

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

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Электроэнергетические системы и сети

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование устойчивости двигательной нагрузки предприятий нефтяного комплекса

УДК 621.313.333.01:622.276

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Иванов Владислав Викторович		

Руководитель ВКР/ консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Кулешова Елена Олеговна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Шестакова Вера Васильевна	к.т.н.		

Результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	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> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	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> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P10	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.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.032 Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей,

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.032 Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей, 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P12	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.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.032 Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей

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
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Специализация Высоковольтные электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ В.В. Шестакова
 « ___ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А7Г	Иванову Владиславу Викторовичу

Тема работы:

Исследование устойчивости двигательной нагрузки предприятий нефтяного комплекса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 29-61 от 29.01.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

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>Объектом исследования является электрическая сеть нефтяного месторождения. В качестве исходных данных представлены:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Принципиальная схема электроснабжения нефтяного месторождения; – Нагрузки на подстанциях.
<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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор. 2. Описание объектов, цели и постановка задач исследования; 3. Получение статической характеристики нагрузки для асинхронного двигателя; 4. Моделирование элементов электрической сети с помощью ПК RastrWin3 и Mustang; 5. Исследование установившегося режима работы электрической сети. 6. Исследование аварийного режима работы электрической сети; 7. Расчет и анализ процесса самозапуска

	двигателей; 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 9. Социальная ответственность; 10. Заключение.
--	--

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Принципиальная схема нефтяного месторождения; Модель графики в ПК RastrWin3.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна

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

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кулешова Е.О	к.ф.-м.н., ДОЦЕНТ		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Иванов В.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А7Г	Иванову Владиславу Викторовичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электрических систем и сетей
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии, 20 % надбавки, 13,5 % дополнительная заработная плата, 16% накладные расходы, 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка линейного графика. Формирование бюджета затрат на НИ: – материальные затраты – затраты на оборудование – заработная плата – отчисления на социальные цели – накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений;
2. Матрица SWOT;
3. Временные показатели проведения НИ;
4. Диаграмма Гантта;
5. Бюджет на разработку проекта;
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Иванов Владислав Викторович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А7Г	Иванову Владиславу Викторовичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электрических систем и сетей
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Исследование двигательной нагрузки в режиме работы электрической сети нефтяного месторождения	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: Режимы работы электрической сети с двигательной нагрузкой (двигатель ДАЗО4–450У–4Д)</p> <p>Область применения: Нефтяное месторождение</p>
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"> – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – Трудовой Кодекс РФ – ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Шум; – Возможные ненормативные метеоусловия; – Недостаточная освещенность рабочего места – ЭМП. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Опасность электропоражения; – Пожаровзрывоопасность.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выброс паров нефти</p> <p>Гидросфера: разлив нефти на воде</p> <p>Литосфера: оседание поверхности земли, провалы</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Техногенного характера (взрыв, пожар) – Экологического характера (выброс нефти). <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ЧС техногенного характера (взрыв, пожар)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Иванов Владислав Викторович		

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

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.02.21	Литературный обзор	10
25.03.21	Описание объектов, цели и постановка задач исследования	20
05.04.21	Получение СХН для асинхронного двигателя	20
03.05.21	Расчет и анализ установившегося и аварийных режимов	10
15.05.21	Расчет и анализ процесса самозапуска двигательной нагрузки	20
20.05.21	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
27.05.21	Социальная ответственность	10
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кулешова Елена Олеговна	к.ф.-м.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 6 глав, изложенных на 97 с., содержит 13 рисунков, 33 таблиц, 23 литературных источника, 8 приложения.

Ключевые слова: установившийся режим, аварийный режим, максимально-допустимый переток, запас статической устойчивости, самозапуск, короткое замыкание, автоматика повторного включения.

Объектом исследования является электрическая сеть нефтяного месторождения.

Цель работы: в связи с вводом новых кустовых площадок и увеличением добычи нефти и газа на нефтяном месторождении произвести расчет режимов работы электрической сети.

В процессе исследования проводились: создание базовой расчетной модели в программном комплексе RastrWin3; расчет и анализ установившегося и ремонтных режимов; исследование пропускной способности воздушной линии электропередач; анализ статических характеристик двигательной нагрузки; анализ и расчет самозапуска электродвигателей.

В результате исследования: рассчитан установившийся и аварийные режимы; произведен расчет статических характеристик двигательной нагрузки для асинхронного двигателя ДАЗО4–450У–4Д; произведен расчет самозапуска электродвигателей.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью: MS Word 2010, программный комплекс RastrWin3, Mustang, MS Visio, MathCad.

Термины и сокращения

ЕЭС – единая энергосистема

ВЛ – воздушная линия

АПВ – автоматическое повторное включение

АВР – автоматический ввод резерва

ВЛЭП – воздушная линия электропередач

ПС - подстанция

ПК – программный комплекс

АД – асинхронный двигатель

КЗ – короткое замыкание

СХН – статическая характеристика нагрузки

Содержание:

Реферат	10
Термины и сокращения.....	11
Введение.....	15
Теоретический материал по представлению двигательной нагрузки статическими характеристиками нагрузки по напряжению в RastrWin3.	16
РАЗДЕЛ 1 ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО ЭНЕРГОРАЙОНА. СБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	18
Исходные данные	18
Таблица 1 – Исходные длины ЛЭП.....	18
1.2 Выбор сечения проводов[3]	19
1.2.1 Проверка выбранных сечений по техническим ограничениям	21
1.3 Выбор трансформаторов на подстанциях[3].....	22
1.4 Выбор генераторов[3].....	23
1.5 Определение схемных параметров[3].....	24
РАЗДЕЛ 2 ПОЛУЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗКИ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	27
2.1 Расчет активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения асинхронного двигателя ДАЗО4–450У–4Д.....	27
2.2 Расчет значений характеристик АД для режима холостого хода ($M=0$) при номинальных значениях напряжения питания U_H	29
2.3 Расчет значений характеристик АД для различных значений напряжения питания U при номинальном значении частоты изменения напряжения f_H	31
2.3.1 Изменение активной мощности АД.....	33
2.3.2 Изменение реактивной мощности.....	33
2.4 Расчёт коэффициентов аппроксимирующих полиномов СХН	35
2.5 Экспериментальная проверка правильности методики расчёта СХН для асинхронного двигателя.	36

2.5.1	Получение статической характеристики нагрузки для асинхронного двигателя АИР56А4УЗ по методике, приведённой в пунктах (2.1–2.4.)......	37
2.5.2	Получение статической характеристики нагрузки для асинхронного двигателя АИР56А4УЗ экспериментально	39
РАЗДЕЛ 3 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ УСТАНОВИВШЕГОСЯ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ.....		42
3.1	Создание базовой расчетной модели	42
3.2	Расчет аварийного режима в программном комплексе «RASTRWIN3». ..	45
РАЗДЕЛ 4 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ.....		47
4.1	Понятие самозапуска	47
4.2	Процессы, происходящие при самозапуске	48
4.3	Расчёт и анализ динамической устойчивости двигательной нагрузки	49
РАЗДЕЛ 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....		52
5.1	Оценка потенциала и перспективности проведения научного исследования	52
5.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	55
5.3	Структура работ в рамках научного исследования	55
5.4	Определение трудоемкости выполнения работ	57
5.5	Разработка графика проведения научного исследования	57
5.6	Бюджет научно-технического исследования	61
5.7	Определение ресурсной эффективности исследования.....	67
РАЗДЕЛ 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....		71
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
6.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	71
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	72
6.2	Производственная безопасность	73
6.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	75

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите от действия опасных и вредных факторов.....	81
6.3 Экологическая безопасность.....	82
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
6.5 Выводы по данному разделу.....	86
Заключение	87
Список литературы	88
Приложение А	90
Приложение Б.....	91
Приложение В.....	92
Приложение Г	93
Приложение Д.....	94
Приложение Е.....	95
Приложение Ж.....	96
Приложение З	97

Введение

В соответствии с требованиями технических регламентов о надежности электроснабжения и бесперебойной генерации, передачи и распределения электрической энергии, производится расчет режимов электроэнергетических систем. Это позволяет обеспечить надежное электроснабжение потребителя и качество электроэнергии. Планирование и расчет электроэнергетических режимов работы энергообъектов и энергосистем позволяет обеспечить надежное функционирование ЕЭС России.

Повышение надежности электроснабжения происходит благодаря своевременному устранению неисправностей, как в системе генерации, так и в системе передачи и распределения электроэнергии. В соответствии с этим постоянно происходит мониторинг передаваемой энергии по воздушным линиям. Перетоки мощностей не должны превышать максимально допустимые значения пропускных способностей ВЛ.

На нефтегазодобывающем предприятии большую роль играет двигательная нагрузка, перерыв в электроснабжении которой может привести как к нарушению сложного технологического процесса, так и к большому объёму невыпущенной продукции. Такие электроприемники относятся к потребителям I и II категории надежности.

При работе устройств АПВ и АВР возникает условие, когда после кратковременного перерыва питания затормозившиеся двигатели одновременно подключаются к источнику питания. В таком случае происходит увеличение тока, которое значительно превышает значение нормального тока. Что, в свою очередь, ведет к понижению напряжения в сети. В таком случае, двигатели при больших возмущениях оказывают влияние как на режим работы ЭС, так и на функционирование внешней электрической сети, питающей нагрузки.

В связи с использованием современных электродвигателей, установленных на предприятиях нефтяного комплекса, целью данной выпускной квалификационной работы является:

- расчет электроэнергетических режимов работы сети электроснабжения;
- расчёт статических характеристик нагрузки асинхронного двигателя;
- исследование устойчивости энергорайона нефтяного комплекса;

В данной работе для решения таких задач будет использоваться программно-вычислительный комплекс RastrWin3. Программа предназначена для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем.

Теоретический материал по представлению двигательной нагрузки статическими характеристиками нагрузки по напряжению в RastrWin3.

Мощность, потребляемая нагрузкой, в общем случае зависит от напряжения U и частоты f электрической сети. Поэтому нагрузка, в том числе и двигательная, может быть представлена статическими характеристиками по напряжению и частоте (СХН)[1, п.4.3, формула 4.24]:

$$\underline{S}_H = P_H(U, f) + j \cdot Q_H(U, f); \quad (1)$$

В практических расчетах применяются СХН по напряжению при условии постоянства частоты в электрической сети[1, п.4.3]:

$$\underline{S}_H = P_H(U) + j \cdot Q_H(U) \text{ при } f = \text{const}; \quad (2)$$

Аналитически СХН можно выразить в виде полиномов n -ой степени, тогда СХН по напряжению можно записать в виде выражений[1, п.4.3, формула 4.25]:

$$P_H(U) = P_{\text{баз}} \cdot \left[a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right)^2 + \dots + a_n \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right)^n \right]; \quad (3)$$

$$Q_H(U) = Q_{\text{баз}} \cdot \left[\beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right) + \beta_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right)^2 + \dots + \beta_n \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right)^n \right],$$

где:

$P_{\text{баз}}, Q_{\text{баз}}$ – активная и реактивная мощности нагрузки, соответствующие базисному напряжению;

U – значение напряжения в узле нагрузки в данное время;

$U_{\text{баз}}$ – значение напряжения в узле нагрузки базисное;

$a_0, a_1 \dots a_{n-1}, a_n$ – коэффициенты полиномов статических характеристик по активной мощности;

$\beta_0, \beta_1 \dots \beta_{n-1}, \beta_n$ – коэффициенты полиномов статических характеристик по реактивной мощности;

С достаточной точностью СХН можно представить в виде полиномов второй степени [1, п.4.3, формула 4.26]:

$$P_H(U) = P_{\text{баз}} \cdot \left[a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right)^2 \right]; \quad (4)$$

$$Q_H(U) = Q_{\text{баз}} \cdot \left[\beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right) + \beta_2 \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{баз}}} \right)^2 \right],$$

Значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов для любых СХН удовлетворяют условию $a_0 + a_1 + a_2 = 1, \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 = 1$ [1, п.4.3].

В расчетах устойчивости, СХН более полно отражают свойства нагрузки, чем в случае задания нагрузки неизменным по модулю и фазе током, постоянной по модулю мощностью, проводимостью или сопротивлением.

Во вкладке «СХН» в колонки «полиномы статических характеристик нагрузки» (P0, P1, P2; Q0, Q1, Q2) записываются рассчитанные полиномы.

№схн	P0	P1	P2	Frec P	Q0	Q1	Q2	Frec Q

Рисунок 1 – Вкладка «СХН» в программном комплексе RASTRWIN3

Затем во вкладке «Узлы» в колонке «№схн» вбиваем номер СХН на узле в котором хотим задать двигательную нагрузку.

Тип	Номер	Название	U_ном	№_схн	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
Нагр	511	Г СШ КУСТ №111 Н	6			2,2	1,4							6,21	-5,46

Рисунок 2 – Вкладка «Узлы» в программном комплексе RASTRWIN3

**РАЗДЕЛ 1 ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО ЭНЕРГОРАЙОНА.
СБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ**

Исходные данные

Таблица 1 – Исходные длины ЛЭП

№	Участок ЛЭП	Длина, L, км
1	Генератор – ПС 110/35/10	72
2	ПС 110/35/10 - ПС 35/10 УПН	1,918
3	ПС 110/35/10 – точки 5,6	5,119
4	Точки 5,6 - ПС КУСТ №11	2,751
5	Точки 5,6 – точки 52,62	2,751
6	Точки 52,62 - ПС КУСТ №14	0,115
7	Точки 52,62 - ПС КУСТ №20	0,902
8	ПС 110/35/10 – точки 7,8	1,349
9	Точки 7,8 - ПС КУСТ №12	2,925
10	Точки 7,8 – точки 71,81	4,875
11	Точки 71,81 - ПС КУСТ №17	1,953
12	Точки 71,81 – точки 72,82	3,616
13	Точки 72,82 - ПС КУСТ №24	0,709
14	Точки 72,82 - ПС КУСТ №30	4,968
15	ПС 110/35/10 – точки 9,91	3,356
16	Точки 9,91 - ПС 35/10 ОПБ	1,333
17	Точки 9,91 - ПС 35/10 БКНС	5,826

Таблица 2 – Исходные Нагрузки

№	Подстанция	$S_{ПС}$, МВА	T_{max} , час	Категория потребителей
1	ПС 35/10 УПН	7,6+j4,7	8760	II
2	ПС КУСТ №11	4,4+j2,7	8760	II
3	ПС КУСТ №20	0,9+j0,5	8760	II
4	ПС КУСТ №14	1,2+j0,8	8760	II
5	ПС КУСТ №12	2,8+j1,7	8760	II
6	ПС КУСТ №17	4,3+j2,7	8760	II
7	ПС КУСТ №24	4,7+j2,9	8760	II
8	ПС КУСТ №30	2,1+j1,3	8760	II
9	ПС 35/10 ОПБ	4+j2,5	8760	II
10	ПС 35/10 БКНС	4,5+j2,8	8760	II
11	Суммарная нагрузка	36,5+j22,6	-	-

В таблице 3 представлены технические параметры двигателя ДАЗО4–450У–4Д являющимся двигательной нагрузкой на ПС 35/10 БКНС (на ПС 35/10 БКНС установлено 6 таких двигателей)[2].

Электродвигатели асинхронные закрытые обдуваемые трехфазные с короткозамкнутым ротором серии ДАЗО4 предназначены для привода механизмов с тяжелыми условиями пуска не требующих регулирования частоты вращения, а так же для привода насосов, вентиляторов, воздуходувок, дымососов и других механизмов с аналогичными характеристиками при пуске, в том числе для привода механизмов собственных нужд тепловых и атомных электростанций[2].

Таблица 3 – Технические параметры электродвигателей

Тип двигателя	P, кВт	U, кВ	Частота вращения, об/мин	Скольжение, %	Iстат, А	КПД, %	cosφ	Кратность макс. момента
ДАЗО4–450У–4Д	800	10	1500	1	54.4	95,4	0,89	2,3

Расшифровка ДАЗО4–450У–4Д:

ДАЗО – двигатель асинхронный закрытый обдуваемый;

4 – номер серии;

450 – габарит (высота оси вращения);

У – условное обозначение длины сердечника статора;

4 – число полюсов;

Д – номинальное напряжение 10 кВ.

1.2 Выбор сечения проводов[3]

Сечения проводов выбираем по методу экономической плотности тока.

$$S_{ЭК} = \frac{I_p}{j_{ЭК}},$$

где $j_{ЭК}$ – значение экономической плотности тока;

$$I_{(5)} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot n};$$

$$I_p = I_{(5)} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t;$$

α_i – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии. Для линий 110 кВ значение α_i может быть принято равным 1,05, что соответствует математическому ожиданию этого коэффициента в зоне наиболее часто встречающихся темпов роста нагрузки .

Для линии до 110кВ значение α_i равно 1.

α_T – учитывает число часов использования максимальной нагрузки ВЛ.

Пример расчёта для замкнутой сети участка ЛЭП 110кВ:

Средневзвешенное время действия наибольшей нагрузки:

$$T_{\text{ср.}} = T_{\text{max}} = 8760 \text{ ч}$$

$$J_{\text{эк}} = 1,0$$

Определим ток в линии на пятый год эксплуатации:

$$I_{(5)} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot n} = \frac{42.93 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 2} = 112.66 \text{ А}$$

$$\alpha_i = 1,05$$

$$\alpha_T = 1,3$$

Определим расчетный ток I_p

$$I_p = I_{(5)} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T = 112.66 \cdot 1.05 \cdot 1.3 = 153.784 \text{ А}$$

Определим сечение по экономической плотности тока:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{153.784}{1,0} = 153.784 \text{ мм}^2 \quad S_{\text{станд}} = 185 / 43$$

Аналогичным образом производится расчёт для других участков сети обеих схем. Результаты расчётов сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 - Выбранные сечения ЛЭП

Участок ЛЭП	$n_{Л}$	$U_{НОМ}, кВ$	$I_{расч}, А$	$S_{эк}, мм^2$	Марка провода	$I_{доп}, А$
Генератор – ПС 110/35/10	2	110	153,78	153,78	АС 185/29	510
ПС 110/35/10 - ПС 35/10 УПН	2	35	95,8	95,8	АС 120/19	390
ПС 110/35/10 – точки 5,6	2	35	81,83	81,83	АС 95/16	330
Точки 5,6 - ПС КУСТ №11	2	35	55,35	55,35	АС 70/11	265
Точки 5,6 – точки 52,62	2	35	26,48	26,48	АС 35/6,2	175
Точки 52,62 - ПС КУСТ №14	2	35	15,46	15,46	АС 35/6,2	175
Точки 52,62 - ПС КУСТ №20	2	35	11,04	11,04	АС 35/6,2	175
ПС 110/35/10 – точки 7,8	2	35	175,25	175,25	АС 185/29	510
Точки 7,8 - ПС КУСТ №12	2	35	35,12	35,12	АС 50/8	210
Точки 7,8 – точки 71,81	2	35	107,79	107,79	АС 120/19	390
Точки 71,81 - ПС КУСТ №17	2	35	54,44	54,44	АС 70/11	265
Точки 71,81 – точки 72,82	2	35	85,14	85,14	АС 95/16	330
Точки 72,82 - ПС КУСТ №24	2	35	59,21	59,21	АС 70/11	265
Точки 72,82 - ПС КУСТ №30	2	35	26,48	26,48	АС 35/6,2	175
ПС 110/35/10 – точки 9,91	2	35	107,4	107,4	АС 120/19	390
Точки 9,91 - ПС 35/10 ОПБ	2	35	50,58	50,58	АС 70/11	265
Точки 9,91 - ПС 35/10 БКНС	2	35	56,82	56,82	АС 70/11	265

1.2.1 Проверка выбранных сечений по техническим ограничениям

Сечения проводов, выбранные по экономическому критерию, проверяются на соответствие по ряду технических требований. Окончательный выбор сечения можно сделать только после проверки выполнения этих требований.

Проверка по условиям короны[3]

Выбранные сечения ВЛ напряжением 110 кВ со сталеалюминевыми проводами по условиям короны должны быть диаметром

не менее 11,4 мм (АС 70/11)

Проверка по механической прочности[3]

Сечение провода должно соответствовать условию:

$$S \geq S_{\min mex}$$

Где:

$S_{\min mex}$ – минимально допустимое сечение проводов.

Для 35 кВ и выше марка провода проходящего по механической прочности АС 120/19[3, табл.2.5.5.]

Результаты проверок сводятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбранные провода

Участок ЛЭП	$n_{л}$	$U_{НОМ}, кВ$	$I_{расч}, А$	$S_{эк}, мм^2$	Марка провода	$I_{доп}, А$
Генератор – ПС 110/35/10	2	110	153,78	153,78	АС 185/29	510
ПС 110/35/10 - ПС 35/10 УПН	2	35	95,8	95,8	АС 120/19	390
ПС 110/35/10 – точки 5,6	2	35	81,83	81,83	АС 120/19	390
Точки 5,6 - ПС КУСТ №11	2	35	55,35	55,35	АС 120/19	390
Точки 5,6 – точки 52,62	2	35	26,48	26,48	АС 120/19	390
Точки 52,62 - ПС КУСТ №14	2	35	15,46	15,46	АС 120/19	390
Точки 52,62 - ПС КУСТ №20	2	35	11,04	11,04	АС 120/19	390
ПС 110/35/10 – точки 7,8	2	35	175,25	175,25	АС 185/29	510
Точки 7,8 - ПС КУСТ №12	2	35	35,12	35,12	АС 120/19	390
Точки 7,8 – точки 71,81	2	35	107,79	107,79	АС 120/19	390
Точки 71,81 - ПС КУСТ №17	2	35	54,44	54,44	АС 120/19	390
Точки 71,81 – точки 72,82	2	35	85,14	85,14	АС 120/19	390
Точки 72,82 - ПС КУСТ №24	2	35	59,21	59,21	АС 120/19	390
Точки 72,82 - ПС КУСТ №30	2	35	26,48	26,48	АС 120/19	390
ПС 110/35/10 – точки 9,91	2	35	107,4	107,4	АС 120/19	390
Точки 9,91 - ПС 35/10 ОПБ	2	35	50,58	50,58	АС 120/19	390
Точки 9,91 - ПС 35/10 БКНС	2	35	56,82	56,82	АС 120/19	390

1.3 Выбор трансформаторов на подстанциях[3]

По начальным и конечным мощностям из исходных данных выбираем трансформаторы.

$$S_{ТТР} \geq \sqrt{P_{\Sigma Н}^2 + Q_{\Sigma Н}^2} \geq 42,23 \text{ МВА}$$

Принимаем для ПС110/35/10 трёхфазный трёхобмоточный трансформатор ТДТН-63000/110/35/10.

Для трансформаторов на ПС 35кВ выбираем мощность исходя из нагрузки каждой ПС.

Результаты расчета всех номинальных мощностей трансформаторов приведены в Таблице 6.

Таблица 6 - Мощности и типы трансформаторов.

ПС	Тип трансформатора	$S_{НОМ}$, МВА
ПС 110/35/10	ТДТН-63000/110/35/10	63
ПС 35/10 УПН	ТМН-10000/35	10
ПС КУСТ №20	ТМН-1000/35	1
ПС КУСТ №14	ТМН-1600/35	1,6
ПС КУСТ №11	ТМН-4000/35	4
ПС КУСТ №12	ТМН-4000/35	4
ПС КУСТ №17	ТМН-4000/35	4
ПС КУСТ №24	ТМН-6300/35	6,3
ПС КУСТ №30	ТМН-2500/35	2,5
ПС 35/10 ОПБ	ТМН-4000/35	4
ПС 35/10 БКНС	ТМН-6300/35	6,3

1.4 Выбор генераторов[3]

Для генератора необходимо взять большую мощность, чем требуется, так как загружать до номинала нежелательно (ввиду уменьшения времени эксплуатации и влияния потерь мощности). Поэтому возьмем 70 % от мощности, которую необходимо выработать для обеспечения ПС электроэнергией.

Составим пропорцию и найдем минимальную мощность, необходимую для турбогенератора энергосистемы.

$$\frac{41,63 \text{ МВт}}{70 \%} = \frac{X}{100 \%}$$

Отсюда следует, что $X = 41,63 \cdot 100 / 70 = 59,471 \text{ МВт}$

Ближайший генератор – ТВФ-100-2.

Таблица 7 – Выбор генераторов

Номер узла	Тип генератора	Мощность генерации, МВт	Номинальная мощность, МВт	$\cos \varphi$
1	ТВФ-100-2	75,1	100	0,8

Расшифровка названия генератора в узле 1 ТВФ-100-2

Т- турбогенератор;

ВФ – водородное форсированное охлаждение;

100 МВт – мощность турбогенератора;

2 – число пар полюсов.

1.5 Определение схемных параметров[3]

Расчёт параметров ЛЭП

Произведём расчёт следующих параметров

$$R_{Л} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{ц}}; \quad X_{Л} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{ц}};$$
$$B_{Л} = n_{ц} \cdot b_0 \cdot l; \quad G_{Л} = g_0 \cdot l \cdot n_{ц}$$

где: l – длина линий, км;

r_0 – погонное активное сопротивление линии при температуре проводов $+20^{\circ}\text{C}$, Ом/км

x_0 – погонное индуктивное сопротивление линии

$n_{ц}$ – число цепей ЛЭП.

b_0 – погонная емкостная проводимость, См/км;

По справочнику Файбисович находим технические характеристики проводов[2, табл.3.8]:

Для ЛЭП 110кВ:

АС 185/29:

$$b_0 = 2,747 \frac{\text{мкСм}}{\text{км}}; \quad r_0 = 0,159 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; \quad x_0 = 0,413 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Для ЛЭП 35кВ:

АС 185/29:

$$r_0 = 0,159 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; \quad x_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

АС 120/19:

$$r_0 = 0,244 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; \quad x_0 = 0,414 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Приведем пример расчета участка ЛЭП «Генератор – ПС 110/35/10»:

$$R_{л} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\psi}} = \frac{0.159 \cdot 72}{2} = 5.724 \text{ Ом}; \quad X_{л} = \frac{x_0 \cdot \ell}{n_{\psi}} = \frac{72 \cdot 0,413}{2} = 14,862 \text{ Ом};$$

$$B_{л} = b_0 \cdot l \cdot n_{\psi} = 72 \cdot 2,747 \cdot 2 = 395,586 \text{ мкСм.}$$

Все параметры линий сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Сопротивления ЛЭП

Участок ЛЭП	$n_{л}$	$U_{НОМ}$, кВ	Марка провода	$R_{л}$, Ом	$X_{л}$, Ом	Вл, мкСм
Генератор – ПС 110/35/10	2	110	АС 185/29	5,724	14,862	395,586
ПС 110/35/10 - ПС 35/10 УПН	2	35	АС 120/19	0,234	0,397	-
ПС 110/35/10 – точки 5,6	2	35	АС 120/19	0,624	1,059	-
Точки 5,6 - ПС КУСТ №11	2	35	АС 120/19	0,331	0,569	-
Точки 5,6 – точки 52,62	2	35	АС 120/19	0,331	0,569	-
Точки 52,62 - ПС КУСТ №14	2	35	АС 120/19	0,014	0,024	-
Точки 52,62 - ПС КУСТ №20	2	35	АС 120/19	0,11	0,186	-
ПС 110/35/10 – точки 7,8	2	35	АС 185/29	0,107	0,269	-
Точки 7,8 - ПС КУСТ №12	2	35	АС 120/19	0,357	0,605	-
Точки 7,8 – точки 71,81	2	35	АС 120/19	0,595	1,009	-
Точки 71,81 - ПС КУСТ №17	2	35	АС 120/19	0,238	0,404	-
Точки 71,81 – точки 72,82	2	35	АС 120/19	0,441	0,748	-
Точки 72,82 - ПС КУСТ №24	2	35	АС 120/19	0,086	0,147	-
Точки 72,82 - ПС КУСТ №30	2	35	АС 120/19	0,606	1,028	-
ПС 110/35/10 – точки 9,91	2	35	АС 120/19	0,409	0,694	-
Точки 9,91 - ПС 35/10 ОПБ	2	35	АС 120/19	0,163	0,276	-
Точки 9,91 - ПС 35/10 БКНС	2	35	АС 120/19	0,711	1,206	-

Определение сопротивлений и проводимостей трансформаторов[3]

Для определения параметров трансформаторов воспользуемся каталожными данными взятыми из справочника [4] и занесем их в таблицу 9.

Таблица 9 – Характеристики установленных трансформаторов

Тип трансформатора	S, МВА	Пределы регулирования	$U_{НОМ}$, кВ			U_k , %			P_x , кВт	I_x , %	R_t , Ом			X_t , Ом			Q_x , кВАр
			ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
ТДТН-63000/110	63	ПБВ $\pm 2 \times 2,5\%$	115	39	11	10,5	17	6,5	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22	0	13,2	240

Приведем расчет проводимости для трансформатора:

$$B_T = \frac{\Delta Q_x}{U_{ном}^2} = \frac{240}{115^2} \cdot 10^3 = 18,147 \text{ мкСм};$$

$$G_T = \frac{\Delta P_x}{U_{ном}^2} = \frac{43}{115^2} \cdot 10^3 = 3,25 \text{ мкСм};$$

$$I_{доп.ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{В.ном}} = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 10^3} = 200,8 \text{ А.}$$

Аналогично произведём расчёт для остальных трансформаторов.

Полученные результаты занесем в таблицу 10.

Таблица 10 - Данные для трансформаторов

Марка	Rтр, Ом	Xтр, Ом	Вт, мкСм	Гт, мкСм	Идоп	кТ
ТД-10000/35	0,96	11,1	53,97	9,78	149,96	0,272
ТМН-1000/35	7,9	49,8	18,04	2,93	16,49	0,18
ТМН-1600/35	11,2	49,2	14,36	4,16	26,39	0,575
ТМН-4000/35	2,6	23	32,65	5,47	65,98	0,18 / 0,314
ТМН-6300/35	1,4	14,6	46,28	7,51	103,92	0,18 / 0,314
ТМН-2500/35	4,6	31,9	22,45	4,16	41,239	0,18
ТД-40000/110	1,46	38,4	17,76	3,41	190,86	19,206

РАЗДЕЛ 2 ПОЛУЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗКИ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

2.1 Расчет активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения асинхронного двигателя ДАЗО4–450У–4Д

На рисунке 3 изображена упрощенная Г-образная схема замещения одной фазы АД в которой нужно рассчитать активные и индуктивные сопротивления. Согласно [5] «параметры асинхронных машин таковы, что переход от Т-образной схемы к упрощенной Г-образной схеме не приводит к появлению заметных погрешностей».

Все расчёты производятся в программном комплексе Mathcad 15.

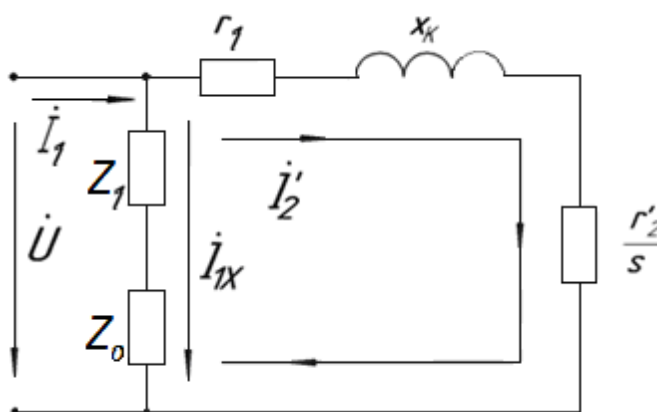


Рисунок 3 – Г-образная схема замещения одной фазы АД

Где:

Z_1 и r_1 – комплексное и активное сопротивления обмотки статора;

r'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

x_k – индуктивное сопротивление обмоток для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе);

Z_0 – комплексное сопротивление поперечной ветви для Т-образной схемы замещения АД;

s – скольжение ротора;

U – напряжение питания;

I_{1x} – ток холостого хода;

I'_2 – ток в обмотке ротора, приведенный к обмотке статора;

I_1 – потребляемый ток.

Согласно [6]:

$$Z_1 + Z_0 = C_1 \cdot Z_0 \text{ где } C_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_0} = 1,02 \div 1,06$$

Значения сопротивлений r_1 , r'_2 , x_K нужно рассчитывать в следующей последовательности.

$$\xi = \frac{M_{\text{ЭМН}}}{M_H} = 1,02 \div 1,2$$

Примем $\xi = 1,02$

Где $M_{\text{ЭМН}}$ и M_H – номинальные электромагнитный и вращающий моменты.

η_H – КПД двигателя;

s_H – номинальное скольжение ротора;

P_{1H} – активная мощность двигателя;

$P_{2H} = P_{1H} \cdot \eta_H$ – активная мощность на валу двигателя;

λ – кратность максимального момента.

При увеличении номинальной мощности P_H двигателя величина активного сопротивления статора снижается, а при $P_H > 10$ кВт можно пренебречь его величиной $r_1 \approx 0$. Тогда $a = 0$.

$$R_m = \frac{U_H^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot P_{2H} \cdot (\lambda + \xi - 1)} = 27.956 \text{ Ом};$$

$$G = \frac{1}{s_H^2} + \frac{2 \cdot a}{s_H} + a^2 = 1 \cdot 10^4 \text{ о.е.};$$

$$b = \frac{\lambda + \xi - 1}{\xi} = 2,275 \text{ о.е.};$$

$$r'_2 = \frac{R_m}{G} \cdot \left[\frac{b}{s_H} + a + \sqrt{\left(\frac{b}{s_H} + a \right)^2 - G} \right] = 1,207 \text{ Ом};$$

$$x_K = \sqrt{R_m^2 - 2 \cdot R_m \cdot r_1} = 27,956 \text{ Ом}.$$

Рассчитанные значения сопротивлений r_1 , r'_2 , x_K проверяем по формулам, полученным из выражений для номинального и максимального электромагнитных моментов.

$$P_{2H} = \frac{U_H^2 \cdot (1 - s_H) \cdot \frac{r'_2}{s_H}}{\xi \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r'_2}{s_H} \right)^2 + x_K^2 \right]} = 7,632 \cdot 10^5 \text{ Вт};$$

$$\lambda = \frac{U_H^2}{2 \cdot P_{2H}} \cdot \frac{1 - s_H}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_K^2}} + 1 - \xi = 2,3 \text{ о.е.}$$

2.2 Расчет значений характеристик АД для режима холостого хода ($M=0$) при номинальных значениях напряжения питания U_H

Необходимые расчетные формулы для тока холостого хода $I_{1X} = I_0$ и угла φ_X между векторами U_H и I_{1X} можно получить, используя векторную диаграмму для номинального режима работы АД, изображенную на рисунке 4.

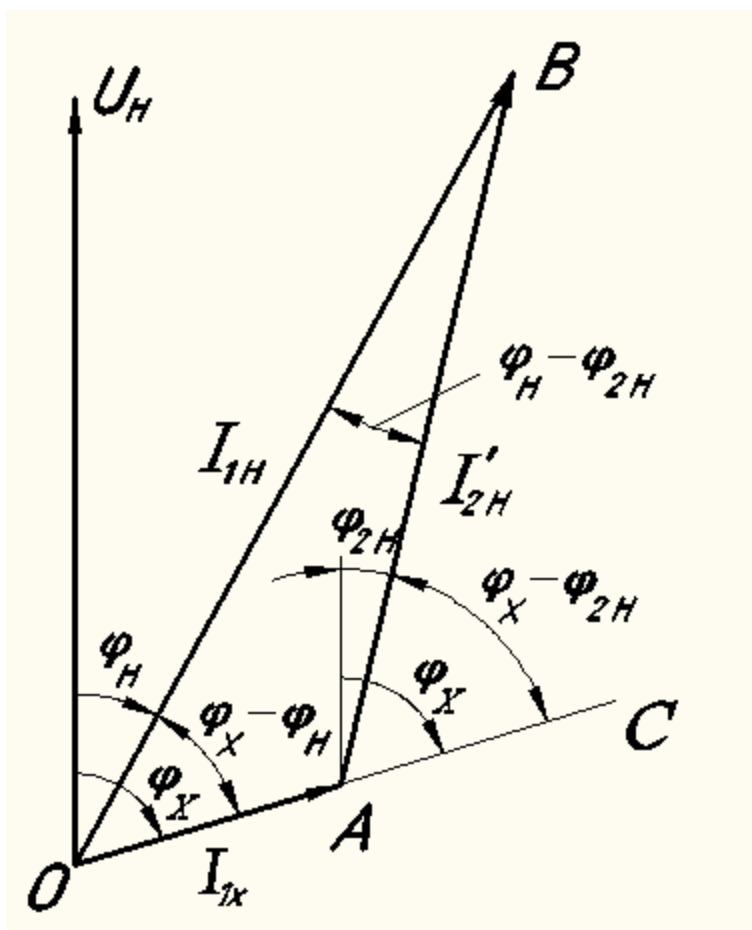


Рисунок 4 – векторная диаграмма для номинального режима работы АД

Угол ОВА между векторами \bar{I}_{1H} и \bar{I}_{2H} равен $\varphi_H - \varphi_{2H}$, потому что сумма этого угла с другим острым углом треугольника ВОА равна внешнему углу ВАС с величиной $\varphi_X - \varphi_{2H}$.

Значения тока $I_{1X} = I_0$ и угла φ_X нужно рассчитывать в следующей последовательности.

Потребляемая мощность и фазный ток:

$$P_{1H} = \frac{P_{2H}}{\eta_H} = 8 \cdot 10^5 \text{ Вт}; \quad I_{1H} = \frac{P_{1H}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H} = 51,897 \text{ А.}$$

Ток в обмотке ротора, приведенный к обмотке статора:

$$I'_{2H} = \frac{\frac{U_H}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s_H}\right)^2 + x_K^2}} = 46,6 \text{ А.}$$

Угол между векторами тока I_{1H} и напряжения U_H :

$$\varphi_H = \arccos(\cos \varphi_H) = 0,473 \text{ рад.}$$

Угол между векторами тока I'_{2H} и напряжения U_H :

$$\varphi_{2H} = \arctg \left(\frac{x_K}{r_1 + \frac{r'_2}{s_H}} \right) = 0,228 \text{ рад.}$$

Ток $I_{1X} = I_0$ нужно рассчитывать по теореме косинуса для треугольника ОВА (см. рисунок 4):

$$I_{1X} = I_0 = \sqrt{I_{1H}^2 + I'_{2H}{}^2 - 2 \cdot I_{1H} \cdot I'_{2H} \cdot \cos(\varphi_H - \varphi_{2H})} = 13,171 \text{ А;}$$

$$\cos \varphi_X = \frac{(I_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I'_{2H} \cdot \cos \varphi_{2H})}{I_{1X}} = 0,06;$$

$$\varphi_X = \arccos(\cos \varphi_X) = 1,511 \text{ рад.}$$

2.3 Расчет значений характеристик АД для различных значений напряжения питания U при номинальном значении частоты изменения напряжения f_H

Значения характеристик АД рассчитываем в следующей последовательности:

$$\Omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = 157,08 \text{ об/мин;} \quad n_H = n_0 \cdot (1 - s_H) = 1,485 \cdot 10^3 \text{ об/мин;}$$

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_H} = 4,908 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м;} \quad M_0 = (\xi - 1) \cdot M_H = 98,155 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Где:

n_0 – синхронная частота вращения;

Ω_0 – угловая частота вращения;

n_H – номинальная частота оборотов в минуту вала двигателя;

M_0 – момент холостого хода;

Принимаем $M = M_H$

$$R_s = \frac{U^2}{2 \cdot (M + M_0) \cdot \Omega_0} - r_1 = 63,587 \text{ Ом};$$

$$s = \frac{r'_2}{R_s + \sqrt{(R_s)^2 - (r_1^2 + X_k^2)}} = 0,01 \text{ о.е.};$$

$$I'_2 = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + X_k^2}} = 46,6 \text{ А};$$

$$\varphi_2 = \arctan \left(\frac{X_k}{r_1 + \frac{r'_2}{s}} \right) = 0,228 \text{ рад};$$

$$I_{1X} = K_{II} \cdot I_0 \cdot \frac{U}{U_H} = 13,171 \text{ А};$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1X}^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_{1X} \cdot I_2' \cdot \cos(\varphi_X - \varphi_2)} = 51,897 \text{ А};$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{1X} \cdot \cos \varphi_X + I_2' \cdot \cos \varphi_2}{I_1} = 0,89 \text{ рад}.$$

Где:

s – скольжение ротора;

I_2' – ток в обмотке ротора, приведенный к обмотке статора;

I_{1X} – ток холостого хода двигателя;

I_1 – ток в обмотке статора;

K_{II} – поправочный коэффициент, зависящий от отношений напряжений

U / U_H представленный в таблице 11.

Таблица 11 – значения коэффициента K_{II}

U / U_H , о.е.	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1
K_{II} , о.е.	0,76	0,82	0,88	0,94	1,0	1,07	1,15

Формулы для тока I_1 и $\cos \varphi$ получены из рассмотрения векторной диаграммы на рисунке 4 для ненормального режима работы АД.

2.3.1 Изменение активной мощности АД

Рассчитаем параметры АД при изменении напряжения питания U :

$$n = n_0 \cdot (1 - s) = 1,485 \cdot 10^3 \text{ об/мин}; \quad P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55} = 7,632 \cdot 10^5 \text{ Вт};$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = 8 \cdot 10^5 \text{ Вт}; \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} = 0,954 \text{ о.е.}$$

Изменяя напряжение питающей сети $U = \text{var} \in [8; 11]$ с шагом 0,5 кВ, рассчитывают активную мощность, потребляемую АД по аналогии с пунктами (3– 3.1). Результаты расчётов заносим в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты расчёта зависимости активной мощности от напряжения для АД

U , кВ	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
P_1 , кВт	793	794	796	797	800	802	805

2.3.2 Изменение реактивной мощности

Примем значение коэффициента $C_1 = 1,02$.

Определим сопротивления схемы замещения АД z_0 и x_0 :

$$z_0 = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_{1X} \cdot C_1} = 436,596 \text{ Ом}; \quad x_0 = z_0 \cdot \sin \varphi_x = 435,811 \text{ Ом.}$$

Определим реактивную мощность АД:

$$Q_i = \frac{U^2}{x_0} + \sqrt{3} \cdot U \cdot I'_2 \cdot \sin \varphi_2 = 4,116 \cdot 10^5 \text{ вар.}$$

Изменяя напряжение питающей сети $U = \text{var} \in [8;11]$ с шагом 0,5 кВ, рассчитывают реактивную мощность, потребляемую АД по аналогии с пунктами 3, 3.2. Результаты расчётов заносим в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты расчёта зависимости реактивной мощности от напряжения для АД

U, кВ	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
Q ₁ , квар	424	403	395	399	412	429	467

Построим график статических характеристик нагрузки по напряжению для асинхронного двигателя (рисунок 5).

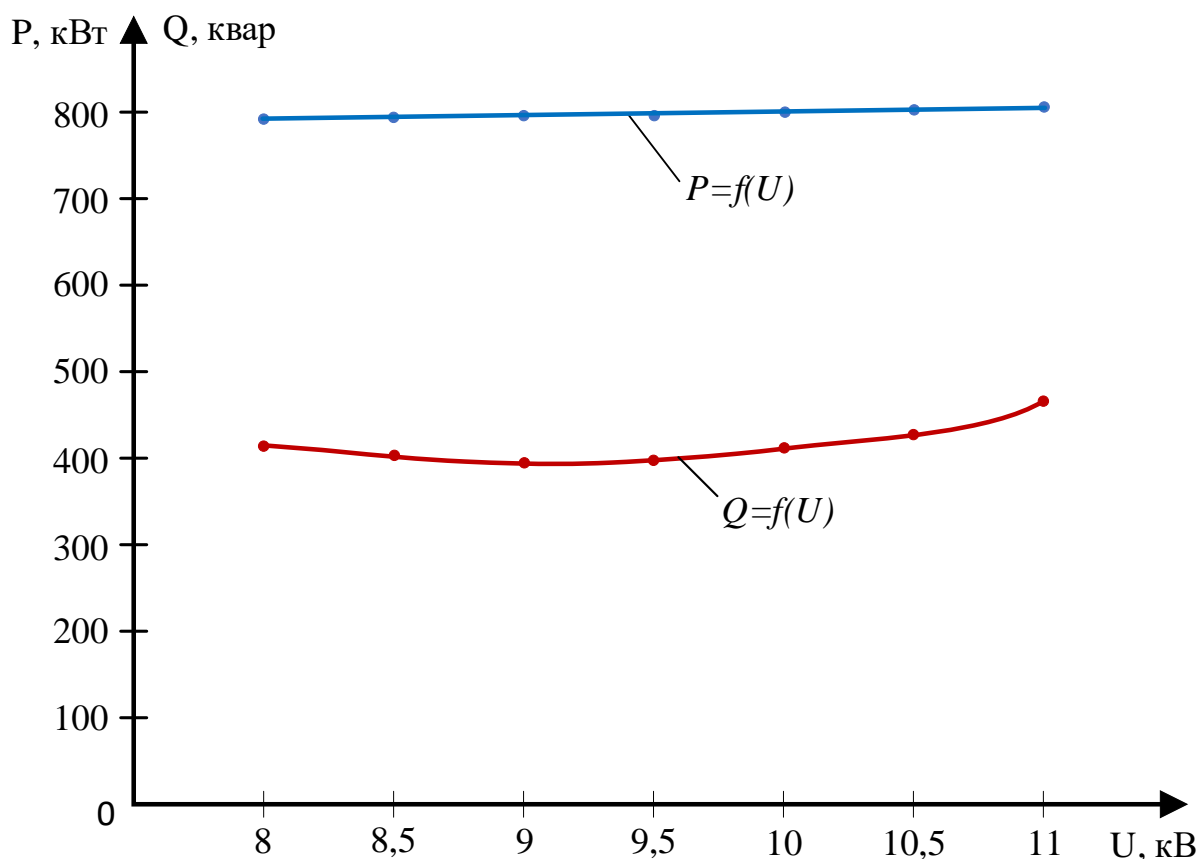


Рисунок 5 – Статические характеристики нагрузки по напряжению для асинхронного двигателя

Как видно из рисунка 5 потребляемая из сети активная мощность $P = f(U)$ (при указанной структуре нагрузки) с увеличением напряжения медленно растёт. Изменение же потребляемой реактивной мощности $Q = f(U)$

описывается более сложной функцией. Кривая $Q = f(U)$ имеет перегиб в рабочей зоне (реактивная мощность с ростом напряжения – возрастает).

2.4 Расчёт коэффициентов аппроксимирующих полиномов СХН

Для получения коэффициентов полиномов СХН асинхронного двигателя на основании формул (3) составим две системы уравнений и решим их.

Для коэффициентов полиномов статических характеристик по активной мощности:

$$\left. \begin{aligned} 793 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (8 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (8 \cdot 10^3)^2 \\ 794 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (8,5 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (8,5 \cdot 10^3)^2 \\ 796 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (9 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (9 \cdot 10^3)^2 \\ 798 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (9,5 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (9,5 \cdot 10^3)^2 \\ 800 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (10 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (10 \cdot 10^3)^2 \\ 802 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (10,5 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (10,5 \cdot 10^3)^2 \\ 805 \cdot 10^3 &= x_0 + x_1 \cdot (11 \cdot 10^3) + x_2 \cdot (11 \cdot 10^3)^2 \end{aligned} \right\}$$

Для коэффициентов полиномов статических характеристик по реактивной мощности:

$$\left. \begin{aligned} 424 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (8 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (8 \cdot 10^3)^2 \\ 403 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (8,5 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (8,5 \cdot 10^3)^2 \\ 395 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (9 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (9 \cdot 10^3)^2 \\ 399 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (9,5 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (9,5 \cdot 10^3)^2 \\ 412 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (10 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (10 \cdot 10^3)^2 \\ 429 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (10,5 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (10,5 \cdot 10^3)^2 \\ 467 \cdot 10^3 &= y_0 + y_1 \cdot (11 \cdot 10^3) + y_2 \cdot (11 \cdot 10^3)^2 \end{aligned} \right\}$$

Переведём эти системы уравнений к матричному виду и с помощью команды Isolve в ПК Mathcad 15 вычислим корни x_i и y_i нужные для расчёта коэффициентов полиномов СХН.

$$x_i = \begin{pmatrix} 8,099 \cdot 10^5 \\ -6,574 \\ 5,584 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}; \quad y_i = \begin{pmatrix} 2,156 \cdot 10^5 \\ -389,282 \\ 0,021 \end{pmatrix}.$$

Рассчитаем коэффициенты полиномов СХН:

1) Для активной мощности:

$$a_0 = \frac{x_0}{P_{1H}} = 1,012; \quad a_1 = \frac{x_1 \cdot U_H}{P_{1H}} = -0,082; \quad a_2 = \frac{x_2 \cdot U_H^2}{P_{1H}} = 0,07.$$

Сумма коэффициентов полиномов должна быть равна единице.

$$a_0 + a_1 + a_2 = 1$$

Условие выполняется.

2) Для реактивной мощности:

$$\beta_0 = \frac{y_0}{Q_H} = 5,26; \quad \beta_1 = \frac{y_1 \cdot U_H}{Q_H} = -9,376; \quad \beta_2 = \frac{y_2 \cdot U_H^2}{Q_H} = 5,116;$$

$$\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 = 1$$

2.5 Экспериментальная проверка правильности методики расчёта СХН для асинхронного двигателя.

Для экспериментальной проверки методики расчёта СХН приведённой в пунктах (2.1–2.4), получим по этой методике СХН для асинхронного двигателя АИР56А4У3 и в лаборатории снимем СХН для этого же двигателя, затем сравним характеристики полученные математически и экспериментально.

В таблице 14 указаны технические параметры асинхронного двигателя АИР56А4У3.

Таблица 14 – Технические параметры двигателя АИР56А4У3

Тип	P_H , кВт	U, В	Частота вращения, об/мин	Скольжение, %	Истат, А	КПД, %	$\cos\varphi$	Кратность макс. момента
АИР56А4У3	0,12	220	1500	10	0,758	63	0,66	2,2

Расшифровка АИР56А4УЗ:

А – асинхронный;

ИР – изготовлен согласно стандарта Интерэлектро;

56 – величина высоты оси, выраженная в миллиметрах;

А – длина сердечника (первая длина);

4 – число полюсов;

У – климатическое исполнение двигателя;

3 – категория размещения.

2.5.1 Получение статической характеристики нагрузки для асинхронного двигателя АИР56А4УЗ по методике, приведённой в пунктах (2.1–2.4).

Все расчёты производятся в программном комплексе Mathcad 15.

Если сопротивление цепей не известны и $P_H < 10$ кВт величину a принимают равной 1.

Примем $\xi = 1,02$; $a = 1$.

$$R_m = \frac{3 \cdot U_H^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot P_{2H} \cdot (\lambda + \xi - 1)} = 245,27 \text{ Ом};$$

$$G = \frac{1}{s_H^2} + \frac{2 \cdot a}{s_H} + a^2 = 121 \text{ о.е.};$$

$$b = \frac{\lambda + \xi - 1}{\xi} = 2,176 \text{ о.е.};$$

$$r'_2 = \frac{R_m}{G} \cdot \left[\frac{b}{s_H} + a + \sqrt{\left(\frac{b}{s_H} + a \right)^2 - G} \right] = 86,545 \text{ Ом};$$

$$r_1 = a \cdot r'_2 = 86,545 \text{ Ом};$$

$$x_K = \sqrt{R_m^2 - 2 \cdot R_m \cdot r_1} = 133,056 \text{ Ом}.$$

$$P_{1H} = \frac{P_{2H}}{\eta_H} = 190,476 \text{ Вт};$$

$$I_{1H} = \frac{P_{1H}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H} = 0,437 \text{ А}.$$

$$I'_{2H} = \frac{\frac{U_H}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s_H}\right)^2 + x_K^2}} = 0,229 \text{ А.}$$

$$\varphi_H = \arccos(\cos \varphi_H) = 0,85 \text{ рад.}$$

$$\varphi_{2H} = \arctg \left(\frac{x_K}{r_1 + \frac{r'_2}{s_H}} \right) = 0,139 \text{ рад.}$$

$$I_{1X} = I_0 = \sqrt{I_{1H}^2 + I_{2H}'^2 - 2 \cdot I_{1H} \cdot I_{2H}' \cdot \cos(\varphi_H - \varphi_{2H})} = 0,303 \text{ А;}$$

$$\cos \varphi_X = \frac{(I_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{2H}' \cdot \cos \varphi_{2H})}{I_{1X}} = 0,204;$$

$$\varphi_X = \arccos(\cos \varphi_X) = 1,365 \text{ рад.}$$

$$\Omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = 157,08 \text{ об/мин; } n_H = n_0 \cdot (1 - s_H) = 1,35 \cdot 10^3 \text{ об/мин;}$$

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_H} = 0,849 \text{ Н} \cdot \text{м; } M_0 = (\xi - 1) \cdot M_H = 0,017 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Принимаем $M = M_H$

$$R_s = \frac{U^2}{2 \cdot (M + M_0) \cdot \Omega_0} - r_1 = 447,279 \text{ Ом;}$$

$$s = \frac{r'_2}{R_s + \sqrt{(R_s)^2 - (r_1^2 + X_k^2)}} = 0,1 \text{ о.е.};$$

$$I'_2 = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + X_k^2}} = 0,229 \text{ А;}$$

$$\varphi_2 = \arctan \left(\frac{X_K}{r_1 + \frac{r'_2}{s}} \right) = 0,139 \text{ рад};$$

$$I_{1X} = K_{II} \cdot I_0 \cdot \frac{U}{U_H} = 0,303 \text{ А};$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1X}^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_{1X} \cdot I_2' \cdot \cos(\varphi_X - \varphi_2)} = 0,437 \text{ А};$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{1X} \cdot \cos \varphi_X + I_2' \cdot \cos \varphi_2}{I_1} = 0,66 \text{ рад}.$$

Рассчитаем параметры АД при изменении напряжения питания U :

$$n = n_0 \cdot (1 - s) = 1,35 \cdot 10^3 \text{ об/мин}; \quad P_2 = \frac{M \cdot n}{9,55} = 120 \text{ Вт};$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = 190,476 \text{ Вт}; \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} = 0,63 \text{ о.е.}$$

Изменяя напряжение питающей сети $U = \text{var} \in [176; 242]$ с шагом 11 В, рассчитывают активную мощность, потребляемую АД. Результаты расчётов заносим в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты расчёта зависимости активной мощности от напряжения для АД

U, кВ	176	187	198	209	220	231	242
P ₁ , кВт	180,9	181,1	183,2	186,2	190,5	195,3	203,6

2.5.2 Получение статической характеристики нагрузки для асинхронного двигателя АИР56А4УЗ экспериментально

Для получения СХН экспериментально, в лаборатории соберём схему питания электродвигателя АИР56А4УЗ с возможностью изменения напряжения питания (рисунки 6 – 7).

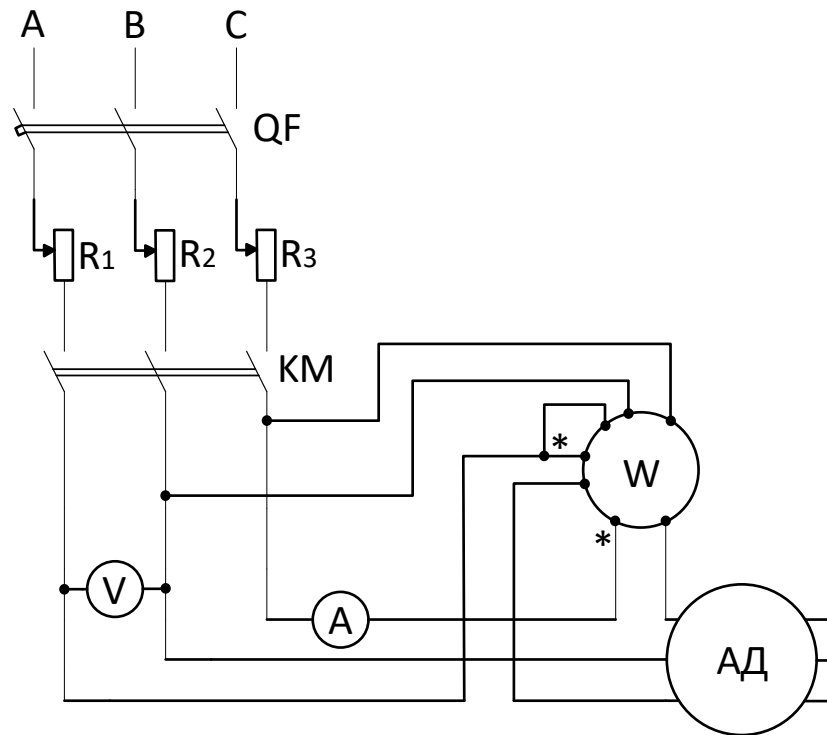


Рисунок 6 – Схема питания асинхронного двигателя

Где: А, В, С – фазы питающей сети; QF – автоматический выключатель; R₁, R₂, R₃ – регулируемые резисторы; КМ – контакты магнитного контактора; V – вольтметр; А – амперметр; W – ваттметр; АД – асинхронный двигатель.

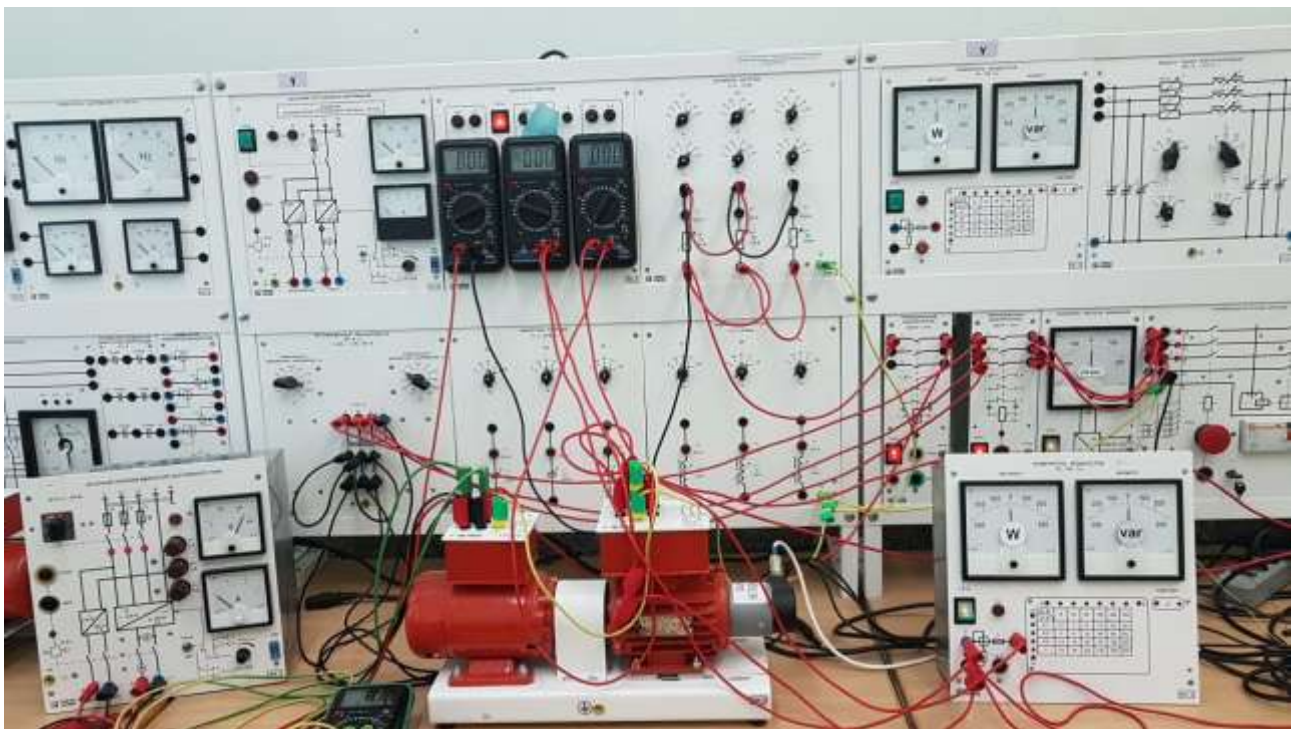


Рисунок 7 – экспериментальная установка для получения СХН для асинхронного двигателя АИР56А4У3

С помощью регулируемых резисторов изменяем напряжение питания U и снимаем показания с ваттметра (W). Полученные результаты заносим в таблицу 16

Таблица 16 – Зависимость тока двигателя от напряжения питания

$U_{\text{пит}}, \text{В}$	206	210	214	220	223	228	231
$P_{\text{эсп}}, \text{Вт}$	184,5	186	187,5	189	192	193,5	195

Для наглядности построим в одних плоскостях СХН по активной мощности для асинхронного двигателя АИР56А4УЗ, полученных по методике, приведённой в пунктах (2.1–2.4) и полученных экспериментально (рисунок 8).

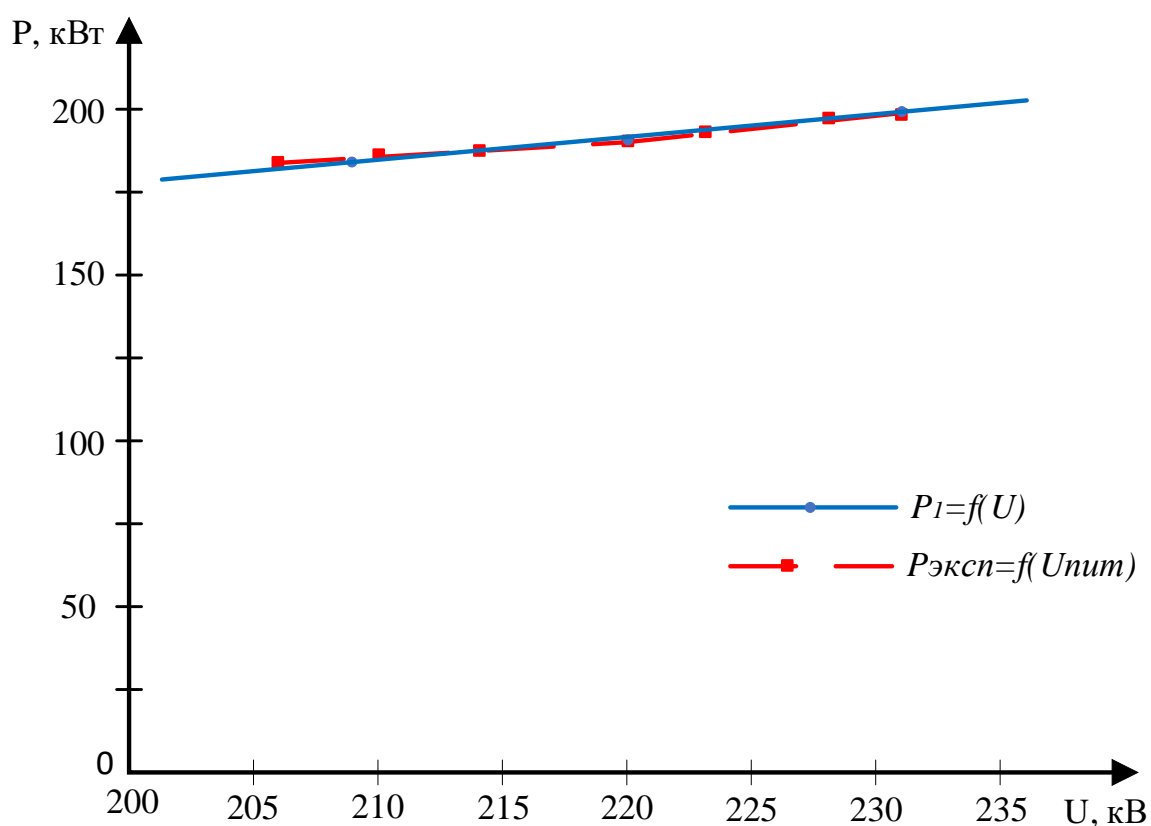


Рисунок 8 – СХН для АД АИР56А4УЗ

Характеристики на рисунке 8 практически совпадают. Из этого можно сделать вывод, что метод расчёта СХН для асинхронного двигателя выбран, верно, что подтверждается экспериментом.

РАЗДЕЛ 3 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ УСТАНОВИВШЕГОСЯ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ

3.1 Создание базовой расчетной модели

Проблема расчета установившегося режима является базовой в задачах проектирования, эксплуатации и развития электрических сетей. Существует различные методы, позволяющие решить данную задачу тем или иным способом. Исходной информацией для расчета режима электрической сети является графическое изображение однолинейной оперативной схемы и атрибутивное описание элементов, участвующих в передаче электрической энергии (ВЛЭП, силовых трансформаторов).

В дипломной работе, для создания базовой расчетной модели, был выбран программного-вычислительный комплекс RastrWin3. Программа предназначена для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем. К тому же программный комплекс обладает рядом преимуществ:

- расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0,4 до 1150 кВ). Полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети);

- моделирование отключения ВЛЭП, в том числе одностороннего, и определение напряжения на открытом конце;

- сравнение различных режимов по заданному списку параметров.

В программном комплексе «RASTRWIN3» произведен расчет нормального режима работы с учётом СХН. Данные по узлам и ветвям представлены в Приложениях Б и В. Данные для генератора представлены в таблицах (18-19). Графика нефтяного комплекса приведена в Приложении Г.

В Приложении А изображена базовая схема, сделанная в программном комплексе Visio.

В таблице 17 представим СХН для двигателя ДАЗО4–450У–4Д.

Таблица 17 – Вкладка «СХН»

№схн	P0	P1	P2	Q0	Q1	Q2
1	1,012	-0,082	0,07	5,26	-9,376	5,116

Построим PQ-диаграмму для генератора ТВФ-100-2:

1. Из произвольной точки О проводим две оси $P_{ном}$, $Q_{ном}$;
2. Из точки О проводим вектор полной мощности $S_{ном}=100$ МВА,

получаем точку А – точку номинальной полной мощности турбогенератора.

Диаграмма мощности турбогенератора содержит пять зон ограничения:

1. Проводим дугу АД – возможности турбогенератора по току возбуждения. Строится путем проведения из т. В окружности радиусом АВ, где вектор АВ соответствует току возбуждения в номинальном режиме работы;

2. Участок АС – получается построением дуги окружности из точки О радиусом ОА, и представляет собой ограничение по току статора;

3. Участок СК – характеризует возможности генератора, определяемые мощностью его турбины. Турбина не может развивать мощность выше, чем полная мощность генератора, поэтому СК – проведена через $P_{турб} = 1,1P_{ном}$.

4. Участок KF – характеризует возможности турбогенератора по условию нагрева торцевых зон и крайних пакетов активной части. Его можно представить упрощенно в виде дуги окружности с радиусом $R = 1,1 \cdot S_{ном}$ и центром в точке М, где М соответствует $Q_{ном}$.

5. Участок FS – обусловленное нагревом торцевых частей ротора и крайних пакетов стали статора $i_g \geq i_{g\min}$. Кривая, строящаяся по паспортным значениям реактивной мощности, потребляемой генератором в режиме недовозбуждения, при соответствующих значениях выдаваемой активной мощности. Данные по генератору приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Реактивная мощность потребляемая генератором в режиме недовозбуждения

Тип турбогенератора	Допустимая потребляемой реактивной мощности, Мвар, при активной мощности, % P _{ном}					
	100	95	90	80	60	40
ТВФ-100-2	16	20	22	28	37	42

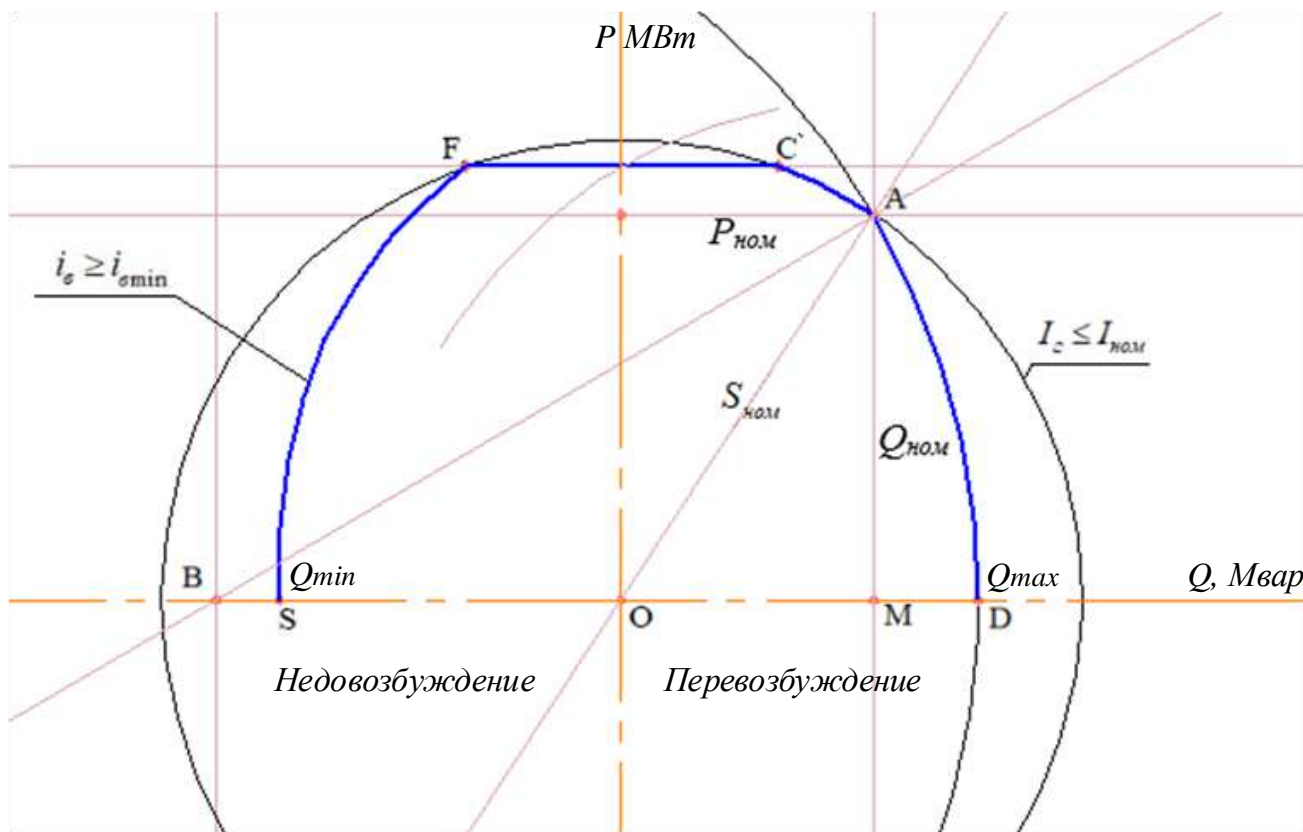


Рисунок 9 - Диаграмма P-Q ТВФ-100-2

Для корректного пересчета пределов по реактивной мощности для каждого генератора создается PQ - диаграмма и ее номер задается в колонке N_PQ (таблица 19).

Таблица 19 – Вкладка «PQ - диаграмма»

N	P	Qmin	Qmax
1	0	-46	47
1	40	-41	42
1	60	-36	37
1	80	-27	28
1	90	-19	22
1	95	-17	20
1	100	-12	16

По таблице Б.1 из Приложения Б в колонке «V» видно, что напряжения в узлах нагрузки находятся в предельно допустимых значениях $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ [7, 3.3].

По таблице В.1 из Приложения В в колонке «I загр» видно, что отношение протекающего тока в ЛЭП к допустимому значению тока в линии и отношение протекающего в обмотке трансформатора тока к допустимому значению тока в этой обмотке меньше 100%. Следовательно, воздушные линии и обмотки каждого трансформатора не перегружаются. Значит, марки проводов и трансформаторы выбраны корректно.

3.2 Расчет аварийного режима в программном комплексе «RASTRWIN3».

Аварийный режим – режим работы, сопровождающийся отклонением рабочих параметров от установившихся значений, характеризующийся повреждением, выходу из строя электрооборудования, возможным перерывом электроснабжения или представляющий угрозу жизни людей.

Для проверки аварийного режима рассмотрим два случая:

- 1) Отключим ЛЭП (3–6), так как она является самой протяженной.

Отключив ЛЭП (3–6) смотрим, входят ли напряжения на нагрузке и токовая загрузка электрооборудования в допустимые значения (Приложения Д и Е).

По таблице Д.1 из Приложения Д в колонке «V» видно, что напряжения в узлах нагрузки находятся в предельно допустимых значениях $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ [7, 3.3].

По таблице Е.1 из Приложения Е в колонке «I загр» видно, что отношение протекающего тока в ЛЭП к допустимому значению тока в линии и отношение протекающего в обмотке трансформатора тока к допустимому значению тока в этой обмотке меньше 100%. Следовательно, воздушные линии

и обмотки каждого трансформатора не перегружаются. Значит энергорайон устойчив к такому аварийному возмущению.

2) Отключим ТТР2 (12–3), так как этот трансформатор является самым нагруженным по перетоку мощности.

Отключив ТТР2 (12–3) смотрим, входят ли напряжения на нагрузке и токовая загрузка электрооборудования в допустимые значения (Приложения Ж и З).

По таблице Ж.1 из Приложения Ж в колонке «V» видно, что напряжения в узлах нагрузки находятся в предельно допустимых значениях $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ [7, 3.3].

По таблице 3.1 из Приложения З в колонке «I загр» видно, что отношение протекающего тока в ЛЭП к допустимому значению тока в линии и отношение протекающего в обмотке трансформатора тока к допустимому значению тока в этой обмотке меньше 100%. Следовательно, воздушные линии и обмотки каждого трансформатора не перегружаются. Значит энергорайон устойчив к такому аварийному возмущению.

РАЗДЕЛ 4 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Современные устройства автоматики и их обширное использование в системах электроснабжения значительно повышает надежность работы электрической системы в целом. Однако для ответственных потребителей устройства автоматики обеспечивают надежный эффект работы только в сочетании с успешным самозапуском электродвигателей.

Двигатели при больших возмущениях оказывают влияние не только на режим работы электрической сети, но и на функционирование внешней электрической сети, питающей нагрузки, поэтому анализ устойчивости нагрузки имеет важное значение. В данном разделе рассматриваются процессы самозапуска двигателей после КЗ во внешней распределительной электрической сети.

4.1 Понятие самозапуска

Самозапуск электродвигателей – такой электромеханический процесс, при котором частота вращения электродвигателей (полностью или частично) уменьшается вследствие отключения их от сети или глубокого понижения напряжения на их зажимах при внешних коротких замыканиях, а при восстановлении напряжения достигает установившегося значения.

При возникновении КЗ на питающей рабочей линии, действиями релейной защиты происходит отключение этой самой линии. При успешном АПВ происходит возобновление питания отключенной линии, однако из-за кратковременного перерыва питания происходит уменьшение частоты вращения двигателей. Если перерыв продолжителен, то двигатели останавливаются полностью.

При неуспешном АПВ происходит перевод питания с рабочей линии на резервную линию. Однако, как и при успешном АПВ происходит перерыв питания. За это время частота вращения двигателя уменьшается. При восстановлении напряжения двигателя снова запускаются и разворачиваются

до рабочей частоты вращения. Этот процесс называется самозапуском двигателей.

4.2 Процессы, происходящие при самозапуске

В процессе самозапуска происходит изменение токов, напряжения и частоты вращения двигателей. На рисунке 10 показаны графики зависимостей напряжения, тока, частоты вращения двигателей от времени, при переходе на резервное питание.

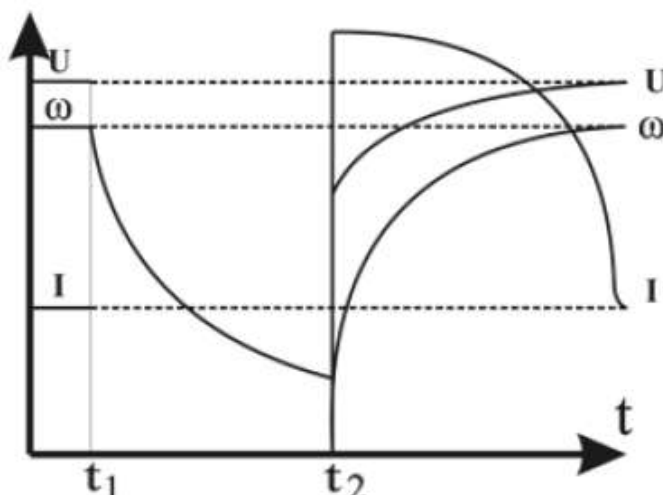


Рисунок 10 – Диаграмма изменений напряжения, тока и частоты вращения двигателя при переходе на резервное питание

На рисунке 10 показано что при КЗ, после отключения питания, в момент времени t_1 , напряжение на выводах двигателя становится равным нулю, начинается процесс торможения. Однако у отключенных, но вращающихся двигателей имеется остаточная ЭДС. В момент времени t_2 происходит включение резервного источника питания. На выводах двигателя вновь появляется напряжение. Двигатель начинает разгоняться.

После восстановления питания начинается разгон двигателя. На этом этапе есть несколько факторов, отличающих самозапуск двигателей от пуска:

– В самозапуске принимает участие группа электродвигателей, что существенно увеличивает токи, приводящие к снижению напряжения на зажимах двигателей и уменьшения вращающего электромагнитного момента.

– В момент восстановления питания двигатели возвращаются с остаточной скоростью. Так как в момент появления напряжения двигатель имеет остаточную ЭДС, происходит его несинхронное включение. Максимальное значение периодической составляющей тока включения будет иметь место, если напряжение питающей сети и ЭДС двигателя находятся в противофазе. В некоторых случаях токи самозапуска могут превышать значения пусковых токов. Это возможно из-за быстрого срабатывания автоматики АПВ и АВР, когда ЭДС двигателей не успевают снизиться после отключения от питания.

– Самозапуск, как правило, происходит при нагруженных механизмах, что приводит к увеличению времени разгона и повышению температуры обмоток.

Когда двигатель разгоняется, ток двигателя снижается, а напряжение на его выводах повышается. Такой характер зависимости обусловлен тем, что сопротивление двигателя изменяется в зависимости от частоты вращения.

4.3 Расчёт и анализ динамической устойчивости двигательной нагрузки

Расчет и анализ динамической устойчивости двигательной нагрузки проводится с помощью моделирования отключения участка (92-922) питающего двигателя основными защитами, вызванное трехфазным КЗ с успешным АПВ.

Моделирование установившегося режима с учётом 6 асинхронных двигателей ДАЗО4–450У–4Д, установленных на ПС 35/10 БКНС и моделирование трёхфазного КЗ с успешным АПВ производится в ПК «Mustang».

Расчеты были выполнены с учетом установки на всех элементах быстродействующих защит ($T_z = 0,15$ с), время срабатывания АПВ – 3,1 с. В расчете были исследованы 6 асинхронных двигателей ДАЗО4–450У–4Д,

установленных на ПС 35/10 БКНС. Параметры асинхронных двигателей ДАЗО4–450У–4Д приведены в таблице 3.

На рисунке 11 показана вкладка «Автоматика» из ПК «Mustang», в которой смоделировано трёхфазное КЗ с успешным АПВ на участке питающей цепи (92–922).

Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Nп	Уставка	T1	Кв	Zk1	Zk2
			T2	Действие	Ni	Nj	Nп	Парам1	Парам2	Парам3	
	1			Время							
К Зф	1	1.000	Шунт	92				0.001			
усп АПВ	1	1.150	Отключить конец связи	92	922						
	1	1.150	Шунт	92				-0.001			
	1	4.250	Включить конец связи	92	922						

Рисунок 11 – моделирование автоматика при трёхфазном КЗ с успешным АПВ на участке питающей цепи (92–922)

На рисунке 12 приведены графики зависимости напряжения, тока и частоты от времени в узлах подключения двигательной нагрузки при трёхфазном КЗ с успешным АПВ на участке питающей цепи (92–922).



Рисунок 12 – график зависимости напряжения, тока и частоты от времени в узлах подключения двигательной нагрузки при трёхфазном КЗ с успешным АПВ на участке питающей цепи (92–922)

При КЗ, после отключения питания, в момент времени 1 с., напряжение на выводах двигателя становится равным нулю, начинается процесс торможения. В момент времени 4,25 с. Происходит повторное включение

участка питания (92–922). На выводах двигателя вновь появляется напряжение. Двигатель начинает разгоняться.

На рисунке 12 видно, что напряжение, в момент отключения питания, полностью исчезло. Однако у отключенных, но вращающихся двигателей имеется остаточная ЭДС.

В самозапуске принимает участие группа электродвигателей, что существенно увеличивает токи, приводящие к снижению напряжения на зажимах двигателей и уменьшению вращающего электромагнитного момента.

По мере разгона ток двигателя снижается, а напряжение на его выводах повышается. Такой характер зависимости обусловлен тем, что сопротивление двигателя изменяется в зависимости от частоты вращения.

Графики зависимостей представленные на рисунке 12 практически совпадают с типовой диаграммой, представленной на рисунке 11, что подтверждает способность асинхронных двигателей ДАЗО4–450У–4Д самозапускаться после каких-либо возмущений. Следовательно, эти двигателя динамически устойчивы.

РАЗДЕЛ 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности исследования по оптимизации работы сети электроснабжения нефтяного месторождения с двигательной нагрузкой на основании результатов расчета нормального и ремонтных режимов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценить инновационный потенциал научно-технического исследования (НТИ);
- Сделать SWOT-анализ проекта;
- Определить структуру проекта, трудоемкость работ;
- Составить календарный план на выполнение работ;
- Рассчитать бюджет научного исследования;
- Определить ресурсоэффективность проекта.

На данный момент этот раздел считается одним из значимых в современном проектировании в каких-либо отраслях, т.к. оборудование рассматривается не только исходя из их рабочих характеристик, но и по экономической оценке, после чего выбирается наиболее выгодный вариант.

5.1 Оценка потенциала и перспективности проведения научного исследования

В соответствии с требованиями технических регламентов о надежности электроснабжения и бесперебойной генерации, передачи и распределения электрической энергии, производится расчет режимов электроэнергетических систем. Это позволяет обеспечить надежное электроснабжение потребителя и качество электроэнергии. Планирование и расчет электроэнергетических режимов работы энергообъектов и

энергосистем позволяет обеспечить надежное функционирование ЕЭС России.

Повышение надежности электроснабжения происходит благодаря своевременному устранению неисправностей, как в системе генерации, так и в системе передачи и распределения электроэнергии. В соответствии с этим постоянно происходит мониторинг передаваемой энергии по воздушным линиям. Перетоки мощностей не должны превышать максимально допустимые значения пропускных способностей ВЛ.

Постоянный прирост мощности происходит благодаря увеличению разрабатываемых месторождений. В связи с вводом новых кустов и увеличением добычи нефти и газа, сеть электроснабжения увеличивается и усложняется. Повышенный спрос потребителей на электроэнергию влечет за собой необходимость в увеличении пропускной способности линий.

SWOT-анализ

Для установления необходимости проведения мероприятий по расчету режимов и дальнейшего прогнозирования увеличения мощностей, исследуем внешнюю и внутреннюю среду проекта, воспользовавшись методом SWOT-анализа.

SWOT-анализ – это один из методов стратегического планирования, рассматривающий внутренние и внешние факторы, влияющие как на исполнение проекта, так и на его реализацию. Результаты анализа представлены в таблице 20.

Таблица 20 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	<p>1. Реализация проекта в соответствие с новыми требованиями;</p> <p>2. Повышение надежность работы энергообъекта;</p> <p>3. Снижение затрат на ликвидацию аварий;</p> <p>4. Повышение ремонтной пригодности электрической схемы;</p> <p>5. Повышение оперативной гибкости электрической схемы;</p> <p>6. Снижение недоотпуска электроэнергии.</p>	<p>1. Модернизация сети электроснабжения требует значительных материальных затрат;</p> <p>2. Несоответствие новым техническим регламентам существующая сеть электроснабжения;</p> <p>3. Большой процент износа существующего электрооборудования;</p> <p>4. Отсутствия опыта выполнения подобных исследований.</p>
Возможности	<p>Увеличение спроса на электроэнергию, развитие и усложнение сети электроснабжения нефтяного месторождения ведет к повышению требований к надежности работы ЭС и качеству электрической энергии в связи с увеличением добычи нефти и газа. Освоение инновационных решений позволит повысить качество строительных и монтажных работ.</p>	<p>Рассматриваемая сеть электроснабжения может находиться в районе с экстремальными погодными условиями. В соответствии с этим ЭО подвергается повышенному износу, что приводит к удорожанию реализации проекта.</p>
Угрозы	<p>Угрозы внешней среды затрудняет осуществление проекта. Но доходы, получаемые от добычи полезных ископаемых, позволяют продолжить осуществление проекта. Выбор оборудования производится с учетом тяжелых климатических условий. Повышение надежности сети электроснабжения, гибкости и ремонтной пригодности схем реализовано с учетом угроз внешней среды.</p>	<p>Отсутствие опыта, неправильная интерпретация технических регламентов инженера в реализации подобных проектов при существовании перечисленных угроз внешней среды повышают сложность выполнения проекта. Однако благодаря правильному руководству и высокой квалификации руководителя данная проблема не представляет угрозы.</p>

На основании полученных данных при выполнении SWOT-анализа можно сделать вывод о необходимости реализации проекта.

В связи с вводом новых кустов и увеличением добычи нефти и газа происходит рост потребляемой мощности, что приводит к необходимости реконструкции существующих РУ с учетом сложных территориальных условий сети электроснабжения. Реализация проекта дает возможность осуществить качественную модернизацию не только объектов электроэнергетики, но и схемы электрических соединений электростанции, подстанций.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование проекта – непрерывный процесс определения наилучшего способа действий для достижения поставленных целей проекта с учетом складывающейся обстановки. При планировании мы начинаем управлять проектом, ищем наилучшие пути решения, составляем план действий для решения задач.

5.3 Структура работ в рамках научного исследования

Структура предполагаемых работ представлена в следующем виде:

- 1) Определить структуру работ в рамках научного исследования;
- 2) Определить и назначить ответственных за каждую часть работы над проектом;
- 3) Для каждой части проекта установить продолжительность работ;
- 4) Построить необходимые графики для наглядности проведения научных исследований;

Для наблюдения за ходом продвижения научного исследования назначается ответственное лицо, которое следит за сроками исполнения, указывает на ошибки по ходу протекания исследования, дает рекомендации. Назовем это лицо руководителем.

Для выполнения основной работы, проведения теоретических расчетов и обоснований, сопоставлений результатов экспериментов назначается ответственное за это лицо – инженер.

Необходимо определить трудоемкость работ каждого участника научного исследования, ведь трудовые затраты составляют основную часть стоимости разработки. В нашем случае научным руководителем является Кулешова Е.О., а инженером Иванов В.В.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ этапа	Наименование этапов	№ работ	Наименование работ	Исполнители
1	Подготовительный этап	1	Разработка технического задания	Руководитель Инженер
		2	Сбор исходных данных	
		3	Разработка эскизного проекта	
2	Разработка теоретической части темы	4	Анализ исследуемого энергорайона	Инженер
			Анализ литературы	
3	Экспериментальные исследования	5	Расчет установившихся режимов в ПК RastrWin3	Руководитель Инженер
		6	Расчет ремонтных режимов в ПК RastrWin3	
		7	Разработка мероприятий по увеличению устойчивости энергорайона	
		8	Устойчивость энергорайона	
		9	Устойчивость двигательной нагрузки	
4	Выводы	10	Анализ полученных результатов	Руководитель Инженер
		11	Оформление пояснительной записки	

5.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Стоимость разработки проекта состоит в основном из трудовых затрат, поэтому очень важно определить какой вклад вносит каждый из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от многих факторов, которые сложно охватить и определить в какую-то определенную группу. Для определения среднего значения трудоемкости используют следующую формулу:

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

Где:

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-день;

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (неблагоприятное стечение обстоятельств), чел.-день;

Определив ожидаемую трудоемкость работ, можно определить продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Это вычисление в дальнейшем поможет рассчитать заработную плату.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где:

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

5.5 Разработка графика проведения научного исследования

В качестве наглядного изображения проведения необходимых научных исследований и отслеживания начала и конца выполнения определенной работы построим диаграмму Гантта.

Диаграмма Гантта – столбчатая диаграмма (гистограмма), которая используется для иллюстрации плана, графика работ. Является одним из методов планирования проекта.

Для удобства построения графика, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

Где:

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

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

Где:

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

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

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

Для руководителя: $k_{кал} = 1,22$

Для инженера: $k_{кал} = 1,48$

Результаты расчета трудоемкости и продолжительности каждой работы с указанием исполнителей всех этапов подготовки исследования приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел.-дни		t_{max} , чел.-дни		$t_{ож}$, чел.-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение ТЗ	4	-	6	-	4,8	-	5	-	6	-
Сбор исходных данных	3	5	5	7	3,8	5,8	2	3	2	4
Разработка эскизного проекта	-	9	-	12	-	10,2	-	10	-	15
Анализ исследуемого энергорайона	-	14	-	16	-	14,8	-	15	-	22
Анализ литературы	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
Расчёты установившихся режимов в ПК RastrWin3	1	12	2	14	1,4	12,8	1	6	1	9
Расчёты ремонтных режимов в ПК RastrWin3	1	16	2	18	1,4	16,8	1	8	1	12
Разработка мероприятий по увеличению устойчивости энергорайона	4	8	6	10	4,8	8,8	2	4	2	6
Устойчивость энергорайона	-	4	-	6	-	4,8	-	5	-	7
Устойчивость двигательной нагрузки	1	2	2	4	1,4	2,8	1	1	1	2
Анализ полученных результатов	-	9	-	12	-	10,2	-	10	-	15
Оформление пояснительной записки	-	2	-	4	-	2,8	-	3	-	4

В качестве наглядного изображения на основании полученных данных из таблицы 22 построим график Гантта, представленный в виде рисунка 13.

График показывает максимальную длительность исполнения работ на каждом из этапов проекта с привязкой к календарю. Календарь представляет собой список месяцев, отведенных на выполнение ВКР, с разбивкой по 7 дней.

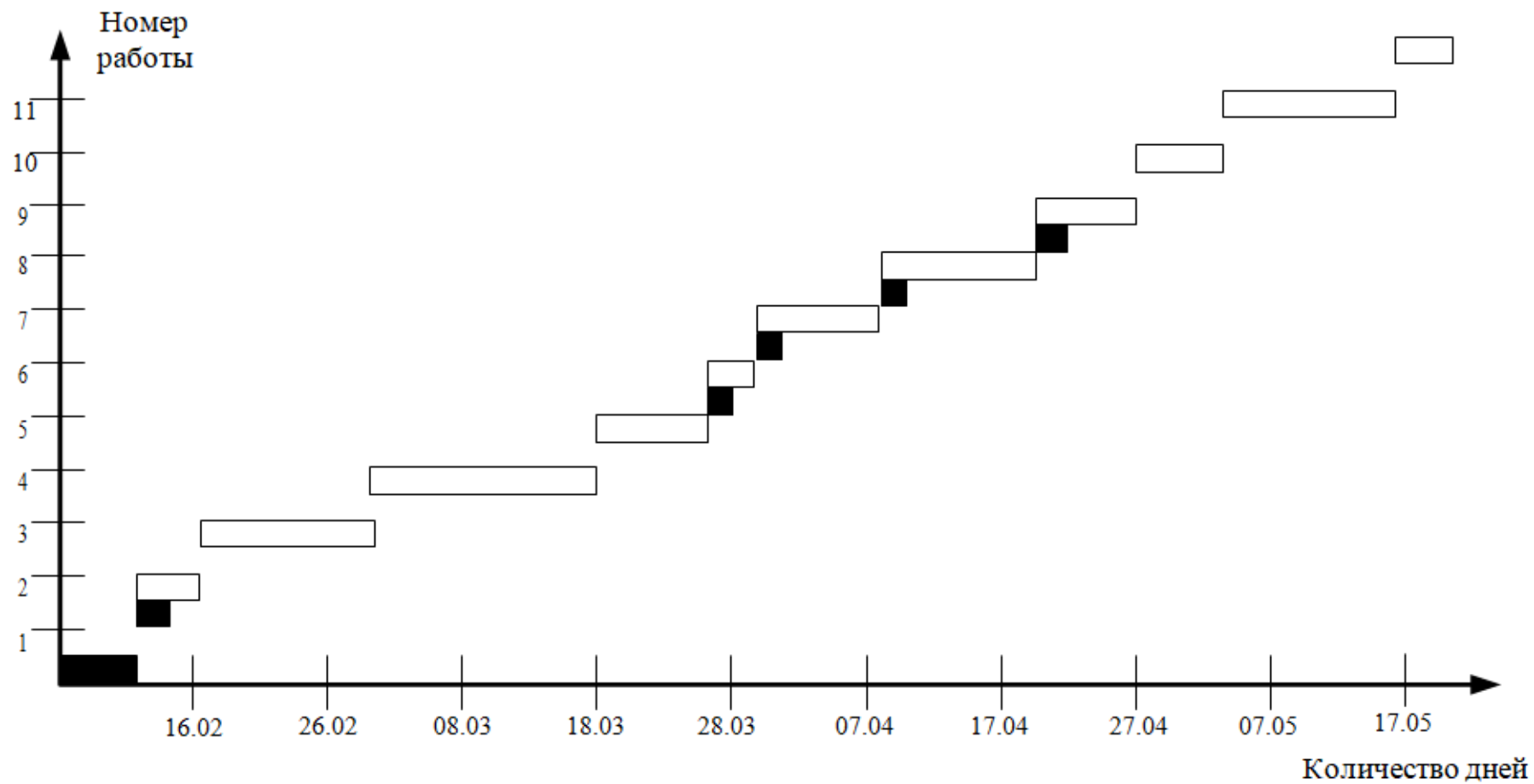


Рисунок 13 – График Гантта

– Руководитель
 – Инженер

Таким образом, в ходе данного этапа работы были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Был построен график Гантта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками. Суммарная длительность в рабочих днях для руководителя составил 12 дней; для инженера – 71 день. Суммарная длительность работ в календарных днях для руководителя составил 13 дней; для инженера – 105 дней.

5.6 Бюджет научно-технического исследования

При проведении исследовательских работ обязательно будут разного рода затраты: от затрат на листы бумаги до изготовления опытного образца. Для того, что бы ограничивать себя от ненужных трат, следует сформировать бюджет, произвести группировку затрат, в которой будут отражены все виды расходов. Затраты на научно-техническое исследование формируется следующим образом:

- материальные затраты;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материалов, которые потребуются для научного исследования, приведены в таблице 23:

Таблица 23 – Расчет необходимых материалов для научного исследования

Материалы и оборудование	Ед. изм.	Срок службы, год	Кол-во материала, ед.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
Бумага формата А4	лист	–	500	0,5	250
Бумага формата А3	лист	–	10	1,1	11
Ручка	шт.	–	2	10	20
Всего:					281
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					14,05
Итого:					295,05

Таким образом, затраты на материалы для научного исследования составляют 295 рублей и 5 копеек.

Амортизация

В данном пункте рассчитывается амортизация компьютерного оборудования, необходимого для исследовательской работы.

Амортизация рассчитывается следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%,$$

Где:

H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования в количестве лет.

$$A = \frac{H_A \cdot Ц}{100} \cdot \frac{T_{дн}}{365},$$

Где:

$Ц$ – стоимость компьютерного оборудования, руб.;

$T_{дн}$ – длительность работ в рабочих днях.

$$A = \frac{33,3 \cdot 40000}{100} \cdot \frac{71}{365} = 2591 \text{ руб.},$$

Таким образом, амортизационные отчисления на оборудование составили 2591 рублей.

Примечания: Амортизация программных комплексов не рассчитывается т.к. инженер пользуется бесплатными версиями программ.

Основная заработная плата исполнителей

Основная заработная плата выплачивается работникам в качестве мотивации для продолжения дальнейшей работы. Заработная плата складывается из затрачиваемого на работу времени, выполненной работы, оклада, принятой для выполняемой работы и тарифных ставок.

$$Z_{ЗП} = Z_{ОСН} + Z_{ДОП},$$

Где:

$Z_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$Z_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{ОСН}$).

Основная заработная плата – это оплата труда за проработанное время и формируется согласно:

$$Z_{ОСН} = Z_{ДН} \cdot T_P,$$

Где:

T_P – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{ДН}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{ДН} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

Где:

Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.

Для руководителя:

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

Для инженера:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{IP} + k_D) \cdot k_P = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

Где:

Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{IP} – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_D – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

k_P – районный коэффициент, равный 1,3;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн.

Для 5-ти дневной недели:

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{212} = 1751,3 \text{ руб.},$$

Для 6-ти дневной недели:

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{212} = 1751,3 \text{ руб.},$$

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Кол-во нерабочих дней: – выходные дни – праздничные дни	58 + 8	110 + 8
Потери рабочего времени: – отпуск – невыходы по болезни	56 + 5	24 + 10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	212

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2168,1	12	26017
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1751,3	71	124342
Итого:								150359

По результатам таблицы 25. делаем вывод, что общая сумма основной заработной платы составляет 150359 рублей.

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

К дополнительной заработной плате относятся затраты, которые выплачиваются работнику на отпуск, компенсация за неиспользованный отпуск, выплаты кормящих матерей, или оплата рабочего времени, связанного с выполнением государственных или общественных обязанностей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп},$$

Где:

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

Руководитель: $Z_{доп} = 0,12 \cdot 26017 = 3122,04 \text{ руб.}$,

Инженер: $Z_{доп} = 0,12 \cdot 124342 = 14921 \text{ руб.}$

Таким образом, делаем вывод, что общая дополнительная заработная плата, составляет 18043,04 рублей. Для научного руководителя заработная плата составляет 3122,04 рублей, а инженера 14921 рублей.

Величина отчислений во внебюджетные фонды

К данной статье расходов относятся обязательные отчисления в соответствии с установленным законодательством РФ нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{ОСН} + Z_{ДОП}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равен 30,2 %.

$$\text{Руководитель: } Z_{внеб} = 0,302 \cdot (26017 + 3122,04) = 8800 \text{ руб.},$$

$$\text{Инженер: } Z_{внеб} = 0,302 \cdot (124342 + 14921) = 42057,73 \text{ руб.}$$

Таким образом, делаем вывод, что общие отчисления во внебюджетные фонды, составляет 50857,73 рублей. Для научного руководителя отчисления составляют 8800 рублей, а инженера 42057,73 рублей.

Накладные расходы

Накладные расходы предполагают затраты, производимые организацией и связанные с основным производством. К таким затратам относятся – оплата услуг связи, затраты электрической энергии, почта, ксерокопия материалов. Величина коэффициента накладных расходов принимается равной 16%.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации (печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, и т.д.). Их величину определим как:

$$\begin{aligned} Z_{внеб} &= \sum Z_i \cdot k_{накл} = \\ &= (295,05 + 2591 + 150359 + 18043,04 + 50857,73) \cdot 0,16 = 35543,33 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В таблице 26 приведен бюджет расходов на осуществление научно-технического проекта.

Таблица 26 – Бюджет затрат научного исследования.

Затраты	Сумма, тыс.руб	Структура затрат, %
1. Материальные расходы	0,295	0,114
2. Амортизация	2,591	1,006
3. Расходы на оплату труда	150,359	58,36
4. Дополнительный оклад	18,043	7,003
5. Отчисления и фонды	50,857	19,74
6. Накладные расходы	35,543	13,79
Итого:	257,652	100

В данном разделе был подсчитан бюджет затрат на научное исследование, который в итоге составил 257, 652 тыс. руб. Бюджет является основой для регулирования величины затрат на научное исследование. К тому же бюджет представляет собой прогноз реализации проекта в натуральном и стоимостном выражении в планируемом периоде.

5.7 Определение ресурсной эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности НТИ оценивается с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

Где:

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливаем экспертным путём по выбранной шкале оценивания.

Критерии оценивания НТИ для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка проекта
1. Технические характеристики	0,35	5
2. Надежность	0,25	4
3. Простота эксплуатации	0,25	4
4. Экономичность	0,15	3
Итого:	1,00	4,2

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,35 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,2.$$

Таким образом, значение интегрального показателя ресурсоэффективности исследования выше, чем у конкурентов, значит, реализация проекта имеет хорошую эффективность

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В данном разделе было рассмотрено научное исследование со стороны финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. С помощью оценочной карты была рассмотрена конкурентоспособность данного проекта. Сравнительная оценка характеристик проекта показывает, что проект имеет большую эффективность, и дальнейшее развитие может принести выгоду от эксплуатации в дальнейшем.

2. Проведен SWOT-анализ, с помощью которого выявлены сильные и слабые стороны научного исследования, а также вероятные возможности и угрозы. К сильным сторонам относятся: реализация проекта в соответствии с новыми техническими требованиями, повышение надежности работы системы электроснабжения, снижение затрат на ликвидацию аварий, повышение ремонтной пригодности электрической схемы. Главными возможностями проекта являются: увеличение потребности в электроэнергии, развитие

транспортных путей на территории размещения сети электроснабжения и освоение инновационных решений. По результатам анализа видно, что сильных сторон у проекта больше, они компенсируют влияние слабых, из-за чего научное исследование является перспективным.

3. Для точного проведения научного исследования все этапы работ разделены между исполнителями: руководитель и инженер. Выявлено, что основную часть проекта выполняет инженер, руководитель же следит за правильностью протекания опытов.

4. При планировании работ установлено, что суммарная длительность работ в календарных днях для руководителя составил 13 дней; для инженера – 105 дней. По рассчитанным временным показателям построена диаграмма Гантта, на которой наглядно изображаются сроки и этапы работ для инженера и руководителя.

5. Сформирован бюджет затрат на реализацию проекта. Бюджет научного исследования складывается из материальных затрат, амортизационные отчисления, полной заработной платы исполнителей проекта, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы. Необходимая сумма для проекта составила 257652 рублей. Наиболее высокие расходы оказались на отчисления в фонды и на заработную плату исполнителей.

6. Оценка ресурсоэффективности произведена с помощью интегрального показателя, значение которого равно 4,2, что выше, чем у возможного конкурента. Интегральный показатель свидетельствует о высокой эффективности проекта.

7. В результате реализации научно-технического исследования проекта смоделированы различные режимные ситуации, произведен анализ пропускной способности линии, в связи с введением новых кустовых площадок. На основании результатов исследования сформированы основные мероприятия для повышения надежности сети электроснабжения. Осуществление исследования безусловно необходимо, так как повышение пропускной способности повлечет за собой нагрузку не только на электрооборудование, но и на воздушные линии

электропередач, электростанцию и подстанции. Инвестиции в данный проект окупятся, благодаря увеличению в дальнейшем добычи нефти и газа на разрабатываемых участках.

8. Таким образом, применение асинхронных двигателей ДАЗО4–450У–4Д в качестве двигательной нагрузки эффективно с экономической точки зрения, проведение научного исследования является перспективным.

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы была вычерчена по заданному эскизу нормальная схема электрических соединений энергосистемы нефтяного комплекса, подобрано электрооборудование и параметры для трансформаторов и ЛЭП.

Так же была получена статическая характеристика нагрузки для асинхронного двигателя ДАЗО4–450У–4Д, рассчитаны коэффициенты аппроксимирующих полиномов СХН для этого двигателя. Была произведена экспериментальная проверка правильности методики расчёта СХН для асинхронного двигателя.

В свою очередь в ПК «RASTRWIN3» была создана цифровая модель нефтяного комплекса по заданному эскизу и данным нагрузки с учётом СХН. Были составлены ремонтные схемы для энергосистемы нефтяного комплекса и проведён электрический расчёт аварийных режимов в ПК «RASTRWIN3».

Так же в ПК «Mustang» была создана цифровая модель нефтяного комплекса по заданному эскизу и данным нагрузки с учётом 6 асинхронных двигателей ДАЗО4–450У–4Д, установленных на ПС 35/10 БКНС. И был произведён расчет и анализ динамической устойчивости двигательной нагрузки.

В ходе выпускной квалификационной работы были получены новые навыки работы с литературой, с ПК «RASTRWIN3», ПК «Mustang» и ПК «MathCad 15», а так же исследован теоретический материал по статической характеристике нагрузки асинхронных двигателей. И была исследована динамическая устойчивость асинхронных двигателей.

Список литературы

1. А.А. Герасименко, В.Т. Федин «Передача и распределение электрической энергии» от 26.12.2012 МГУП им. Ивана Фёдорова.
2. Технический каталог двигателей типа ДАЗО4-400-560 <http://ao-electromash.ru/files/TC/split/DAZO4-400-560.pdf>
3. Правила устройства электроустановок. – 7-ое изд., – М.: Госэнергонадзор, 2002. – 928 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей/под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
5. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. Учебник для ВУЗов.– М.: Энергия, 1980.– 928 с.
6. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для ВУЗов.– Л.: Энергия, 1974.– 840 с.
7. ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009) Напряжения стандартные
8. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197;
9. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие эргономические требования».
10. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
11. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
12. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
13. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
14. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
15. ГОСТ 12.1.002 – 84 «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряжённости и требования к проведению контроля на рабочих местах».

16. ГОСТ Р 12.1.019—2009. «Система стандартов безопасности труда, электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
17. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
18. СП 231.1311500.2015 «Обустройство нефтяных и газовых месторождений».
19. ГН 2.2.5.3532–18. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
20. ГОСТ 17.1.3.06-82. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод».
21. ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений».
22. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность».
23. Приказ от 31 июля 2020 года N 578/365 Об утверждении положения о системах оповещения населения.