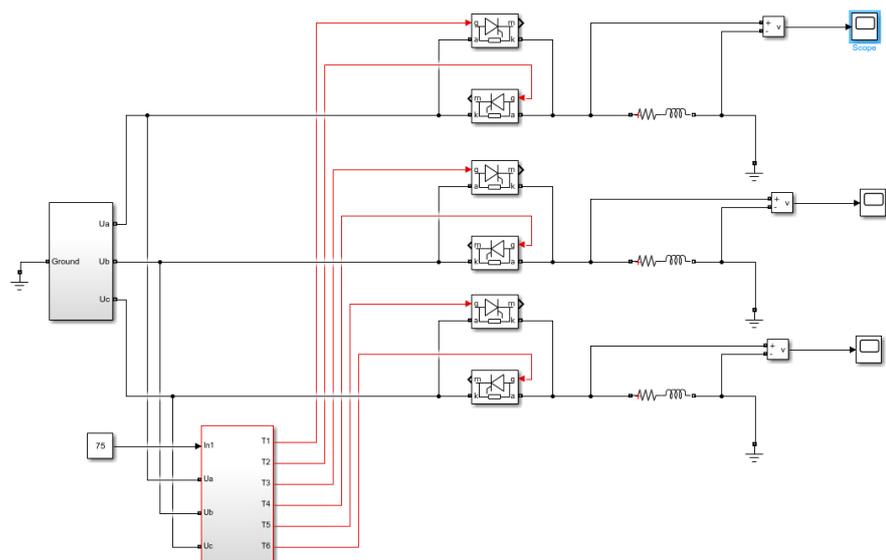


Рисунок 29 – Имитационная модель СИФУ в программной среде MATLAB Simulink

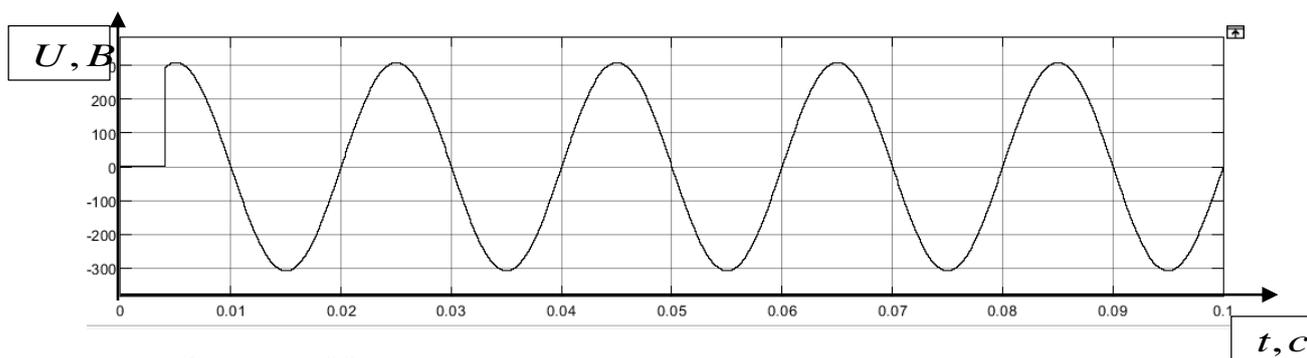


Рисунок 30– Переходные процессы в АД при пуске с углом управления 71 градус

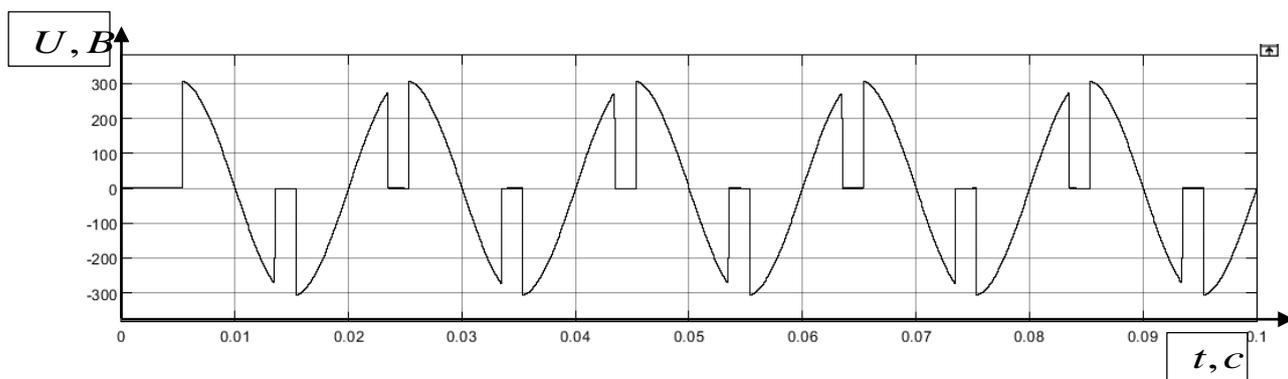


Рисунок 31– Переходные процессы в АД при пуске с углом управления 95 градус

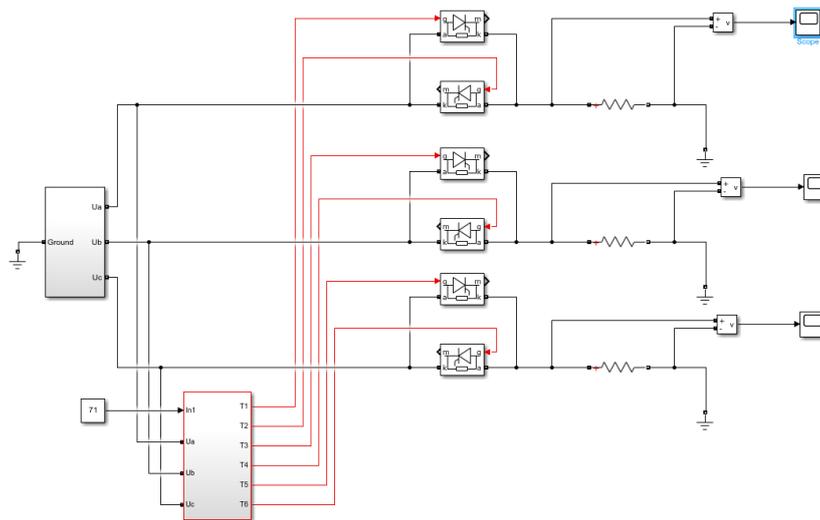


Рисунок 32– Имитационная модель СИФУ в программной среде
MATLAB Simulink

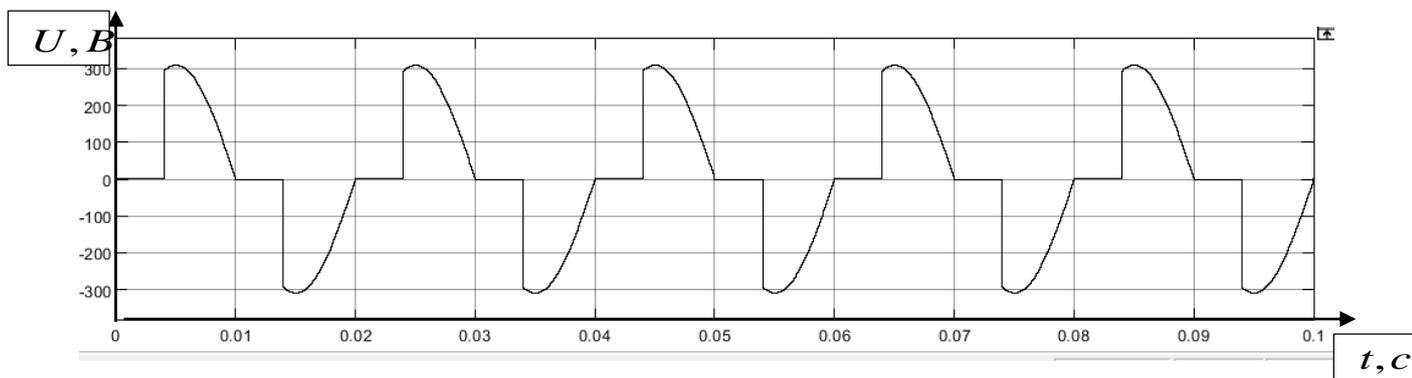


Рисунок 33– Переходные процессы в АД при пуске с углом
управления 71 градус

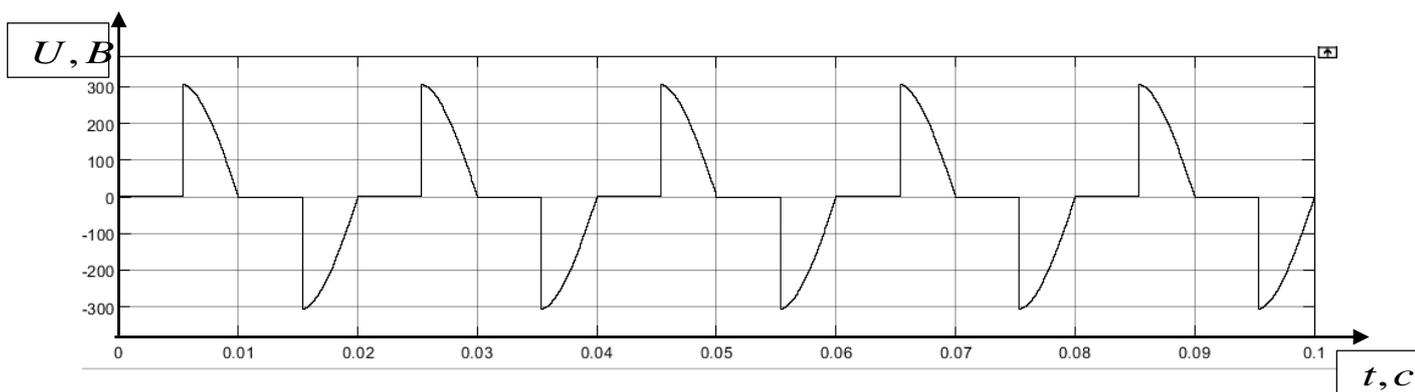


Рисунок 34– Переходные процессы в АД при пуске с углом
управления 95 градус

Из приведенных переходных процессов видно, что минимальный угол управления 71 градус с RL нагрузкой в СИФУ. Это объясняется тем, что в

цепях с активно-индуктивной нагрузкой при фазном регулировании тиристоров возникает ЭДС самоиндукции, задерживающая нарастание и спадание тока.

Далее представлена модель СИФУ вместе с АД и их переходный процессы при регулировании скорости

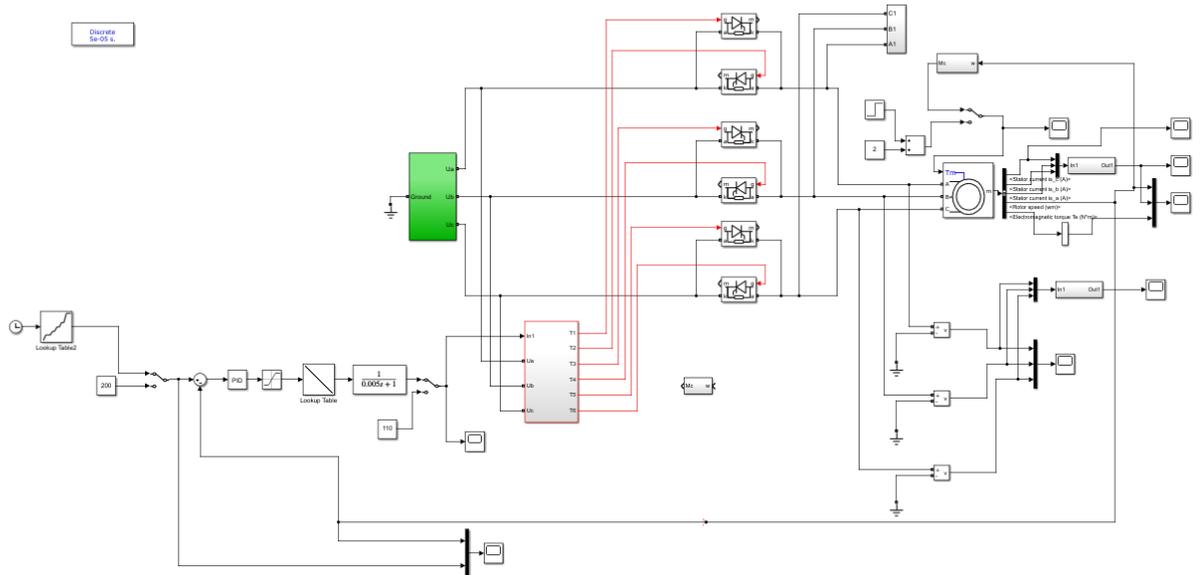


Рисунок 35– Имитационная модель СИФУ и АД СИФУ и АД

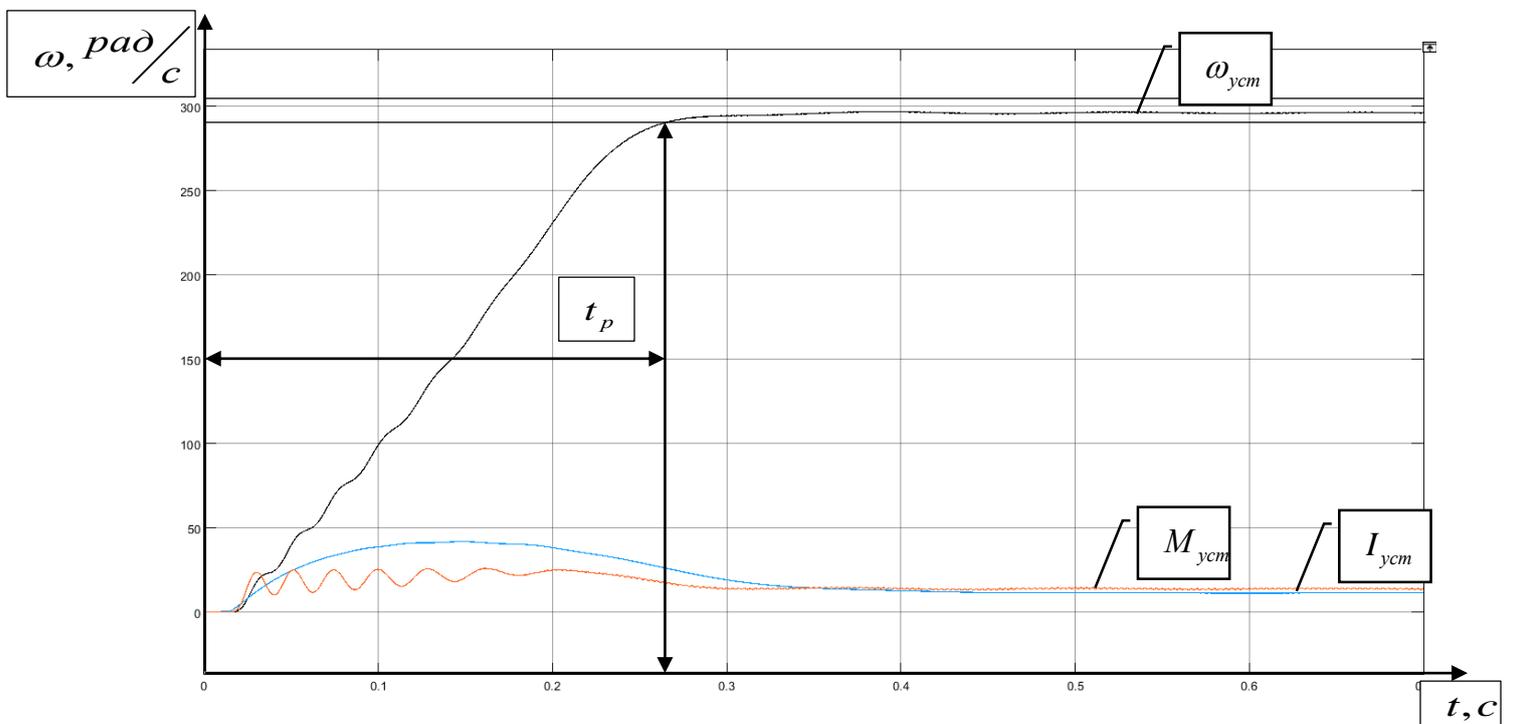


Рисунок 36– Переходный процесс разомкнутой системы АД при угле управления 71 градус

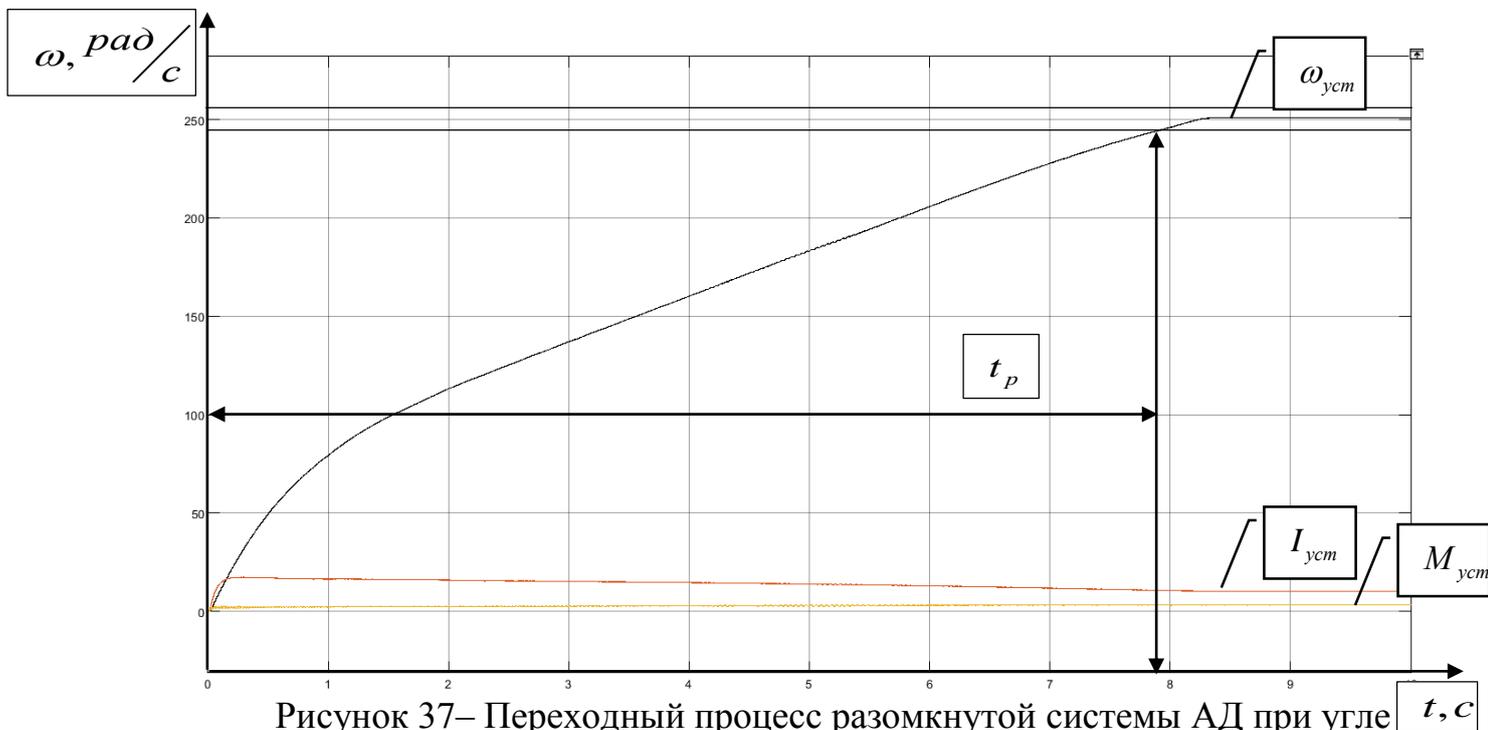


Рисунок 37– Переходный процесс разомкнутой системы АД при угле управления 105 градус.

На приведенных переходных процессах в разомкнутых системах показаны пуски двигателя при минимальном и максимальном углах управления. Минимальный угол управления обусловлен наличием индуктивной составляющей, в тоже время максимальный угол связан с тем, что больше угле управления по появляется нехватка момента для пуска двигателя.

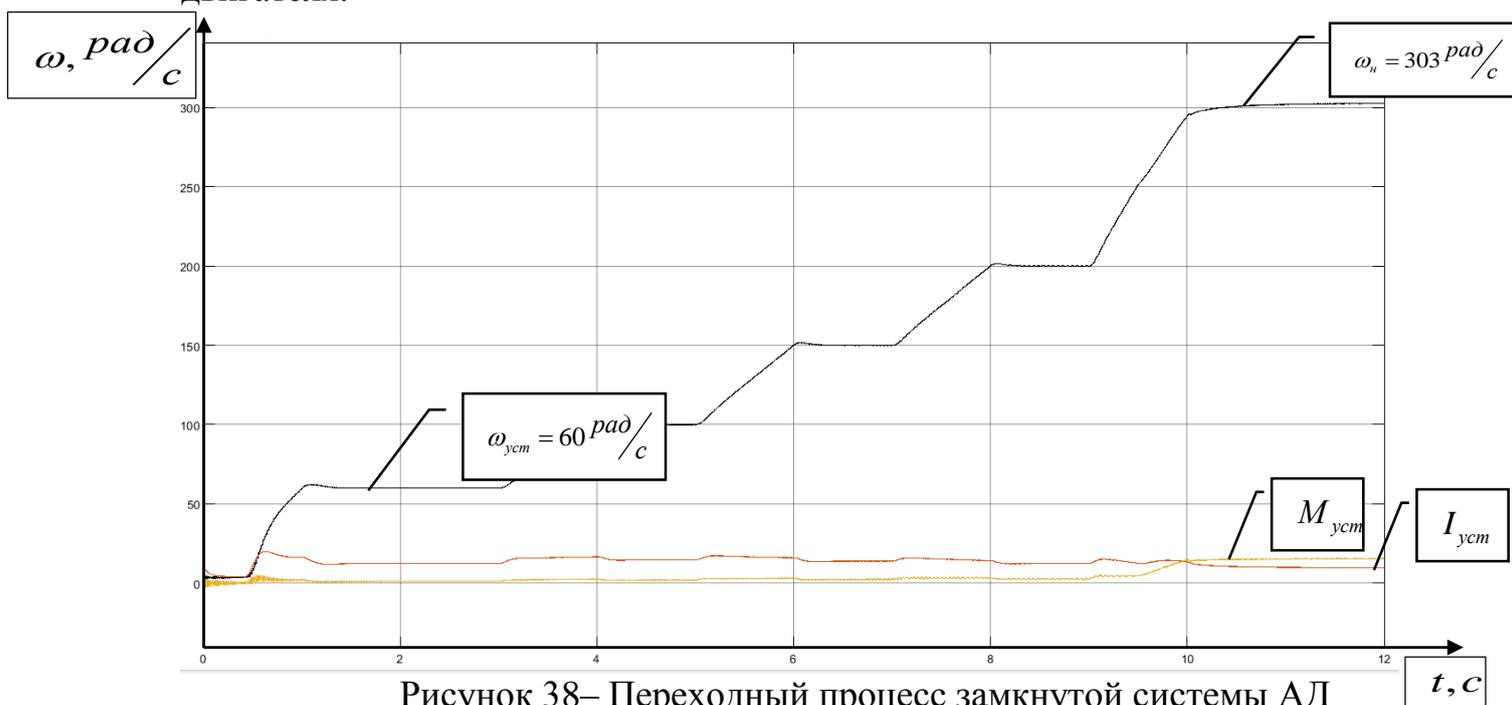


Рисунок 38– Переходный процесс замкнутой системы АД

На данном переходном процессе видно, что система обеспечивает устойчивую скорость во всем диапазоне скоростей (1:5). Это говорит о корректной работе системы.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Зимину Даниле Олеговичу

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент 30%; доплаты и надбавки 20%; дополнительная заработная плата 15%; накладные расходы 16%; районный коэффициент 1,3.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30.2 %. (НК РФ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- оценка эффективности разработки проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ; 2. Матрица SWOT; 3. График Гантта; 4. График проведения и бюджет НИ.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		30.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зимин Данила Олегович		30.01.2020

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы оценка расчета и конструирования регулируемого электропривода вентилятора с системой плавного пуска ТРН-АД.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ конкурентных технических решений;
- 2) провести SWOT-анализ;
- 3) выполнить планирование и организацию научного исследования;
- 4) создать диаграмму Гантта;
- 5) определить бюджет научно-исследовательской работы;
- 6) определить ресурсоэффективность научного исследования.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В данном подразделе проводится анализ электрооборудования от конкурирующих производителей. Для анализа конкурентных технических решений используем формулу:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Далее все данные заносятся в оценочную карту, с помощью которой производится анализ. Данная карта представлена в таблице 7.

Для анализа был выбран тиристорный регулятор напряжения типа SP48P18, присоединенный асинхронному двигателю. Регулятор является важным элементом системы так как помогает осуществить безударный плавный пуск двигателя.

Рассмотрим двух производителей, выпускающих данное электрооборудование: ОАО «Электровыпрямитель» и ОАО «Силовые машины».

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Изготовитель 1	Изготовитель 2	K ₁	K ₂
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Надежность	0,12	4	4	0,48	0,48
2. Качество изготовления	0,15	5	4	0,75	0,6
3. КПД	0,1	4	4	0,4	0,4
4. Безопасность	0,13	4	3	0,52	0,39
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,1	4	5	0,4	0,5
2. Доставка	0,1	4	5	0,4	0,5
3. Сервис	0,16	4	3	0,64	0,48
4. Срок эксплуатации	0,14	5	5	0,7	0,7
Итого	1			4,29	4,05

Примечание: Изготовитель 1 - ОАО «Электровыпрямитель», Изготовитель 2 - ОАО «Силовые машины».

Таким образом, исходя из результатов таблицы 7, можно сделать вывод, что тиристорные регуляторы напряжения компании ОАО «Электровыпрямитель», предпочтительнее для установки на электродвигатель. Данные регуляторы превосходят своих конкурентов в лице ОАО «Силовые машины», как по техническим, так и по экономическим критериям. Данное преимущество обусловлено показателями качества изготовления ТРН.

6.1.2 SWOT-анализ

В данном подразделе проводится комплексный анализ научного исследования. С помощью этого анализа будут выявлены слабые и сильные стороны проекта, а также его возможности и угрозы, которые могут появиться во внешней и внутренней среде проекта.

Результаты SWOT-анализа приведены в таблице 8

Таблица 8 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны С1. Высокое быстродействие; С2. Долгий срок эксплуатации; С3. Высокий КПД; С4. Универсальность применения; С5. Ремонтопригодность б. С6. Небольшие массогабаритные показатели	Слабые стороны Сл1. Небольшой диапазон регулирования; Сл2. Небольшой диапазон регулирования;
Возможности В1. Увеличение производительности; В2. Повышение износостойкости элементов деталей элементов электропривода; В3. Внедрение инноваций в системы плавного пуска;	<p>1) За счет простоты и универсальности данного привода и системы плавного пуска, возможно применение в качестве, как вентилятора главного проветривания, так и для других назначений;</p> <p>2) Снижение затрат плавного пуска нескольких асинхронных двигателей за счет поочередного пуска одной системой ТРН-АД;</p> <p>3) Стимулирование компаний с высоким требованием к качеству электроэнергии и бесперебойности питания к подключению к данной ЭСТ.</p>	<p>1) Возможность снижения срока окупаемости электрооборудования путем внедрения инноваций;</p> <p>2) Возможность появления необходимости в более глубоком регулировании.</p>
Угрозы У1. Развитая конкуренция технологии производства; У2. Таможенные пошлины на зарубежные; У3. Введение дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции.	<p>1) Благодаря более высокому техническому оснащению, повышается срок и стоимость ремонта;</p> <p>2) Повышение строгости проверок технического состояния;</p>	<p>1) Возможность снижения срока окупаемости электропривода</p> <p>2) Из-за отсутствия регулирования напряжения, пропадает возможность адаптации к графику нагрузки;</p> <p>3) Высокая стоимость частей электропривода может оказать влияние на снижение финансирования</p>

Таким образом, проведенный SWOT-анализ наглядно демонстрирует преимущество сильных сторон данного проекта. Анализ отражает возможности, которые возникают из-за наличия сильных сторон и угрозы,

которые могут повлиять на эти сильные стороны. Выявленные угрозы имеют низкую вероятность возникновения, поэтому возможности проекта способны в большей степени положительно влиять на сильные стороны. В ходе реализации данного проекта мы получим регулируемый электропривод с системой плавного пуска ТРН-АД с высоким КПД, а также долгим сроком эксплуатации.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) определение продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель проекта и инженер-проектировщик.

Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 9).

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка тематики проекта	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Подбор и ознакомление с технической литературой	2	Выбор необходимой литературы	Руководитель проекта

	3	Изучение литературы	Инженер-проектировщик
Планирование	4	Составление календарного плана работ	Инженер-проектировщик
			Руководитель проекта
Выполнение расчетной части НИ	5	Расчет параметров электрического двигателя	Инженер-проектировщик
	6	Проектирование системы управления	
	7	Расчет силовой части тиристорного преобразователя	
	8	Математическое моделирование электропривода вентилятора	
	9	Анализ полученных результатов	
Разработка экономической части проекта	10	Анализ конкурентных технических решений	Инженер-проектировщик
	11	Определение бюджета НИ	Руководитель проекта
Выполнение раздела социальной ответственности	12	Анализ воздействия спроектированной электростанции на окружающую среду	Инженер-проектировщик
Оформление пояснительной записки и чертежей	13	Составление ПЗ и чертежей	Инженер-проектировщик

Таким образом, таблица этапов работ, которую мы составили, позволяет определить последовательность выполнения НИ и эффективно распределить роли исполнителей по этапам планирования работ НИ. Данная таблица наглядно демонстрирует, что основная нагрузка выполнения работ возлагается на инженера-проектировщика.

6.2.2 Определение трудоемкости работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно-учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [1]:

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

где $t_{ожі}$ – 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.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [1]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн;

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

Таким образом, определение трудоемкости работ позволяет рассчитать время, необходимое для выполнения определенного этапа одним исполнителем в чел.-дн. Данный расчет необходим далее для составления календарного графика выполнения работ.

6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 106 - 15} = 1,49.$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 10.

На основе таблицы 9 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней). При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 10– Календарный план-график проведения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни					
	Руководитель проекта	Инженер-проектировщик	Руководитель проекта	Инженер-проектировщик	Руководитель проекта	Инженер-проектировщик	Руководитель проекта	Инженер-проектировщик	Руководитель проекта	Инженер-проектировщик
Составление и утверждение технического задания	1	–	2	–	1,4	–	2	–	3	–
Выбор необходимой литературы	1	–	2	–	1,4	–	2	–	3	–
Изучение литературы	–	3	–	5	–	3,8	–	4	–	6
Составление календарного плана работ	1		2		1,4		1		2	
Расчет параметров электрического двигателя	–	3	–	6	–	4,2	–	5	–	8
Проектирование системы управления	–	4	–	7	–	5,2	–	6	–	9
Расчет силовой части тиристорного преобразователя	–	8	–	11	–	9,2	–	10	–	15
Математическое моделирование электропривода вентилятора	–	5	–	7	–	5,8	–	6	–	9
Анализ полученных результатов	–	3	–	5	–	3,8	–	4	–	6
Анализ конкурентных технических решений	–	3	–	5	–	3,8	–	4	–	6
Определение бюджета НИ	3	–	5	–	3,8	–	4	–	6	–
Анализ воздействия, спроектированного электропривода на окр.среду	–	7	–	8	–	7,4	–	8	–	12

Таблица 11 – График проведения НИ

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль					март			апрель				май	
				1-3	4-6	7-12	13-14	15-22	23-2	3-17	18-26	27-1	2-9	10-15	16-21	22-3	4-8
1	Составление и утверждение технического задания	Р	3	■													
2	Выбор необходимой литературы	Р	3		■												
3	Изучение литературы	И	6			■											
4	Составление календарного плана работ	Р,И	2				■										
5	Расчет параметров электрического двигателя	И	8					■									
6	Проектирование системы управления	И	9						■								
7	Расчет силовой части тиристорного преобразователя	И	15							■							
8	Математическое моделирование электропривода вентилятора	И	9								■						
9	Анализ полученных результатов	И	6									■					
10	Анализ конкурентных технических решений	И	6										■				
11	Определение бюджета НИ	Р	6												■		
12	Анализ воздействия спроектированной электростанции на окр.среду	И	12													■	

■ - Руководитель проекта; ■ - Инженер-проектировщик

Таким образом, по произведенным расчетам трудоемкости выполнения работ и составления последовательности выполнения этапов работ НИ был составлен календарный план-график выполнения работ и диаграмма Гантта. Это позволяет рассчитать сроки выполнения данного НИ в календарных днях, начиная от 1 февраля 2020 года.

6.3 Бюджет НИ

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) основная заработная плата исполнителей темы;
- 2) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- 3) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 4) амортизация;
- 5) материальные затраты;
- 6) накладные расходы.

6.3.1 Основная заработная плата

В данную тему включается заработная плата инженера и руководителя.

Основная заработная плата (руководителя, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя и инженера рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

Где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [1]:
Для 5-дневной недели:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.

M - кол-во месяцев работы без отпуска в течение года:

При отпуске в 24 раб. Дня $M=11,2$ месяца при 5-дневной рабочей недели;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Инженер	Руководитель
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни; - праздничные дни.	121	121
Потеря рабочего времени - отпуск; - невыходы по болезни	24	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	221	221

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{ПР}} + k_D) \cdot k_P,$$

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

$k_{\text{ПР}} = 0,3$ – премиальный коэффициент;

$k_D = 0,2$ – коэффициент доплаты надбавок;

$k_P = 1,3$ – районный коэффициент для Томска.

Пример расчета основной заработной платы для руководителя проекта:

$$Z_M = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{ПР}} + k_D) \cdot k_P = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{М}} \cdot M}{F_{\text{Д}}} = \frac{51285 \cdot 11,2}{221} = 2599,06 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2599,06 \cdot 9 = 23391,54 \text{ руб.};$$

Пример расчета основной заработной платы для инженера-проектировщика:

$$Z_{\text{М}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{ПР}} + k_{\text{Д}}) \cdot k_{\text{Р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{М}} \cdot M}{F_{\text{Д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{221} = 1680 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 1680 \cdot 56 = 94080 \text{ руб.};$$

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$, руб	$k_{\text{ПР}}$	$k_{\text{Д}}$	$k_{\text{Р}}$	$Z_{\text{М}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель проекта	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2599,06	9	23391,54
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1680	56	94080
Итого								117471,54

Таким образом, в данном пункте была рассчитана основная заработная плата сотрудников, выполняющих НИ. Как видно из таблицы 13 итоговые выплаты ЗП составляют 117471,54 руб.

6.3.2 Дополнительная заработная плата

За отклонение от нормы условий труда согласно ТК РФ предусматривается выплата дополнительной заработной платы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

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

где $k_{\text{доп}} = 0,15$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Пример расчета дополнительной заработной платы для руководителя проекта:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} = 23391,54 \cdot 0,15 = 3508,73 \text{ руб.};$$

Пример расчета дополнительной заработной платы для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} = 94080 \cdot 0,15 = 14112 \text{руб.};$$

Таким образом, в данном пункте рассчитана дополнительная ЗП сотрудников, составляющая 15 % от основной ЗП. Итоговая величина дополнительной ЗП составляет 17620,73 руб.

6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

При оплате труда работодатель сталкивается с платежами во внебюджетные фонды. С вознаграждений работникам учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2020 году, по трудовым договорам уплачиваются взносы в Пенсионный фонд (ПФР), в Фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС) и в Фонд социального страхования (ФСС).

Общие тарифы в 2020 составляют 30,2 %.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле [1]:

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

Где $k_{\text{внеб}} = 0,302$ – коэффициент отчисления во внебюджетные фонды.

Для руководителя проекта:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (2391,54 + 3508,73) = 8123,88 \text{ руб.};$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (94080 + 14112) = 32673,98 \text{ руб.};$$

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	23391,54	3508,73
Инженер-проектировщик	94080	14112
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,302	
Итого		
Руководитель проекта	8123,88	
Инженер-проектировщик	32673,98	

Таким образом, рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, а именно в пенсионный фонд и фонд обязательного медицинского страхования. Их величина составляет 30,2% от суммы основной и дополнительной ЗП сотрудников и составляет 40797,86 руб.

6.3.4 Амортизация

В данном разделе рассчитаем амортизацию ноутбука, с помощью которого проводятся работы в рамках НИ.

Срок эксплуатации ноутбука принимаем 3 год. Тогда норма амортизации в год:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33.33 \%;$$

Где n – срок полезного использования, год.

Амортизация ноутбука [1]:

$$A = \frac{K \cdot И}{100} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 35000}{100} \cdot 59 = 6814,5 \text{ руб.};$$

Где И – стоимость ноутбука, руб.;

m – кол-во дней использования ноутбука.

Таблица 15 – Амортизация ноутбука

Наименование	Кол-во	Общая	Норма	Амортизация,
--------------	--------	-------	-------	--------------

изделия	единиц изделия	стоимость изделия, руб.	амортизации, %	руб.
Ноутбук	1	35000	33,33	6814,5

Таким образом, в данном пункте рассчитана амортизация основных средств, необходимых для выполнения НИ с учетом износа оборудования (ноутбука), рассчитываемого исходя из полезного срока использования, составляющий 3 года. Величина амортизации составляет 6814,5 руб.

6.3.5 Материальные затраты

Для выполнения расчетов в рамках НИ необходимо учитывать затраты на вспомогательные материалы (бумага, картриджи для принтера, канцелярские изделия и т.д.).

Таблица 16 – Материальные затраты

Наименование изделия	Единицы измерения	Кол-во	Цена на единицу изделия, руб.	Затраты на материалы $Z_{\text{мат}}$, руб.
Бумага	Пачка	1	300	300
Комплект картриджей для принтера (цветной и черный)	Шт.	1	2500	2500
Набор настольной канцелярии	Шт.	1	300	300
Итого				3100

Таким образом, были рассчитаны материальные расходы, то есть

материалов, необходимых для выполнения чертежей, расходных материалов для ксерокопирования, записей и т.д. Их величина составляет 3100 руб.

6.3.6 Накладные расходы

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

Их величина определяется по следующей формуле [1]:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{мат}} + A);$$

Где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, примем значение 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= 0,16 \cdot (117471,54 + 17620,73 + 40527,68 + 3100 + 6814,5) \\ &= 29685,51 \text{ руб.}; \end{aligned}$$

Прочие затраты организации на услуги связи, печать материалов и т.д. составляют 16 % от суммы всех прочих затрат при выполнении НИ. Их величина составляет 29685,51 руб.

6.3.7 Формирование бюджета затрат НИ

Рассчитанная величина затрат научного исследования является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 17 – Бюджет затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	% от общей суммы
Основная ЗП работников	117471,54	54,503
Дополнительная ЗП	17620,73	8,185
Отчисления во внебюджетные фонды	40527,68	18,929
Амортизация	6814,5	3,162

Материальные затраты	3100	1,438
Накладные расходы	29728,74	13,793
Бюджет затрат НИ	215533,37	100

Таким образом, была рассчитана величина бюджета, то есть всех затрат на разработку проекта, включающий сумму всех предыдущих рассчитанных расходов, величина которых оставляет 215533,37руб.

6.15. Определение ресурсоэффективности НИ

Ресурсоэффективность НИ определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, имеющий следующий вид:

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

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности НИ;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, которая устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка исполнения проекта	Бальная оценка аналога
Надежность работы	0.25	4	4
Массогабаритные показатели	0.1	4	4
Ремонтопригодность	0.15	5	5
Пожаро- и взрывобезопасность	0.15	4	4
Простота обслуживания	0.1	5	4
Технические характеристики	0.25	5	5
Итого	1	4,5	4,4

Таким образом, сравнивая характеристики двух вариантов исполнения проекта, оценка ресурсоэффективности выбранного варианта исполнения при сравнении с электрооборудованием компании-конкурента выше, что свидетельствует об эффективности реализации проекта. У выбранного варианта 4,5, а у конкурентного решения 4,4.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1) При проведении анализа конкурентных технических решений по техническим и экономическим критериям было выявлено, что регулятор типа SP48P18 от компании ОАО «Электровыпрямитель», обладает лучшим показателем конкурентоспособности, который составляет 4,29. В большей степени на показатель конкурентоспособности повлияли такие аспекты, как качественное исполнение, а также более надежное исполнение. В дальнейшем осуществлен выбор продукции данной компании;

2) Благодаря SWOT-анализу была проведена оценка сильных и слабых сторон, которые влияют на научный проект. Также были выявлены угрозы и возможности, которые могут возникнуть при осуществлении проекта. Этот анализ отражает основания для проведения научного исследования. Выявленные угрозы имеют низкую вероятность возникновения, поэтому возможности проекта способны в большей степени укрепить сильные стороны. Среди сильных и слабых сторон особенно выделяется высокая надежность и экономичность при наличии необходимых качеств. Данный критерий является основополагающим регулируемого электропривода с системой плавного пуска ТРН-АД;

3) При планировании этапов научного исследования был разработан календарный план, который отражает график выполнения работ для двух сотрудников, а именно: руководителя проекта и инженера-проектировщика. Общее количество календарных дней, необходимых для выполнения работы составляет 99 дней, из которых с учетом праздников и выходных, 56 дней работал инженер-проектировщик, а 9 дней – руководитель проекта. Также была построена диаграмма Ганта, которая наглядно демонстрирует все этапы научного исследования;

4) Далее составлен бюджет научного исследования. В него входит заработная плата сотрудников, отчисления во внебюджетные фонды, размер

которых составляет 30,2% от заработной платы, амортизация, учитывающая срок эксплуатации ноутбука, материальные затраты и накладные расходы, которые составляют 16% от суммы остальных пунктов бюджета. Итоговая сумма бюджета составила 215533,37руб.

5) Далее была проведена сравнительная оценка ресурсоэффективности основного исполнения проекта с его аналогом. Оценка основного исполнения проекта по 5-ти бальной шкале составляет 4,5, а его аналога 4,4. Данная величина указывает на высокую эффективность реализации данного научного исследования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Зимин Данила Олегович

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

Тема ВКР:

Регулируемый электропривод вентиляторной установки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электропривод вентилятора с системой плавного пуска ТРН-АД
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ТК РФ от 30.12.2001 N 197 ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда; – ТК РФ от 30.12.2001 N 197 ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников; – ТК РФ от 30.12.2001 N 197 ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 92. Сокращенная продолжительность рабочего времени; – Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; – ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда; – ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Движущиеся части машин и механизмов; – повышенный уровень вибрации; – повышенный уровень шума; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отклонение параметров микроклимата. – повышенные значения в электрической цепи замыкания, которой может пройти через тело человека. – повышенный уровень электромагнитных полей
<p>3. Экологическая безопасность: 3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду</p>	<ul style="list-style-type: none"> – ликвидация бытовых отходов.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 4.1. Анализ вероятных ЧС, возникающих при эксплуатации исследуемого объекта</p>	<ul style="list-style-type: none"> – пожар.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Зимин Данила Олегович		

Введение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан электропривод вентилятора с системой плавного торможения ТРН-АД. Целью данного раздела является анализ и оценка вредных, и опасных факторов труда, которые могут оказать воздействие на персонал (Электромонтер по ремонту и обслуживанию электроустановок). Проведена разработка мер защиты от этих факторов, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Так же в данном разделе, будут рассмотрены вопросы касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Каждый из работников электростанции имеет право на условия труда, которые бы отвечали требованиям безопасности, а также гигиены. Для этого необходимо, чтобы работодатели внедряли современные средства техники безопасности, предупреждающие возникновение профессиональных заболеваний рабочих и служащих.

Рабочий персонал имеет следующие права:

1) право на бесплатное получение специальной одежды, обуви, других средств индивидуальной защиты, если рабочие трудятся на предприятии с вредными и опасными условиями труда. Все выданные средства защиты должны пройти сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами [26];

2) право на прохождение обязательных предварительных (при поступлении на работу) и периодических (в течение трудовой деятельности) медицинских осмотров за счёт работодателя для предупреждения профессиональных заболеваний [27];

3) право на ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней [28];

4) право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. В случае возникновения несчастного случая работнику или его семье выплачивается компенсация в размере, который зависит от тяжести последствий [29];

5) право на сокращение продолжительности рабочего времени. Сокращается продолжительность рабочего времени для работников, занятых на работах с вредными условиями труда 3 или 4 степени или опасными условиями труда – не более 36 часов в неделю [30];

б) право на повышенную оплату труда. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда таким работникам составляет 4 процента тарифной ставки, установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [31].

7.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При обустройстве рабочей зоны должны быть проведены следующие организационные мероприятия в соответствии с [35]:

1) перед совершением работы необходимо произвести отключения. Также необходимо принятие мер, которые препятствовали бы подаче напряжения на место работы из-за ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;

2) на приводах и ключах управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;

3) необходимо проверить отсутствие напряжения на токоведущих частях. Также эти токоведущие части должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

4) необходимо вывесить указательные плакаты «Заземлено», также при необходимости должны быть выставлены ограждения около рабочих мест и оставшихся под напряжением токоведущих частей, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты;

5) около открытых движущихся частей механизмов, являющихся возможным источником травмоопасности, должны быть обязательно установлены ограждения;

б) для предотвращения образования пожара взрывоопасных сред должна быть установлена предупредительная сигнализация, система пожаротушения. Также оборудование должно быть размещено на специально подготовленных площадках или в помещениях.

7.2.2.Производственная безопасность

7.2.1.Анализ опасных и вредных факторов

При эксплуатации электропривода вентилятора с системой плавного торможения ТРН-АД установки возможно воздействие на человека опасных производственных факторов.

Таблица 18 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Сборка	Эксплу тация	
1. Движущиеся части машин и механизмов		+	+	1. "Строительные нормы и правила СНиП III.A.II-70", "Правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах (ПТБЭМ)".
2. Повышенный уровень вибрации		+	+	

3.Повышенный уровень шума		+	+	2.ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний" 3.ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». 4. ГОСТ 12.1.005 – 88 и СанПиН 2.2.4.548-96. 7.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
4.Отклонение параметров микроклимата		+	+	
5.Повышенное значения в электрической цепи замыкания, которой может пройти через тело человека.		+	+	
6.Повышенный уровень электромагнитных излучений.			+	
7.Недостаточная освещенность рабочей зоны.			+	

7.2.2. Движущиеся части машин и механизмов

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 [35-38].

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.

7.2.3.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

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

Основными показателями, которые определяют масштаб поражения организма, являются [34]:

- 1) сопротивление тела;
- 2) путь протекания тока;
- 3) величина тока и напряжения;
- 4) продолжительность воздействия тока на организм.

7.2.4.Отклонение параметров микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений образуют следующие параметры: температура, влажность, скорость движения воздуха, концентрация вредных веществ [25]. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека, определяя его самочувствие. С целью создания нормативных условий для персонала установлены нормы производственного микроклимата (СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»).

Метеорологические условия: оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005 – 88 и СанПиН 2.2.4.548-96, исходя из категорий тяжести выполняемой работы (средней тяжести – Па), величины избытков явного тепла и периода года.

Таблица 19 – Требования к микроклимату

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная Влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	18 - 20	40 - 60	не более 0,3
теплый	21 - 23	40 - 60	0,2 – 0,4

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено при использовании: защиты от источников излучений тепловых для понижения температуры воздуха внутри помещения и облучения теплового работающих; устройство отопления, вентиляции; применение средств индивидуальной защиты ГОСТ 12.4.011-89. Согласно ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Классификация» все СИЗ в зависимости от назначения подразделяют на следующие классы: изолирующие костюмы, средства защиты органов дыхания, одежда специальная защитная, средства защиты ног, средства защиты рук, средства защиты головы, средства защиты лица, средства защиты глаз и др. предохранительные средства.

При проведении контроля электрооборудования путем измерения мгновенных значений тока и напряжения в рабочем режиме, т. е. при работе в электроустановках до 1000 В, применяются следующие средства защиты: поверенные диэлектрические резиновые перчатки, изолирующие штанги, диэлектрический монтажный инструмент. Кроме того, в качестве дополнительных средств защиты применяются диэлектрические галоши, сапоги и ковры, а также изолирующие подставки [25].

Норма теплового излучения - 350 Вт/м^2 (СНиП 2.04.05-91).

Отопление помещения применяется для поддержания в нем в холодное время года заданной температуры воздуха и обеспечения безопасности в отношении пожаров и взрывов. Для дыхания благоприятен следующий состав воздуха: азота - 78,08 %; кислорода - 20,95 %; аргона, неона и других инертных газов - 0,93 %; углекислого газа - 0,03 %; прочих газов - 0,01 %. Такой состав

должен содержать атмосферный воздух [16]. Наряду с химическим составом важен также ионный. Тяжелые ионы могут образовываться в результате попадания легких ионов на различные взвешенные частицы: капли воды, пылинки и так далее. На жизнедеятельность человека благотворное влияние оказывают отрицательные ионы кислорода.

Содержание вредных веществ в воздухе регламентируется ГОСТ 12.1.005-88, СНиП 2.04.05-91 и отраслевыми правилами. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76, по степени вредного воздействия на организм человека вещества делятся на четыре класса опасности. В воздухе узла связи может содержаться пыль от вторичного пылеобразования, которая относится к третьему классу опасности (ПДК 1,0...10,0 мг/м³).

Для обеспечения чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в помещениях узлов связи используют систему вентиляции, которая удаляет загрязнённый или нагретый воздух из помещения и подает в него свежий воздух.

7.2.5. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Информацию человек получает через зрительный канал на 80%. Качество этой информации напрямую зависит от освещения. Неудовлетворительное освещение утомляет зрение и вызывает утомление организма в целом. Неудовлетворительное освещение может, являясь причиной травматизма. Неправильная эксплуатация и ошибки, допущенные при проектировании осветительных установок, могут привести к несчастным случаям и пожару. При недостаточном освещении резко снижается производительность труда, а также увеличивается количество допускаемых ошибок. Основные требования к освещению в том, чтобы создать благоприятные условия для работы зрительного аппарата работника, так же оно должно удовлетворять вопросам безопасности, экономичности и надежности. По СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение» и

отраслевым нормам освещения в помещении для данной («В» разряд, «2» – подразряд) работы рекомендуется $E_H = 300$ лк при общем освещении.

Таблица 20 – Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения с характеристиками зрительных работ на узле связи

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта записания, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы, %	Освещенность на рабочей поверх-ти от системы общего	Средний КЕО при верхнем и боковом освещении, %	Минимальный КЕО при боковом освещении, %
Различие объектов при фиксированной линии зрения							
Средней точности	>0,5	2	В	< 70	100	2,0	0,5

7.2.6. Повышенный уровень шума

Шум - это хаотичное сочетание звуков разной частоты и интенсивности, возникающих во время механических колебаний в твердых, жидких и газообразных средах [24]. Шум негативно воздействует на организм человека в целом, а в первую очередь на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы. Это приводит к появлению профессиональных заболеваний, а также к возникновению несчастных случаев. Источниками производственного шума являются оборудование и машины, в данном случае трансформаторы, коммутаторы, ИБП. Допустимый уровень шумов регламентируется ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и СНиП 11-12-77 «Нормы проектирования. Допустимый уровень звукового давления на рабочих местах в производственных помещениях». Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 уровни звука в рабочих зонах

производственных помещений не должны превышать 80 дБ, обычно уровень шумов на узлах связи не превышает 60 дБ.

Для измерения общего уровня шума и уровней шума в октавных полосах частот применяют разные типы шумоизмерительной аппаратуры.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ для снижения шума применяют следующие методы: уменьшение в источнике; изменение направленности излучения; рациональная планировка зданий; специальная акустическая обработка внутри и снаружи помещений; уменьшение шума на пути его распространения.

Когда практически невозможно уменьшить шум до допустимых величин общетехническими мероприятиями, используют средства индивидуальной защиты. К этим средствам относятся:

- вкладыши - мягкие тампоны из ультратонкого волокна. Снижение шума 5... 20 дБ;
- наушники - при воздействии шумов с высокими уровнями (более 120 дБ);
- шлемы - применяют, когда вкладыши и наушники не обеспечивают необходимой защиты.

7.2.7.Повышенный уровень вибрации

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 21.

Санитарные нормы вибрации представлены в таблице 22.

Таблица 21- 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 22- Санитарные нормы вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Цех	-	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 12.4.024-76 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

7.2.8.Повышенный уровень электромагнитных полей

Во время работы на узле связи работник подвергается отрицательному воздействию электромагнитного поля промышленной частоты. Степень негативного действия электрического поля промышленной частоты на организм работника оценивается: по количеству поглощаемой телом человека энергии электрического поля; по току, проходящему через тело человека в землю; по напряженности поля в месте, где будет находиться человек. Допустимое значение тока, длительно проходящего через человека и обусловленного воздействием электрического поля, как показывает опыт работы в электроустановках и исследования, составляет примерно 50-60 мкА, что соответствует напряженности электрического поля на высоте роста человека ~5 кВ/м. Помещение, в котором напряженность электрического поля больше 5кВ/м или равно, принято считать зоной влияния или опасной. Если напряженность поля на рабочем месте превышает 25 кВ/м, или требуется долгое пребывания работника в поле, чем указано в таблице 5.2, работы производятся с применением защитных средств экранирующих устройств или экранирующих костюмов [24]. Уровни допустимого облучения определены в ГОСТ 12.1.006-83.

Таблица 23 – Нормы времени пребывания работника в электрическом поле электроустановок промышленной частоты

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимое время
менее 5	не ограничивается
от 5 до 10	не более 3 часов
от 10 до 15	не более 1,5 часов
от 15 до 20	не более 10 минут
от 20 до 25	не более 5 минут

Источниками электромагнитных полей являются генераторы, трансформаторы, распределительные устройства, коммутационные аппараты, ИБП, коммутаторы.

На территории узла связи напряженность электрического поля не превышает 5 кВ/м.

Для защиты помещения наиболее эффективна установка экранов. Защитное действие обусловлено тем, что экранируемое поле противоположно по фазе создаваемому полю в экране. Экран должен заземляться.

7.2.9. Экологическая безопасность

Воздействие человека на биосферу стало слишком велико и может сравниться с глобальными и природными процессами. Проблемам охраны окружающей среды в настоящее время уделяется большое внимание во всем мире. Увеличение количества вредных веществ в атмосфере, загрязнение и истощение почв и водоемов, тепловые, шумовые, радиационные и другие продукты урбанизации приводят к нарастанию экологического кризиса. На каждой производственной площадке организованы места временного хранения отходов. Разработка нормативно-разрешительной документации требует верных исходных данных, а также прогноза развития предприятия. Самым популярным в России методом обращения с твердыми бытовыми отходами на данный момент является их захоронение. Захоронение отходов является наименее эффективным методом обращения с ними, т.к. стоимость организации полигонов, соответствующих мировым стандартам, очень высока, да и присутствующие в идущих на захоронение отходах ценные компоненты теряются безвозвратно. Для снижения общего объема образования бытовых отходов планируется отдельный сбор макулатуры от бытовых отходов для последующей передачи на переработку для вторичного использования, что позволит на 30% снизить объем бытовых отходов образующихся на предприятии. Уменьшение таким образом объема бытовых

отходов позволит не только снизить платежи за негативное воздействие на окружающую среду, но и получать прибыль, превратить отходы в доходы.[33]

7.2.10.Безопасность в ЧС

Чрезвычайная ситуация – нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей, возникшее в результате воздействия источника чрезвычайной ситуации, на определённой территории повлекшее за собой угрозу жизни и здоровью, нанося ущерб населению и окружающей природной среде.

Источником чрезвычайной ситуации является опасное природное явление, авария, техногенное происшествие, широко распространённая инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, применение современных средств поражения, в результате чего произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация (ГОСТ Р.22.0.02-2016).

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций могут быть:

1. результат стихийных бедствий;
2. воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений повлекшее снижение их физико-механических показателей;
3. нарушение правил эксплуатации технологических процессов;
4. нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов;
5. ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих их некомпетентностью и безответственностью.

Согласно ГОСТ Р22.8.01-96 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования», Федеральным законам: «О защите населения от ЧС природного и техногенного характера»,

«О промышленной безопасности производственных объектов», «О радиационной безопасности населения» и др. повышение устойчивости функционирования объектов в ЧС заключается в заблаговременной разработке и осуществлении комплекса инженерно-технических мероприятий, организационных и экономических, направленных:

- ♦ на предотвращение производственных аварий и катастроф;
- ♦ на снижение возможных потерь и разрушений от современных средств поражения, от вторичных факторов и стихийных бедствий;
- ♦ на создание условий для восстановления нарушенного производства в минимальные сроки;
- ♦ на обеспечение жизнедеятельности населения.

Защита работников является важнейшей задачей повышения устойчивости работы любого предприятия. Для этого возводятся защитные сооружения: укрытия, убежища для работающей смены предприятия и противорадиоактивные укрытия в загородной зоне для отдыхающей смены и членов семей. Проводятся мероприятия, направленные к накоплению, хранению средств индивидуальной защиты.

Важнейшим элементом подготовки к защите является обучение работающих умелому применению средств и способов защиты, действиям в условиях ЧС [37].

Сооружения и Здания нужно размещать рассредоточено. Между ними должны быть противопожарные разрывы шириной не менее суммарной высоты двух соседних зданий.

В качестве мер для повышения устойчивости электроснабжения узлов связи, электроэнергия на них должна поступать от двух разных трансформаторных подстанции (два ввода). Так же нужно предусмотреть автономный (аварийный) источник электропитания, подходящую по мощности дизельную электростанцию.

7.2.11. Пожарная безопасность

Пожарная и взрывная безопасность - это система организационных действий и технических средств, направленных на своевременную профилактику, ликвидацию пожаров и взрывов, а также ограничение их последствий.

Пожары представляют большую опасность для жизни и здоровья людей и могут причинить колоссальный материальный ущерб. Основной причиной пожара в рассматриваемом помещении является неисправность электрооборудования, короткое замыкание, нагрев проводов и загорание изоляции, перезагрузка электрических сетей электропроводки, однако, пожар может возникнуть и при неосторожном обращении с огнем. Основы противопожарной защиты предприятий определены ГОСТ 12.1.004-91 и Правилами противопожарного режима в Российской Федерации введенными в действие Постановлением Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. № 390.

Мероприятия по пожарной профилактике различают на организационные, эксплуатационные, режимные и технические [25].

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию электрооборудования, правильное содержание здания, территории, противопожарный инструктаж рабочих и т. д. В соответствии с действующим законодательством ответственность за противопожарное состояние энергетических предприятий возлагается на руководителей этих предприятий. Руководители предприятия обязаны обеспечить полное своевременное выполнение правил пожарной безопасности и противопожарных требований строительных норм при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании здания, электроснабжения, отопления, вентиляции и освещения.

Мероприятия режимного характера - запрещение курения в неустановленных местах, сварочных и других работ в пожароопасных местах и т. д.

Эксплуатационные мероприятия являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытание технологического оборудования (электроустановок, изоляции и т. д.).

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» узел связи по степени пожарной опасности относится к "В1"– категории, то необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного и организационного плана.

Причины пожара в производственном помещении: электрические (короткое замыкание, перегрев проводов); открытый огонь (курение персонала в непредусмотренных местах); статическое электричество.

При загорании электроустановок необходимо в первую очередь позвонить в пожарную службу по телефону 112, предотвратить доступ электрического тока к электроустановкам в помещении, где произошло возгорание, по возможности сообщить руководству и приступить к тушению пожара с помощью первичных средств пожаротушения. Из средств пожаротушения желательно применять локализованные средства: воздушно - механическую пену высокой плотности, а также инертные газообразные разбавители.

На узлах связи применяются переносные ручные огнетушители. С их помощью можно своевременно ликвидировать очаг загорания либо локализовать огонь до прибытия пожарной команды.

Углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 емкостью 2,5; 5, 8 л предназначены для тушения небольших загораний любых видов. Порошковый огнетушитель ОПС-10 наполнен огнетушащим сухим порошком, предназначен для тушения небольших очагов в электроустановках. Огнетушитель типа ОХП-10 с огнетушащей химической пены.

Если горящая электроустановка не отключена и находится под напряжением, то тушение ее представляет опасность поражения электрическим током. Как правило, тушить ручными средствами пожар электрооборудования следует при снятом с него напряжении. Если по каким-либо причинам снять напряжение невозможно, то допускается тушение установки, находящейся под напряжением, но с соблюдением особых мер электробезопасности, которые предусмотрены Инструкцией по тушению.

Отключение присоединений, на которых горит электрооборудование, производится дежурным без предварительного разрешения вышестоящего оперативного персонала, с последующим уведомлением.

Тушение пожаров ручными средствами в сильно задымленных помещениях с узлами связи без снятия напряжения не допускается.

План эвакуации необходим на узле связи для безопасной и своевременной эвакуации людей и оборудования при пожаре или в других чрезвычайных ситуациях.

На узлах связи с дежурным персоналом согласно межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок ПОТ РМ-016-2001 первичные средства пожаротушения должны размещаться у входов.

Выводы по разделу

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

Было рассмотрены негативные влияния электрических полей на организм человека. Также были рассмотрены мероприятия по защите от воздействия электрических полей.

Были рассмотрены такие чрезвычайные ситуации, как пожар и меры, которые необходимо принять. Также были рассмотрены мероприятия и действия рабочего персонала по устранению при других чрезвычайных ситуациях.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы спроектирован и исследован регулируемый привод вентилятора с системой плавного пуска ТРН-АД, который предотвращает нежелательные колебания в механической части двигателя, избежать ударов в кинематике, и уменьшить воздействие пусковых токов, что в свою очередь положительно влияет на срок эксплуатации. Была приведена и обоснована схема асинхронного двигателя и системы импульсно-фазного управления в среде Matlab Simulink 2019a. Были рассчитаны параметры схемы замещения для двигателя, рассчитаны и построены электромеханическая характеристика, а также механическая характеристика при работе на холостом ходу и при работе на вентиляторную нагрузку. Исходя из полученных результатов был сделан вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

Рассчитаны все необходимые параметры которые были использованы для построения структурной схемы в среде Matlab Simulink 2019a. Провели сравнение двух схем: для холостого и для плавного пуска. Исходя из полученных графиков переходных процессов был сделан вывод, что устройство плавного пуска, на основе тиристорного регулятора напряжения помогает избежать всех неблагоприятных воздействий на электропривод, возникающих при холостом пуске. Снижается пусковой ток электродвигателя, уменьшаются колебания механического момента в кинематике, что ведет к значительному увеличению срока службы двигателя, повышению его

надежности. Также позволяет полностью избежать негативного влияния двигателя на питающую сеть, проявляющуюся в уменьшении напряжения.

Для механизмов, требования технической эксплуатации которых предусматривают «мягкий» пуск, применять устройства плавного пуска.

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

Было рассмотрены негативные влияния электрических полей на организм человека. Также были рассмотрены мероприятия по защите от воздействия электрических полей.

Были рассмотрены такие чрезвычайные ситуации, как пожар и меры, которые необходимо принять. Также были рассмотрены мероприятия и действия рабочего персонала по устранению при других чрезвычайных ситуациях.

По разделу финансовый менеджмент были сделаны:

При проведении анализа конкурентных технических решений по техническим и экономическим критериям было выявлено, что регулятор типа SP48P18 от компании ОАО «Электровыпрямитель», обладает лучшим показателем конкурентоспособности, который составляет 4,29. В большей степени на показатель конкурентоспособности повлияли такие аспекты, качественное исполнение, а также более надежное исполнение. В дальнейшем осуществлен выбор продукции данной компании;

Благодаря SWOT-анализу была проведена оценка сильных и слабых сторон, которые влияют на научный проект. Также были выявлены угрозы и возможности, которые могут возникнуть при осуществлении проекта. Этот анализ отражает основания для проведения научного исследования. Выявленные угрозы имеют низкую вероятность возникновения, поэтому возможности проекта способны в большей степени укрепить сильные стороны. Среди сильных и слабых сторон особенно выделяется высокая надежность и экономичность при наличии необходимых качеств. Данный критерий является основополагающим регулируемого электропривода с системой плавного пуска ТРН-АД;

При планировании этапов научного исследования был разработан календарный план, который отражает график выполнения работ для двух сотрудников, а именно: руководителя проекта и инженера-проектировщика. Общее количество календарных дней, необходимых для выполнения работы составляет 99 дней, из которых с учетом праздников и выходных, 56 дней работал инженер-проектировщик, а 9 дней – руководитель проекта. Также была построена диаграмма Гантта, которая наглядно демонстрирует все этапы научного исследования;

Далее составлен бюджет научного исследования. В него входит заработная плата сотрудников, отчисления во внебюджетные фонды, размер которых составляет 30,2% от заработной платы, амортизация, учитывающая срок эксплуатации ноутбука, материальные затраты и накладные расходы, которые составляют 16% от суммы остальных пунктов бюджета. Итоговая сумма бюджета составила 215533,37руб.

Далее была проведена сравнительная оценка ресурсоэффективности основного исполнения проекта с его аналогом. Оценка основного исполнения проекта по 5-ти бальной шкале составляет 4,5, а его аналога 4,4. Данная величина указывает на высокую эффективность реализации данного научного исследования.

Литература

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
2. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
3. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением / Шубенко В.А., Браславский И.Я. – М., "Энергия", 1972
4. Ткачук, Плавный пуск группы асинхронных электроприводов / Ткачук // Силовая Электроника. – 2008. – №2. – с 54-57.
5. Силовые преобразователи в электроснабжении: учебное пособие / Лукутин Б.В., Обухов С.Г – Томск: Изд-во ТПУ, 2013
6. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.
7. Электрический привод: Учеб пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования –М.: Мастерство: Высшая школа, 2000.–368с.
8. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – м.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
9. ГОСТ 12.0.003-2015 (СТ СЭВ 790-77). « Опасные и вредные производственные факторы. Классификация »
10. ГОСТ 12.1.005-88 « Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны »
11. ГОСТ 12.1.003-2014 « Шум. Общие требования безопасности »
12. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.

13. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т « Пожарная безопасность. Общие требования »
14. СП 9.13130.2009 « Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »
15. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
16. СНиП П-12-77. « Защита от шума »
17. СНиП 2.04. 05-91. « Отопление, вентиляция и кондиционирование »
18. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. « Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты »
19. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. « Обучение работающих безопасности труда »
20. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. « Защитное заземление, зануление »
21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. « Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов »
22. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. « Вибрационная безопасность. Общие требования »
23. 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 »
24. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 « Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »
25. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».
26. ТК РФ, статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда
27. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.

28. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.

29. ТК РФ, статья 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

30. Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

31. ТК РФ, статья 92. Сокращенная продолжительность рабочего времени.

32. ТК РФ, статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

33. ГОСТ Р 57678-2017. «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация строительных отходов»

34. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011.

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

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

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