

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование релейной защиты в сетях с возобновляемыми источниками энергии УДК 621.316.925:621.311:620.92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8А	Кренева Арина Ростиславовна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Разживин И.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Спицына Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
ОПК(У)-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-4	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК(У)-5	Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	
ПК(У) -1.	Способен проводить сбор и анализ данных для проектирования объектов профессиональной деятельности (ПД)

ПК(У) -2.	Способен составить конкурентно-способные варианты технических решений при проектировании объектов профессиональной деятельности
ПК(У) -3.	Способен проводить проектирование в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных методов
ПК(У) - 4.	Способен контролировать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт по имеющейся технической документации
ПК(У) - 5.	Способен осваивать вводимые в эксплуатацию объекты профессиональной деятельности по имеющейся технической документации

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 Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

В.В. Шестакова

« ___ » _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А8А	Кренева Арина Ростиславовна

Тема работы:

Моделирование релейной защиты в сетях с возобновляемыми источниками энергии
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	34-68/с от 03.02.22
---	---------------------

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 style="text-align: center;">Объектом исследования является ЭЭС с ВЭУ 4 типа с синхронным генератором, возбуждаемым постоянными магнитами.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор классификации ВЭУ; 2. Обзор типов ВЭУ и выбор наиболее конкретного типа; 3. Разработка математической модели исследуемой ВЭУ; 4. Анализ влияния ВЭУ на параметры срабатывания релейной защиты линии; 5. Разработка раздела по социальной ответственности; 6. Разработка раздела по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и

	ресурсосбережению.
--	--------------------

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Презентация 2. Приложение
---	---------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
--	--

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Черемискина М.С
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Л.Ю.

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

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Разживин И.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8А	Кренева Арина Ростиславовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А8А	Кренивой Арине Ростиславовне

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование графика НИ: 1)Определение структуры работ 2)Определение трудоемкости работ 3)Разработка графика Ганта Формирование бюджета затрат на НИ: 1)Материальные затраты 2) Амортизационных отчисления 3)Основная и дополнительная заработная плата исполнителей 4)Отчисления во внебюджетные фонды 5)Накладные расходы
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности проекта (оценка результатов)</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 2. Матрица SWOT 3. Распределение исполнителей и этапы выполняемых ими работ 4. Временные показатели проведения научного исследования 5. График Ганта 6. Материальные затраты на разработку проекта 7. Амортизационные отчисления на оборудование и программные комплексы 8. Баланс рабочего времени 9. Расчет основной заработной платы 10. Расчет бюджета затрат на разработку проекта 11. Оценка характеристик проекта
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8А	Кренева Арина Ростиславовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5А8А		Кренева Арина Ростиславовна	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

«Моделирование релейной защиты в сетях с возобновляемыми источниками энергии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения

Объект исследования: релейная защита в сетях с возобновляемыми источниками электрической энергии
Область применения: электроэнергетика
Рабочая зона: лаборатория
Размеры помещения 20 м²
Количество и наименование оборудования рабочей зоны : ПК, устройство RTDS
Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: выполнение опытов в специализированных программах, с помощью которых происходит анализ изучаемого объекта.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения

- (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ТК РФ);
- ГОСТ 12.2.033-78 Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;
- ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения

Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

- Вредные производственные факторы:
- Электромагнитное излучение;
 - Повышенный уровень шума;
 - Отклонение показателей микроклимата рабочего места;
 - Недостаточная освещенность рабочей зоны;
 - Нервно-психические перегрузки;
- Опасные производственные факторы:
- Поражение электрическим током.
- Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:
- Осветительные приборы;
 - Предохранительные устройства;
 - Противошумные вкладыши.

3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения

Воздействие на селитебную зону: бытовой мусор
Воздействие на литосферу: загрязнение территорий из-за образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники, бытовой мусор.
Воздействие на гидросферу: загрязнение водоемов от

	отходов ПЭВМ <i>Воздействие на атмосферу:</i> электромагнитные излучения, выделения токсичных веществ при утилизации оборудования.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС: -пожар; -обрушение здания; -короткое замыкание проводов, поломка вычислительной техники. Наиболее типичная ЧС: пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8А	Кренева Арина Ростиславовна		

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 2021 /2022 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)
09.02.2021 г.	Подбор литературы по теме исследования и ее анализ	5
15.02.2021 г.	Основные характеристики и типы ветрогенераторов	10
15.03.2021 г.	Математическая модель ВЭУ 4 типа	15
5.04.2021 г.	Исследование аварийных режимов ЭЭС	20
25.04.2021 г.	Анализ полученных результатов	20
05.05.2021 г.	Социальная ответственность	10
15.05.2021 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
25.05.2021 г.	Составление пояснительной записки	10
27.05.2021 г.	Сдача выполненной работы	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Разживин И.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 96 страниц, 24 рисунка, 23 таблицы, 28 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: электроэнергетическая сеть, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетические установки, релейная защита, короткое замыкание, синхронный генератор, система возбуждения постоянными магнитами.

Объект исследования: электроэнергетическая сеть с ВЭУ 4 типа с синхронным генератором, возбуждаемым постоянными магнитами.

В процессе исследования проводилось изучение применяемых ветроэнергетических установок и их конструктивных особенностей. Основным пунктом исследования является выявление влияния возобновляемых источников энергии на примере ВЭУ 4 типа на параметры релейной защиты в электроэнергетической сети.

Полученными результатами являются осциллограммы действующих значений токов, которые наглядно демонстрируют выявленные различия токов короткого замыкания при использовании традиционной генерации, при 50% и 100% её замещении ВЭУ 4 типа.

Область применения: результаты данной исследовательской работы могут быть полезны для организаций, которые занимаются развитием возобновляемой энергетики в России, а также специалистам по релейной защите при проектировании и настройке устройств релейной защиты в сети с ВЭУ.

СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ВЭУ – ветроэнергетическая установка;

ВЭС – ветряная электростанция;

ВТ – ветротурбина;

ЭЭС – электроэнергетическая система;

КЗ – короткое замыкание;

СГПМ – синхронный генератор, возбуждаемый постоянными магнитами;

КПД – коэффициент полезного действия;

АГ – асинхронный генератор;

ПАК – программно-аппаратный комплекс;

ВИЭ – возобновляемые источники энергии;

ПС – подстанция;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Реферат	11
Сокращения, обозначения, нормативные ссылки.....	12
Введение.....	15
ГЛАВА 1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТИПЫ ВЭУ	17
1.1 Классификация ВЭУ	17
1.2 Классификация ВТ	19
1.3 Классификация генераторов ВЭУ	21
1.4 Выводы по первой главе.....	26
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЭУ 4 ТИПА	27
2.1 Концепция математической модели ВЭУ 4 типа	28
2.2 Блок «Модель ветра»	28
2.3 Блок «Механическая часть».....	30
2.4 Блок «Модель электрической машины»	32
2.5 Блок «Модель преобразователя»	34
2.6 Блок «Система управления ВЭУ»	35
2.7 Выводы по второй главе.....	39
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЭС С ВЭУ 4 ТИПА	40
3.1 Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС (близкое КЗ)	41
3.2 Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС (контроль значений токов в ВЛ 500кВ).....	47
3.3 Короткое замыкание на СШ ПС 1 500 кВ (удаленное КЗ, контроль значений в линии подключения ВЭС).....	46
3.4 Короткое замыкание на СШ ПС 1 500 кВ (контроль значений токов ВЛ 500кВ).....	48
3.5 Вывод по третьей главе	51
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	52
4.1 Анализ конкурентоспособности.....	53
4.2 SWOT – анализ	55
4.3 Планирование научно-технического исследования.....	56

4.4	Определение трудоемкости выполнения работ	58
4.5	Разработка графика проведения научного исследования	59
4.6	Определение бюджета проекта.....	63
4.6.1	Расчет материальных затрат на разработку проекта.....	63
4.6.2	Амортизационные отчисления.....	64
4.6.3	Полная заработная плата исполнителей темы.....	65
4.6.4	Дополнительная заработная плата исполнителей проекта	68
4.6.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	68
4.6.6	Накладные расходы.....	69
4.6.7	Формирование бюджета затрат проекта	70
4.7	Ресурсоэффективность.....	70
4.8	Выводы по главе 4.....	71
	ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	73
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
5.2	Производственная безопасность.....	75
5.3	Экологическая безопасность.....	81
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
5.5	Выводы по главе 5.....	83
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
	Список используемых источников.....	87
	Приложение А. Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС	90
	Приложение Б. Короткое замыкание на СШ ПС 1 500 кВ	93

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данного исследования

В настоящее время проблема экологии стала одной из тех проблем, что остро стоят перед миром. Учитывая повышение значимости данного вопроса, технологии, дающие возможность использовать возобновляемые источники энергии, становятся все более важными, чем когда-либо.

Возобновляемые источники включают в себя биомассу, солнечную, геотермальную, гидроэлектрическую и ветровую энергию. Ветер является бесконечным источником энергии и абсолютно бесплатным. ВЭУ не выделяют вредных паров и газов (нет выбросов в атмосферу). Это снижает угрозу негативного влияния на окружающую среду и делает ветровую энергетику сектором, имеющим наибольший потенциал для развития.

В мире лидирующими по развитию ветровой энергетики странами являются Китай, Индия, США. Так в Китае суммарная мощность ВЭС составляет 281,5 ГВт, которые могут работать как в режиме аккумулирования энергии, так и в составе электроэнергетической сети (ЭЭС). В России же направление возобновляемой электроэнергетики только начинает развиваться и укреплять свои позиции. Одной из крупнейших действующих ВЭС на данный момент является Кочубеевская ВЭС, расположенная в Ставропольском крае. Ее установленная мощность - 210 МВт.

Стоит упомянуть, что на сегодняшний день наиболее распространенным и подходящими по всем параметрам является ВЭУ 4 типа. Данный тип конструктивно представляет собой ветротурбину (ВТ), которая имеет синхронный генератор, возбуждаемый постоянными магнитами (СПМ) и которая присоединена к электрической сети ЭЭС через специальный силовой преобразователь. Именно внедрение ВЭУ 4 типа в ЭЭС и его влияние на параметры срабатывания релейной защиты будет исследован в данной работе.

Цель данного исследования

Бакалаврская работа направлена на изучение влияния ветроустановок четвертого типа на параметры срабатывания релейной защиты, а именно действующих значений токов в линии ЭЭС при различных видах короткого замыкания (КЗ)

Для достижения представленной выше цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ применяемых ветроэнергетических установок;
2. Подготовка математической модели ВЭУ 4 типа;
3. Моделирование ВЭУ 4 типа в ПАК «RTDS»;
4. Проведение исследования аварийных режимов в ПАК «RTDS»;
5. Анализ полученных данных и оценка влияния ВЭУ 4 типа на параметры срабатывания релейной защиты в электроэнергетической системе.

Объект исследования представляет собой ВЭУ 4 типа, имеющий синхронный генератор, возбуждаемый постоянными магнитами. ВЭУ 4 типа образует ВЭС, подключаемую к узлу генераторного напряжения тестовой учебной ЭЭС через преобразователь напряжения. В данном исследовании будут проведены опыты как при совместной работе ВУЭ и традиционных генераторов, так и опыты, в которых традиционная генерация полностью замещена ВУЭ.

Предмет исследования представляет собой изучение ВЭУ 4 типа на параметры срабатывания релейной защиты в ЭЭС.

Практическая значимость результатов исследования

Анализ полученных результатов, а именно выявление влияний ВЭУ 4 типа на параметры срабатывания релейной защиты при замещении ими 50% и 100% традиционной генерации могут быть полезны организациям, которые занимаются развитием возобновляемой энергетики в России, в частности инженерам при проектировании и настройке устройств релейной защиты в сетях с ВЭУ 4 типа.

ГЛАВА 1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТИПЫ ВЭУ

Если рассматривать ветрогенератор с технической точки зрения, то он представляет собой электрическую машину, которая преобразует кинетическую энергию воздушных потоков в механическую энергию. Ветроэнергетическая установка – это комплекс таких устройств, как генератор, ветродвигатель, система управления и регулирования режимами работы ВЭУ и её составные элементы. При помощи данных устройств происходит прием, обработка и подготовка готовой для передачи электрической энергии.

В настоящее время существуют различные типы ветроэнергетических установок. При их классификации учитываются основные различия в конструкции и в ряде других признаков, которые приведены ниже.

1.1 Классификация ВЭУ

1. По типу оси вращения:

- *ВУЭ с горизонтальной осью вращения;*

Направление вращения оси совпадает с направлением движения ветровых потоков.

- *ВУЭ с вертикальной осью вращения.*

Направление вращения оси перпендикулярно направлению движения ветровых потоков.

2. По режиму работы:

- *сетевые;*

К данному типу ВЭУ относят установки большой мощности, которые устанавливаются на параллельную работу с крупной энергосистемой. Задача подобных ВУЭ заключается в получении и выдачи максимальной мощности выработанной электроэнергии в электрическую сеть.

- *гибридные;*

К подобным ВЭУ относят установки средней мощности, которые устанавливаются на параллельную работу с электростанциями. Задача ВЭУ данного типа заключается в выдаче электроэнергии номинальной мощности в сеть, а также оказание качества поступления электроэнергии потребителю.

- *автономные.*

К такому типу ВЭУ относятся агрегаты малой мощности. Они не связаны с сетью, обеспечивают электроэнергией малые группы потребителей.

3. По частоте вращения ротора:

- *ВЭУ с постоянной частотой вращения ротора;*

Способ управления при постоянной частоте вращения является наиболее простым в реализации. Его использует в конструкции ветроэнергетической установки, в которой ротор ветроколеса напрямую или через мультипликатор соединен с ротором синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов. При работе ВЭУ с постоянной частотой вращения ротора при изменении скорости ветра изменяется напряжение на выходе генератора и выпрямителя соответственно. Поэтому эффективная работа ВЭУ возможна только в узком диапазоне скоростей ветра;

- *ВЭУ с переменной частотой вращения ротора.*

Лопастей данного типа ВЭУ могут быть развернуты для увеличения или уменьшения подъемной силы на профиле лопасти. В результате этого, на валу ротора получается переменный диапазон частот вращения, в то время как частоту электрической энергии произведенной ВЭУ нужно поддерживать постоянной и соответствующей частоте электрической сети. Возникает необходимость разграничения частоты вращения ротора генератора от частоты электрической сети. Сделать данную необходимость возможной на практике позволяет частотно-регулируемый силовой преобразователь.

4. По способу регулирования вращения ротора:
 - ВЭУ с фиксированными лопатками ветроколеса;
 - ВУЭ с поворотными лопатками;
 - ВУЭ с частично поворотными лопатками.

5. По компоновке ВЭУ:

- ВУЭ с редуктором в соединении ротор турбины-генератор;

Данная компоновка влияет на скорость вращения ветроколеса и на потери при передаче крутящего момента от ротора к генератору.

- ВУЭ без редуктора в соединении ротор турбины-генератор.

При подобной компоновке число полюсов генератора должно значительно быть увеличено, как следствие должен быть увеличен и размер ротора. Особенностью данной компоновки является то, что она ведет к равенству скорости вращения на валу ротора и на валу генератора.

1.2 Классификация ветротурбин

Ветротурбина относится к механической части ВЭУ. Выделяют два основных вида турбин: с вертикальной и горизонтальной осью. Их характерные отличия заключаются в типе вращения. Рассмотрим подробнее каждый из названных видов подробнее, отметив, что турбины с вертикальной осью нашли не такое широкое применение, как турбины с горизонтальной осью вращения.

- *Турбина с вертикальной осью вращения*

С конструктивной точки зрения, это тип турбин, вал главного ротора которого расположен вертикально. Турбины такого типа устанавливаются ближе к земле (их монтаж на башнях затруднен). Подобный способ установки можно считать преимуществом, так как имеется возможность установки в тех местах, где высокие постройки запрещены, например на крышах домов. Этот факт значительно упрощает дальнейшее техническое

обслуживание ВУЭ с турбинами с вертикальной осью вращения по сравнению с турбинами с горизонтальной осью.

Однако у данного типа турбин есть и свои недостатки: вибрации и шум, которые возникают из-за турбулентного потока вблизи земли. Они ведут к увеличению затрат на обслуживание и сокращают срок службы подвижных механизмов, входящих в конструкцию ВУЭ. Кроме того, скорость воздушного потока вблизи земли небольшая, как следствие производительность данных турбин невысокая.

- *Турбина с горизонтальной осью вращения*

Ось вращения данных турбин - вал главного ротора и генератор, которые расположены в верхней части башни горизонтально. Лопатки турбины бывают двух видов: жесткие и подвижные. Первые используются для небольших турбин. Вторые применяются для турбин большей мощности, так как в них установлен датчик скорости. Данный датчик при помощи лопаток с сервоприводом в зависимости от скорости ветрового потока осуществляет ориентацию лопастей по ветру. Такое управление лопастями является большим преимуществом, так как позволяет постоянно поддерживать номинальную мощность, выдаваемую турбиной.

При конструкции турбины, описанной выше, турбулентность создается позади башни, потому турбина располагается по ветру, относительно самой башни. Ротор же может располагаться как перед башней (наветренная турбина), так и после неё (подветренная турбина). Наглядная ориентация ветротурбин по отношению к ветру изображена на рисунке 1.

В целях избегания аварийных ситуаций (например, попадание лопаток в башню) при сильном урагане и других природных катаклизмах, лопасти турбины изготавливают жесткими и относят как можно дальше от башни, иногда немного наклоняют.

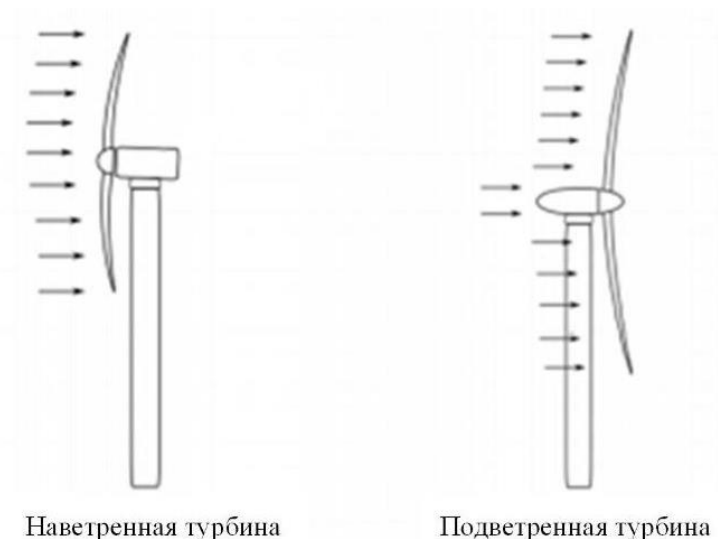


Рисунок 1 – Ориентация ветротурбин по отношению к ветру

Кроме наличия сервопривода для поворота лопаток турбины по ветру, стоит отметить и другие преимущества турбин с горизонтальной осью вращения. Ими являются большая мощность и высокий коэффициент полезного действия (КПД) по сравнению с турбинами с вертикальной осью вращения.

1.3 Классификация генератора ВЭУ

Следующим из основных компонентов входящим в состав ветроустановки является генератор. Выделяют 4 типа ВЭУ по типу используемого в работе генератора и способу их подключения к узлу ЭЭС:

1. ВЭУ 1 типа на базе асинхронного генератора (Induction Generator);
2. ВЭУ 2 типа на базе асинхронного генератора с фазным ротором (Wound Rotor Induction Generator);
3. ВЭУ 3 типа на базе асинхронного генератора с фазным ротором двойного питания (Doubly-Fed Induction Generator);
4. ВЭУ 4 типа на базе асинхронного генератора на постоянных магнитах (Permanent Magnet Generator) [1, 2].

Рассмотрим каждый из типов ВУЭ подробнее.

ВЭУ 1 типа на базе асинхронного генератора

Упрощенная схема ВЭУ 1 типа изображена на рисунке 2.

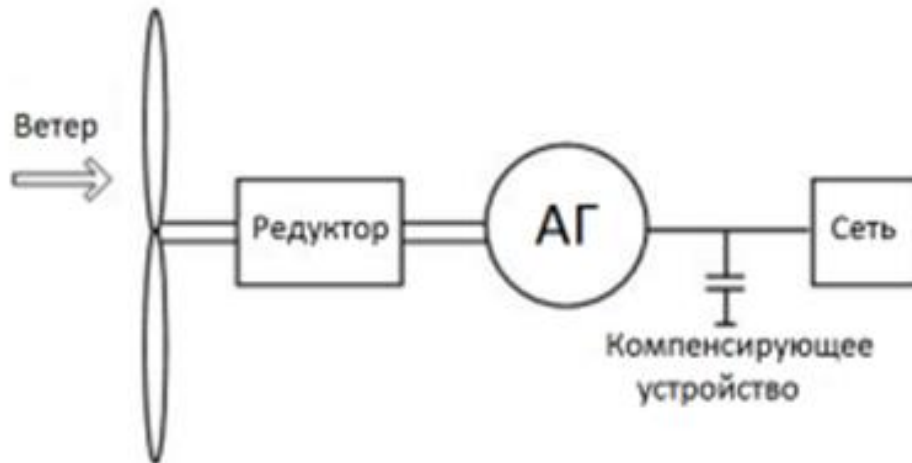


Рисунок 2 – Упрощенная схема ВЭУ 1 типа

Данный тип ВЭУ оснащен короткозамкнутым асинхронным генератором (АГ). АГ вращается с постоянной скоростью и подключается напрямую к сети.

Подключение ВЭУ напрямую к сети возможно благодаря работе АГ с переменным скольжением. Это ведет к способности изменения частоты вращения в диапазоне до 1%.

Наличие системы изменения пар полюсов позволяет работать ВЭУ на одной из двух номинальных скоростей вращения в зависимости от скорости ветра.

Также в конструкции данного типа ВЭУ присутствует компенсирующее устройство в виде конденсаторных батарей. Они компенсируют потребление асинхронным генератором реактивной мощности, которая идет на создание магнитного поля в нем.

Основные преимущества данного типа ВЭУ - простота конструкции и невысокая стоимость. Однако недостатков у данного типа все же больше, чем преимуществ: потребление реактивной мощности, наличие редуктора

сложной конструкции, отсутствие возможности контроля скорости вращения, а также существенные перегрузки при сильных порывах ветра, которые негативно сказываются на движущихся элементах ВЭУ.

ВЭУ 2 типа на базе асинхронного генератора с фазным ротором

Упрощенная схема ВЭУ с асинхронным генератором с фазным ротором представлена на рисунке 3.

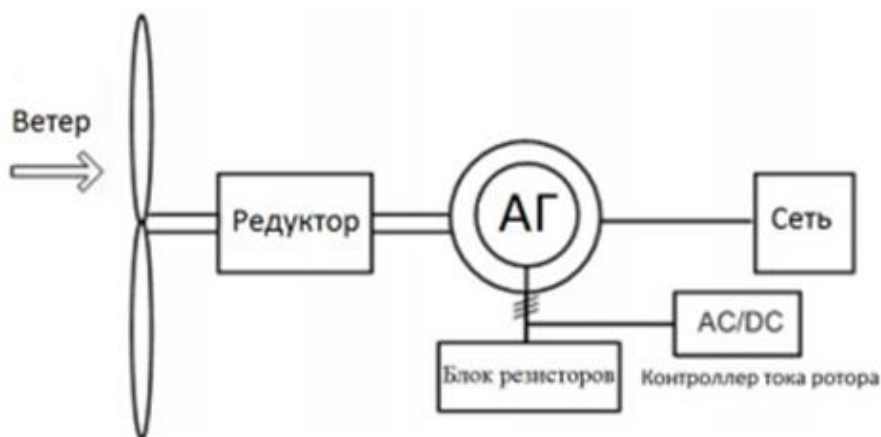


Рисунок 3 – Упрощенная схема ВЭУ 2 типа

В конструкции ВЭУ 2 типа используется асинхронный генератор с фазным ротором. Через контактные кольца генератор соединен с дополнительными резистивными элементами с силовой электронной схемой. Данная конструкция позволяет управлять током ротора, как следствие, и величиной скольжения.

Наличие блока резисторов позволяет ограничивать номинальную скорость вращения генератора при увеличении скорости потока ветра путем подключения дополнительного сопротивления в цепь ротора. Количество сопротивления, которое необходимо ввести, определяется и осуществляется с помощью переключателя контроллера.

Основные преимущества данного типа ВЭУ - расширенный диапазон работы и снижение нагрузки на движущиеся элементы ВЭУ по сравнению с ВЭУ 1 типа. Что касается недостатков, то ими являются сложность

конструкции генератора (она влечет за собой дополнительные потери) и необходимость дополнительного охлаждения роторных резисторов.

ВЭУ 3 типа на базе асинхронного генератора с фазным ротором двойного питания

Упрощенная схема ВЭУ 3-го типа изображена на рисунке 4.

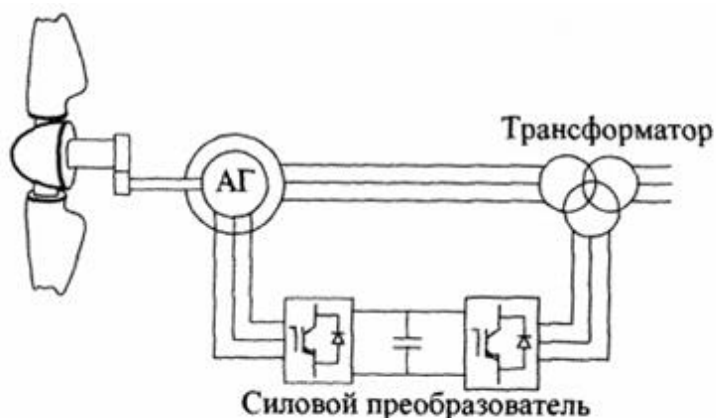


Рисунок 4 – Упрощенная схема ВЭУ 3 типа

В конструкции ВЭУ 3 типа с генератором двойного питания используется асинхронный генератор с фазным ротором.

Из представленного выше рисунка можно заметить, что обмотки статора и ротора АГ подключены к сети различными способами. Обмотка статора соединена напрямую с сетью через повышающий трансформатор, а обмотка ротора соединена с сетью через преобразователь напряжения. Наличие данного преобразователя предоставляет возможность регулировать частоту и амплитуду напряжения, которое выдается в сеть.

По сравнению с ВЭУ 2-го типа, данный тип ВЭУ имеет более высокий КПД. Данный факт обусловлен выдачей генерируемой мощности в роторе через силовой преобразователь в сеть, что не вызывает тепловых потерь. Для ещё большей эффективности на ВЭУ устанавливается редуктор.

Говоря о преимуществах ВЭУ 3-го типа, стоит упомянуть о совместимости ВЭУ с электрической сетью, о возможности управления реактивной мощностью, а также о снижении механических нагрузок и

повышенным КПД. Но, как и у предыдущих двух типов ВУЭ в данном случае не обошлось без недостатков. Ими являются сложность конструкции ротора (она влечет за собой дополнительные потери и сложность ремонтных работ) и наличие высокочастотных гармоник. Кроме того, применение редуктора в данном типе ВУЭ влечет за собой увеличение веса конструкции, дополнительные затраты и необходимость использования специального программного обеспечения для управления и защиты. Всё упомянутое влияет на конечную стоимость ВЭУ, делая ее более дорогостоящей.

ВЭУ 4 типа на базе синхронного генератора на постоянных магнитах

Упрощенная схема ВЭУ 4-го типа изображена на рисунке 5.

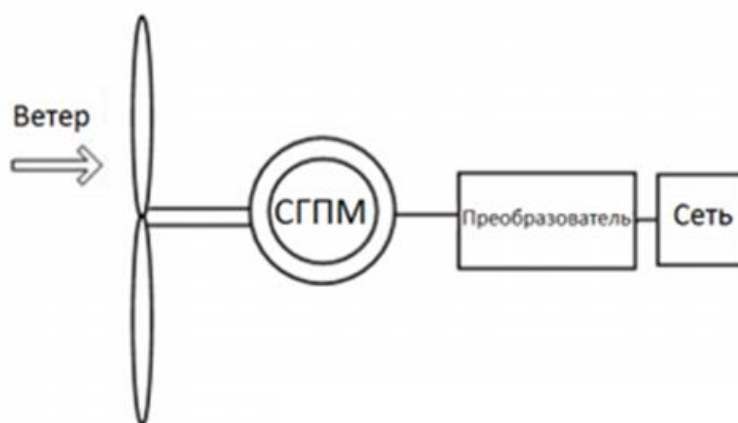


Рисунок 5 – Упрощенная схема ВЭУ 4 типа

В данной концепции отсутствие системы возбуждения значительно упростило конструкцию ВЭУ и повысило её надежность. Генератор обычно непосредственно связан с турбиной, а редуктор отсутствует в цепи привода. Статор генератора подключен к сети при помощи преобразователей. Это позволяет турбине функционировать с регулируемой угловой скоростью генератора.

Если угловая скорость турбины изменяется от номинального значения из-за изменения скорости ветра, частота индуцированного напряжения на генераторе ВЭУ не постоянна и не равна 50 Гц. По этой причине индуцированное напряжение должно быть сначала преобразовано при помощи выпрямителя в напряжение постоянного тока, а потом при помощи инвертора в напряжение переменного тока с постоянной частотой сети.

Для протекания описанного выше процесса необходима система преобразователей, которая предназначена для всех номинальных мощностей генератора.

Основными преимуществами данного типа ВЭУ являются самый высокий КПД среди всех 4 типов, отсутствие редуктора, коллектора и щеток, системы возбуждения. Всё это делает его надежным и экономически выгодным в обслуживании. Также ВЭУ на базе синхронного генератора на постоянных магнитах имеет множество вариаций компоновки системы обмотка – магниты. Отсутствие в данной конструкции ВЭУ редуктора повышает надежность ВЭУ и сильно снижает шум. Подобный факт лучшим образом сказывается на человеке и животных.

Выводы по первой главе

В данной главе:

- приведена классификация современных ВЭУ по типу оси вращения, режиму работы, компоновке и способу регулирования частоты;
- рассмотрены типы существующих ВЭУ, их конструкция, принцип работы, преимущества и недостатки.

В результате сравнения соотношения достоинств и недостатков каждого типа, для дальнейшего проведения исследования выбран ВЭУ 4 типа.

В качестве обоснований выбора приведем основные критерии, которые делают ВЭУ 4 типа и делают ее более востребованной относительно других типов:

1. Турбина с горизонтальной осью вращения.

У подобной турбины большее значение коэффициента полезного действия по сравнению с турбинами с вертикальной осью вращения, наличие сервопривода для поворота лопаток и большая мощность за счет высокой скорости ветрового потока.

2. Синхронный генератор, возбуждаемый постоянными магнитами.

У названного вида генератора наиболее высокий коэффициент полезного действия в сравнении с генераторами используемыми в конструкции ВЭУ 1-го, 2-го и 3-го типов. Отсутствие редуктора, коллектора, щеток и системы возбуждения упрощает обслуживание и делает генератор тише своих конкурентов.

3. Подключение к сети через преобразователь напряжения.

Данный факт независимо от скорости ветра позволяет ВЭУ выдавать в сеть напряжение нужной частоты и амплитуды.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЭУ 4 ТИПА

Для исследования изменений параметров срабатывания релейной защиты при внедрении ветроэнергетических установок (ВЭУ) 4 типа в электроэнергетическую систему необходимо создать модель исследуемой установки. При подобных исследованиях прибегают к помощи различных программно-вычислительных и программно-аппаратных комплексов для создания математической модели необходимой установки, так как собирать натуральную модель ветрогенератора экономически не целесообразно и не эффективно. При помощи созданной модели исследуемой установки проводят моделирование и изучение необходимых процессов, протекающих в результате нормативных возмущений.

В данной работе в качестве платформы для моделирования был выбран программно-аппаратный комплекс «RTDS – Real-Time Digital Simulator». ПАК «RTDS» – это комплекс, предназначенный для моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов, а также для выполнения полного цикла проверки релейной защиты и схем управления в ЭЭС в режиме реального времени.

2.1 Концепция математической модели ВЭУ 4 типа

Для исследования изменений параметров срабатывания релейной защиты при внедрении ВЭУ 4 типа в ЭЭС используется математическая модель, блочная структура которой представлена на рисунке 6..

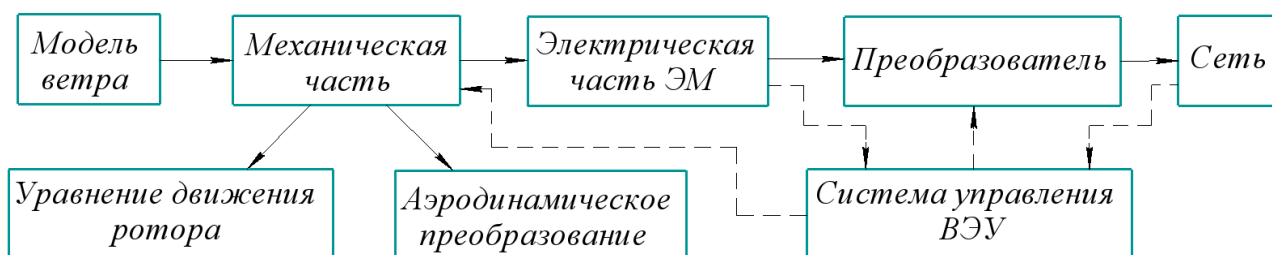


Рисунок 6 – Концепция математической модели ВЭУ 4 типа

Каждый блок представляет собой математическую модель воспроизводимого оборудования ВЭУ. Рассмотрим представленные в данной концепции блоки подробнее.

2.2 Блок «Модель ветра»

Изменение ветра имеет переменный характер, поэтому при моделировании ВЭУ его можно задавать постоянным (упрощённая модель) или воспроизводить модель с учетом изменения ветра. Во втором случае скорость ветра может быть представлена следующим уравнением:

$$V(t) = \bar{V} + \Delta V(t) \quad (1)$$

где, \bar{V} — среднее значение скорости ветра;

$\Delta V(t)$ — динамическая составляющая скорости [3].

В нормативных документах существуют требования к средней скорости ветра \bar{V} и ее динамической составляющей $\Delta V(t)$.

Средняя скорость ветра обычно задается как функция времени. Статистические характеристики динамической составляющей $\Delta V(t)$ задаются с помощью функции спектральной плотности $S(f)$.

Для расчета динамической составляющей скорости ветра была выбрана модель спектральной плотности Каймала. Спектральные плотности динамических составляющих для модели Каймала описываются следующим уравнением [3]:

$$\frac{f \cdot S(f)}{\sigma^2} = \frac{4 \cdot f \cdot L / \bar{V}}{(1 + 6 \cdot f \cdot L / \bar{V})^{5/3}} \quad (2)$$

где, f — частота гармонической составляющей сигнала скорости ветра, Гц;

$S(f)$ — односторонний спектр горизонтальной составляющей скорости ветра;

σ — среднеквадратичное отклонение горизонтальной составляющей скорости ветра;

L — коэффициент турбулентности.

С помощью теоремы Фурье функцию горизонтальной составляющей скорости ветра, можно представить в виде ряда:

$$V(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (3)$$

где A_k — амплитуда k -й гармоники скорости ветра;

ω_k — круговая частота соответствующей гармоники;

φ_k — фазовый сдвиг k -го колебания;

A_0 — вероятность.

Амплитуда k -й гармоники равна её среднеквадратическому отклонению:

$$A_k = \sqrt{S(f_k)\Delta f} \quad (4)$$

где Δf — интервал между соседними частотами.

Подставив соответствующие значения, получаем, что горизонтальная скорость ветра на временном интервале t равна:

$$V(t) = \bar{V} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (5)$$

где, \bar{V} — скорость ветра, усредненная на заданном интервале времени.

Таким образом, получаем уравнение, из которого наглядно видно, что горизонтальная составляющая скорости ветра может быть рассчитана как сумма средней скорости ветра и соответствующих гармонических составляющих.

2.3 Блок «Механическая часть»

Механическая часть включает в себя уравнение движения ротора и аэродинамическое преобразование.

Уравнение движения ротора использует механическую мощность модели ветровой энергии и электрическую мощность модели генератора для вычисления угловой частоты вращения ротора. Так как ветрогенератор это устройство, состоящее из большого количества элементов, то при моделировании вращающейся подсистемы используется многомассная модель. В данной модели ротор, генератор, инерция лопастей, инерция ступицы, инерция редуктора представлены как набор отдельных масс. Но так как ВЭУ 4 типа подключается к сети энергосистемы через преобразователи на стороне машины и на стороне сети, то учет данных параметров нерационален, ввиду того что они не оказывают существенного влияния на переходные процессы.

В связи с этим для простоты моделирования рекомендуется использовать одномассную модель (масса турбины и масса генератора

считаются одним целым) без учета механических потерь. Именно такая модель И будет рассматриваться в данной работе.

Уравнение движения ротора ВЭУ можно представить в виде:

$$T_j \frac{d\omega}{dt} = P_{MEX} - P_{ЭМ}$$

(6)

$$\omega = \int \frac{P_{MEX} - P_{ЭМ}}{T_j} dt \quad (7)$$

где T_j – совокупная постоянная инерции ВЭУ 4 типа;

ω – угловая частота вращения ротора;

P_{MEX} – механическая мощность ВЭУ 4 типа;

$P_{ЭМ}$ – электромагнитная мощность, обусловленная электрической нагрузкой генератора и отражающей взаимодействием между магнитными системами статора и ротора [4].

Механическая мощность, извлекаемая из ветра, выражается следующей формулой:

$$P_{MEX} = P_{ВЕТРА} \cdot C_p = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p(Z, \beta) \quad (8)$$

где: C_p - коэффициент использования энергии ветра представлен в виде набора кривых, связывающих его с быстроходностью ветроколеса Z и углом наклона лопастей β .

ρ – плотность воздуха,

πR^2 – площадь, которая ометается ветроколесом,

R – радиус ветроколеса,

V – скорость ветра,

$P_{\text{ВЕТРА}} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_0^3$ – кинетическая энергия воздушного потока в цилиндре радиусом R , движущегося со скоростью ветра V_0 в зоне вращения ротора ВЭУ.

Быстроходность ветроколеса определяется по выражению:

$$Z = \frac{\omega R}{V_0}$$

(9)

где ω - скорость вращения ветроколеса (рад / с);

R - радиус лопасти (м).

С помощью способа аппроксимации представим зависимости $C_p(Z, \beta)$ в виде аналитической нелинейной функции (для генератора 4 типа):

$$C_p(Z, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{Z_i} - C_3 \beta - C_4 \beta^{C_5} - C_6 \right) e^{-\frac{C_7}{Z_i}}$$

(10)

где $Z_i = \frac{(\beta^3 + 1)(Z + C_8 \beta)}{(\beta^3 + 1) - [C_9(Z + C_8 \beta)]}$

Коэффициенты $C_1 - C_9$ для ВТ приведены в таблице [5, 6]:

Таблица 1 – Коэффициенты для ветротурбины

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
ВЭУ с переменной скоростью вращения 4 типа	0,73	151	0,58	0,002	2,14	13,2	18,4	-0,02	-0,003

2.4 Блок «Модель электрической машины»

В ВЭУ 4 типа используется синхронный генератор на постоянных магнитах (СГПМ). Для его моделирования используются следующие системы уравнений в координатах $d - q$:

$$\begin{aligned} u_d &= r_s \cdot i_d + \frac{d}{dt} \psi_d + \omega_r \cdot \psi_q \\ u_q &= r_s \cdot i_q + \frac{d}{dt} \psi_q - \omega_r \cdot \psi_d \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}\psi_d &= L_d \cdot i_d + L_{md} \cdot i_D + \psi_m \\ \psi_q &= L_q \cdot i_q + L_{mq} \cdot i_Q\end{aligned}\quad (12)$$

где r_s - сопротивления фазы обмотки статора;

L_{md} , L_{mq} - индуктивности обмоток статора по осям $d-q$;

i_d , i_q , u_d , u_q - токи и напряжения статора по осям $d-q$;

ψ_d , ψ_q - потокосцепление статора по осям $d-q$.

В приведенном выше уравнении ψ_m - магнитная сила, которая представляет собой потокосцепление, индуцируемое магнитами ротора на обмотках статора. Магнитная сила $\psi_m = 1$ соответствует напряжению на клеммах равное 1 о.е. Данное значение достигается, когда машина разомкнута и работает с номинальной скоростью.

Эквивалентная схема $d-q$ СГПМ изображена на рисунке 7

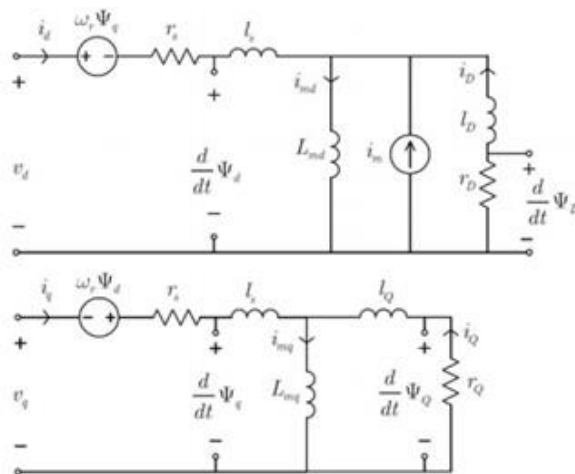


Рисунок 7 – Эквивалентная схема $d-q$ СГПМ

Источник тока в эквивалентной схеме оси d представляет собой воздействие постоянных магнитов. Связь между магнитной силой и этим источником тока:

$$\psi_m = L_{md} \cdot i_m \quad (13)$$

Данная модель СГПМ имеет некоторые упрощения. Она не моделирует эффекты насыщения, гармоники напряжения противо – ЭДС, обусловленные произвольной формой постоянных магнитов.

2.5 Блок «Модель преобразователя»

В конструкции ВЭУ 4 типа используется преобразователь. Его основная задача - отделение частоты вращения ротора генератора от частоты электрической сети. Преобразователь состоит из силовых ключей на IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) транзисторах и осуществляет свою работу благодаря широтно-импульсной модуляции. Модуляция используется для управления подачей импульсов на силовые ключи.

Модель преобразователя схематично представлена на рисунке 8.

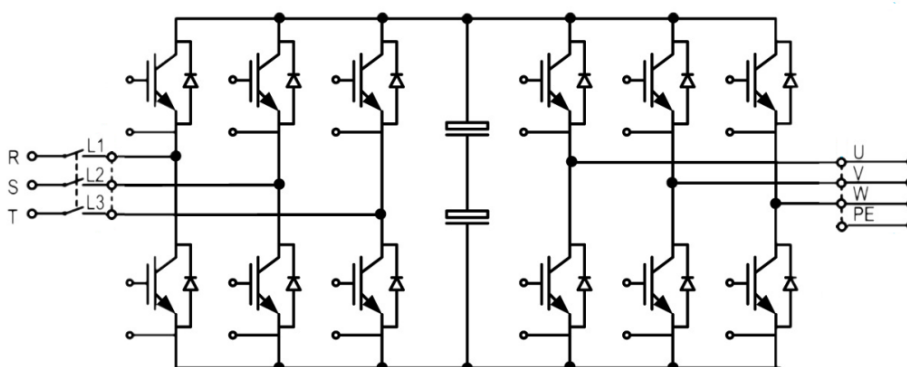


Рисунок 8 – Модель преобразователя в ПАК «RTDS»

Преобразователь разделяют на две части:

1. Преобразование со стороны машины (преобразователь подключен со стороны ротора машины);
2. Преобразование со стороны сети (преобразователь подключен со стороны сети).

Преобразователи со стороны сети и машины соединены друг с другом на стороне шины постоянного тока через небольшие реакторы и заземлены в нейтральной точке сети конденсаторов преобразователей. Заземление

производится с целью блокировки 3-ей гармоники, напряжения нулевой последовательности, генерируемое СГПМ.

Преобразователь в зависимости от режима работы может действовать как выпрямитель или инвертор. Когда один преобразователь работает как выпрямитель, другой - как инвертор, и наоборот. Переключатели, используемые в этих преобразователях, требуют высокой скорости работы.

Основное назначение преобразователя со стороны сети - регулирование напряжения промежуточного контура, улучшение качества электроэнергии в сети в точке общего подключения за счет подачи реактивной мощности во время ее колебаний.

2.6 Блок «Система управления ВЭУ»

Система управления ВЭУ представляет собой совокупность систем управления механической и систем управления электрической частями. Система управления механической частью основана на «Pitch» - регулировании (управление поворотом угла лопастей ВТ). Система управления электрической частью основана на работе преобразователя напряжения. Рассмотрим каждую из систем подробнее.

Система управления механической частью ВЭУ

Современные ВЭУ 4 типа оснащены системой управления углом поворота лопастей ветроколеса β («Pitch»-регулирование). Данный способ регулирования позволяет максимально использовать энергию ветра и работать ВЭУ на номинальной мощности в любой момент времени вне зависимости от скорости ветра.

Управление осуществляется в зависимости от зоны работы ВЭУ. Всего выделяют 3 зоны. Они представлены на рисунке 9.

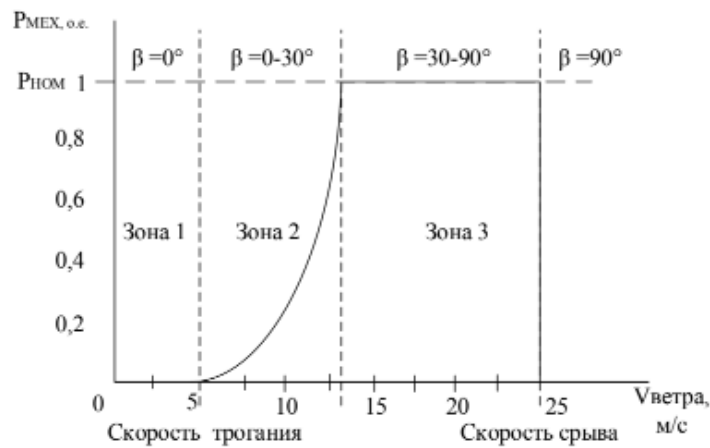


Рисунок 9 – Характеристика зависимости P_{MEX} от угла поворота лопастей β

Разберем каждую из зон.

- В зоне 1 ВЭУ находится в состоянии бездействия или запуска.

В данной зоне осуществляется контроль за скоростью ветра. При достижении условия, что скорость ветра находится в нормируемых пределах, производятся необходимые операции и установка запускается.

- В зоне 2 ВЭУ находится в рабочем режиме.

В данной зоне система управления должна регулировать работу ВЭУ одним из двух способов: с помощью поворота гондолы в горизонтальной плоскости или изменения вращающего момента генератора. Она подбирает оптимальный угол атаки лопаток турбины, чтобы извлечь максимум вырабатываемой мощности и достичь максимального коэффициента использования энергии ветра C_p .

- В зоне 3 ВЭУ находится в работе при скорости ветра, превышающей номинальное значение.

Коэффициент использования энергии ветра C_p необходимо ограничить, чтобы не выйти за пределы расчетных нагрузок генератора.

Система управления углом поворота лопаток турбины β реализуется с применением ПИ-регулятора. Значение самого угла определяется согласно кривым $C_p(Z, \beta)$.

Модель сервопривода системы ПИ-управления углом поворота лопасти:

$$\frac{d\beta}{dt} = -\frac{1}{T} \cdot \beta + \frac{1}{T} \cdot \beta_{ycm} \quad (14)$$

$$\left(\frac{d\beta}{dt}\right)_{\min} \leq \frac{d\beta}{dt} \leq \left(\frac{d\beta}{dt}\right)_{\max}$$

где β – угол поворота лопасти ($\beta_{\min} \leq \beta \leq \beta_{\max}$);

T – постоянная времени сервопривода.

Система управления электрической частью ВЭУ

Система управления электрической частью ВЭУ 4 типа в основном определяется управлением силового преобразователя. Система управления электрической частью схематично представлена на рисунке 10.

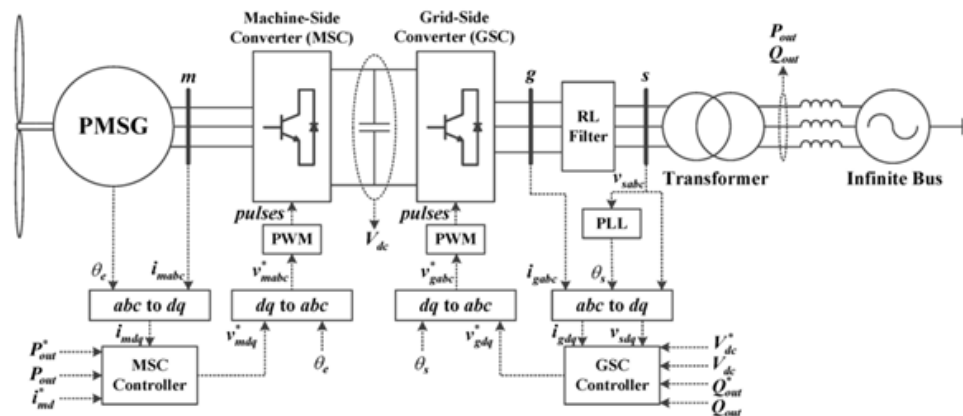


Рисунок 10– Схематичная модель системы управления электрической частью ВЭУ

Система управления преобразователем со стороны сети

Система управления преобразователем со стороны сети предназначена для обеспечения на выходе преобразователя напряжения, совпадающего по частоте, углу и амплитуде с напряжением сети.

Баланс напряжения на RL -фильтре, показанный на рисунке 10, может быть выражен следующим образом [7]:

$$\begin{aligned}
 u_{gd} &= R_f i_{gd} + L_f \frac{di_{gd}}{dt} - \omega_s L_f i_{gq} + u_{sd} \\
 u_{gq} &= R_f i_{gq} + L_f \frac{di_{gq}}{dt} - \omega_s L_f i_{gd} + u_{sq}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

где u_{sd} и u_{sq} - напряжение на клеммах преобразователя со стороны сети d – и q – оси соответственно;

R_f и L_f - сопротивление и индуктивность RL-фильтра;

ω_s - угловая частота напряжения на клеммах RL-фильтра.

На рисунке 11 показана структура преобразователя со стороны сети. Он включает четыре ПИ-регулятора, которые управляют V_{dc} , i_{gd} , i_{gq} и выходной реактивной мощностью Q_{out} соответственно.

Верхний индекс «*» обозначает уставку входов ПИ-регулятора.

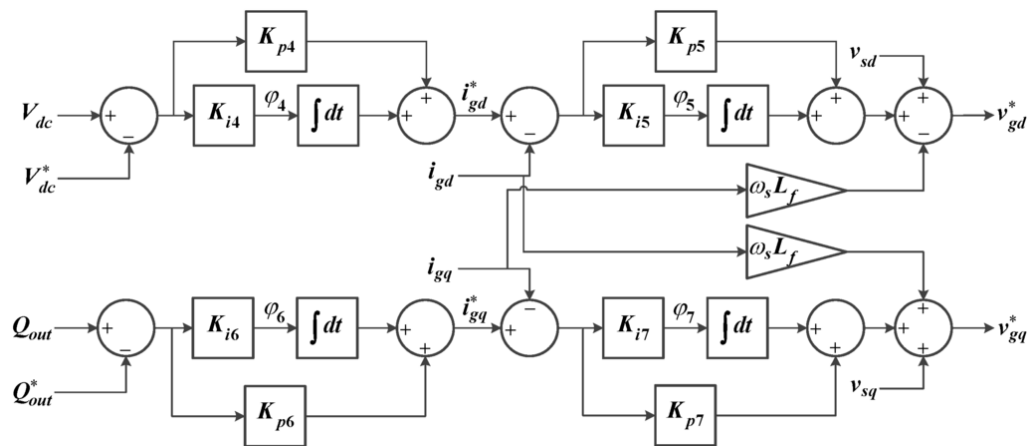


Рисунок 11 – Структура системы управления преобразователем со стороны сети

Система управления преобразователем со стороны машины

Система управления преобразователем со стороны машины предназначена для поддержания уровня заряда конденсатора и напряжения в цепи постоянного тока. Структура системы управления преобразователем со стороны машины показана на рисунке 12.

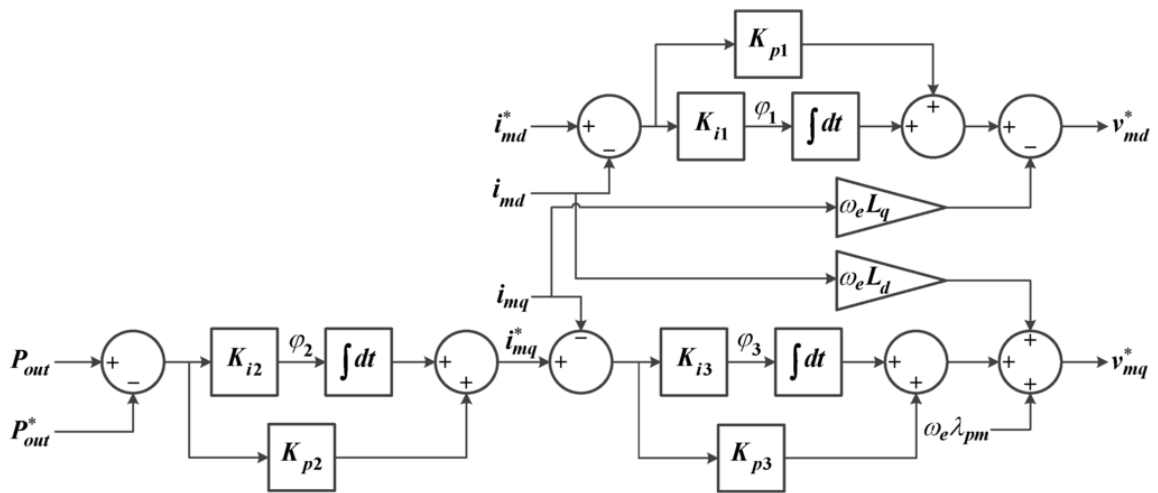


Рисунок 12 – Структура системы управления преобразователя со стороны машины

Она состоит из трех ПИ-регуляторов, каждый из которых управляет текущим i_{md} , i_{mq} и выходной активной мощностью P_{out} , соответственно. Верхний индекс «*» обозначает уставку входов ПИ-регулятора.

Регулировка $i_{md}^* = 0$ гарантирует минимальные токи статора для заданного крутящего момента, что увеличивает механический КПД [8]. При вычислении P_{out} , поскольку он проходит через один и тот же текущий путь, i_{sd} и i_{sq} могут быть установлены равными i_{gd} и i_{gq} соответственно.

2.7 Вывод по второй главе

Основным результатом данной главы является ознакомление и разработка математической модели ВЭУ 4 типа на основе концептуальной блочной схемы. Рассмотрены основные блоки преобразования энергии ветра в энергию, отправляемую в энергосистему.

В модели ветра для моделирования динамической составляющей ветра используется модель Каймала, которая раскладывает на спектральные составляющие скорость ветра.

Управление механической частью осуществляется на основе «Pitch»-регулирующего. На основе уравнения ротора и аэродинамического

преобразования происходит преобразование энергии ветра. Как результат, на выходе получаем механический момент и угловую частоту вращения ВЭУ 4 типа.

Управление электрической частью осуществляется управлением посредством преобразователя. В данной части управления вся механическая энергия, проходя через СГПМ преобразовывается в электрическую энергию и на выходе получаем напряжение и параметр потокосцепления, индуцируемого магнитами ротора на обмотках статора.

В общем действии в модели преобразователя происходит преобразование напряжения до значений частоты, угла и амплитуды напряжения в сети. Далее выработанная энергия через повышающий трансформатор уходит в энергосистему.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВ КЗ В ЛИНИИ ЭЭС С ВЭУ 4 ТИПА

Исследование влияния ВЭУ 4 типа на параметры срабатывания релейной защиты линии произведено на учебной тестовой модели ЭЭС, представленной на рисунке 13.

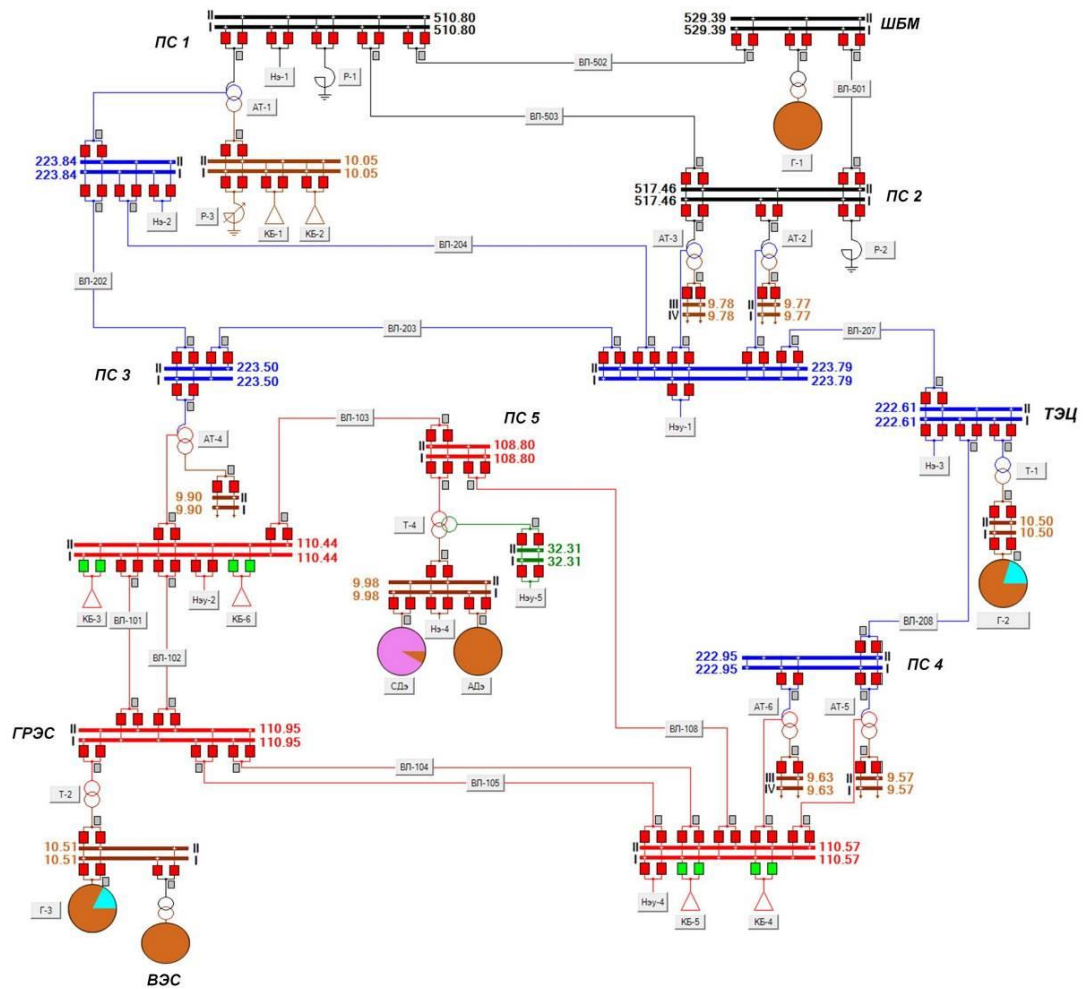


Рисунок 13 – Фрагмент тестовой схемы с ВЭУ 4 типа в ПАК «RTDS»

Для исследования влияния ВЭУ на параметры срабатывания релейной защиты линии были проведены следующие опыты:

1. Короткие замыкания на шинах подключения ВЭС (близкое КЗ)
2. Короткие замыкания на шинах ПС 1 500 кВ (удаленное КЗ)

Для каждого из опытов сняты осциллограммы фазных и действующих значений тока при однофазном, междуфазном и трехфазном КЗ для случаев присоединения к шинам ГРЭС традиционной генерации, 50% замещения традиционной генерации возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) и 100% замещения традиционной генерации ВИЭ. Результаты опытов приведены в следующих разделах.

3.1 Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС (близкое КЗ)

В данном опыте аварийный режим в ЭЭС рассматривается при возникновении КЗ в момент 0,01 секунда и длительностью 0,12 секунд на шинах подключения ВЭС, а именно на шинах ГРЭС 110 кВ.

В результате эксперимента сняты осциллограммы действующих значений тока в ВЛ 110 кВ (линия подключения ВЭС), которые приведены на рисунках 14-16.

В связи с большим объемом экспериментальных данных, осциллограммы фазных токов данного опыта приведены в приложении А.

3.1.1 Режим однофазного КЗ на шинах ГРЭС 110 Кв

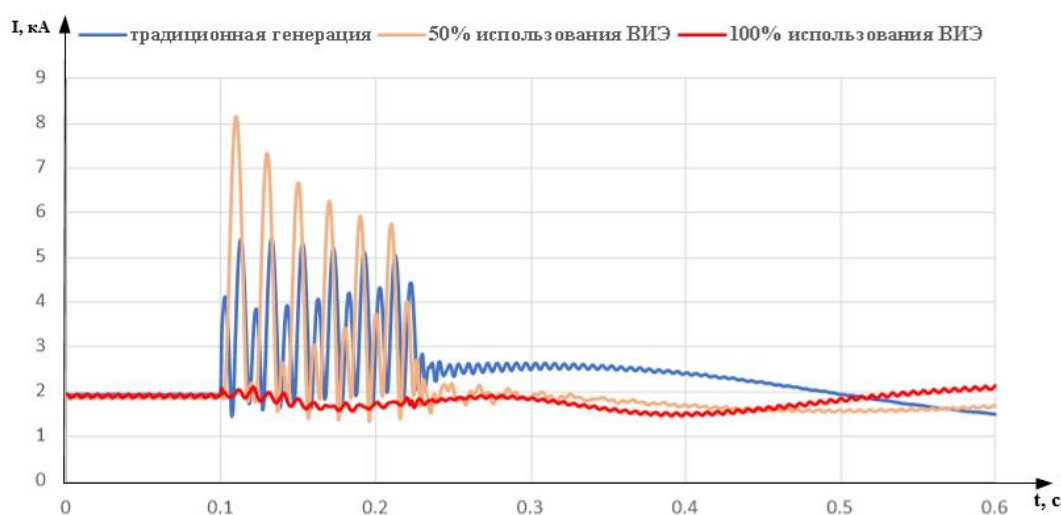


Рисунок 14 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 110 кВ при однофазном КЗ на шинах ГРЭС

3.1.2 Режим междуфазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

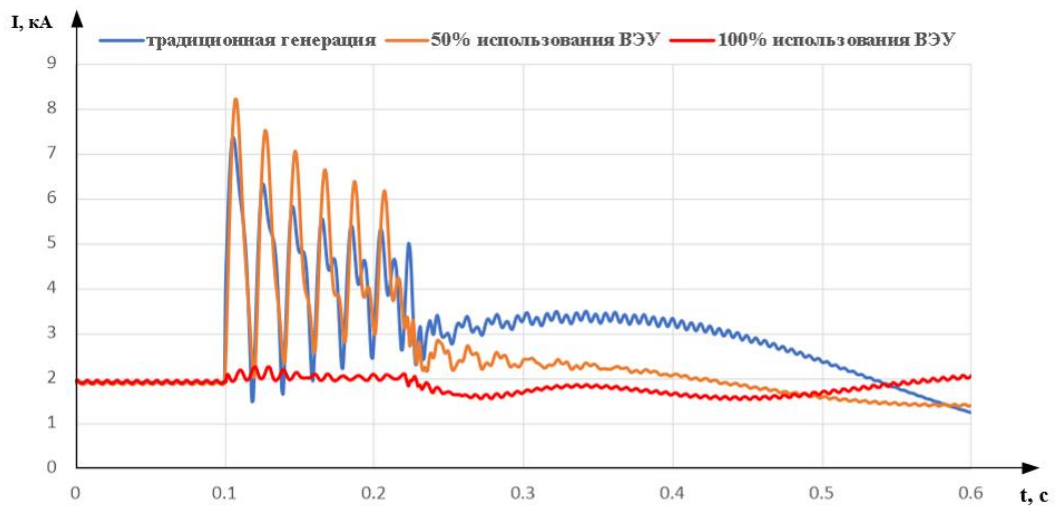


Рисунок 15 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 110кВ при междуфазном КЗ на шинах ГРЭС

3.1.3 Режим трехфазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

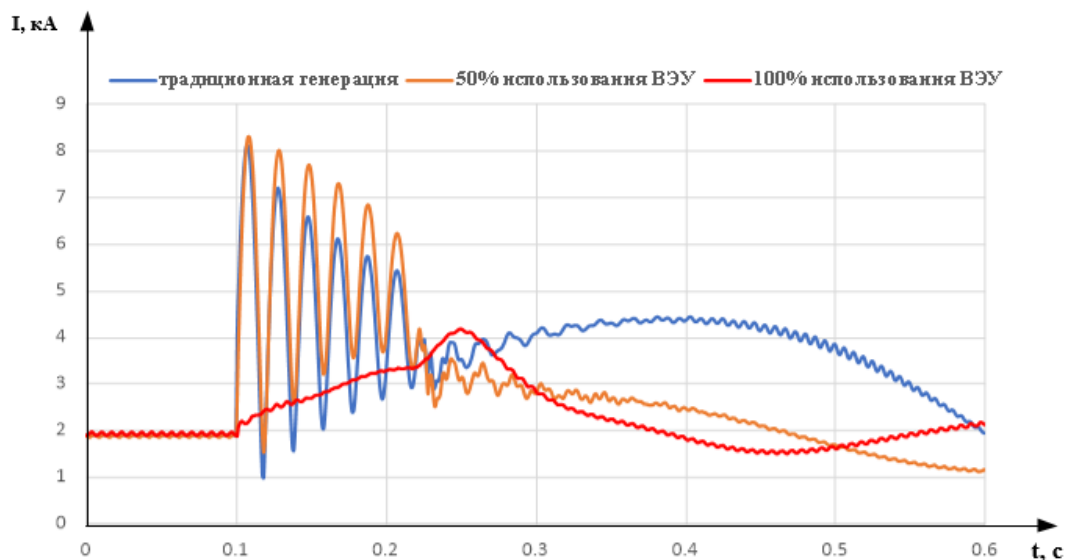


Рисунок 16 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 110кВ при трехфазном КЗ на шинах ГРЭС

В таблице 2 сведены максимальные значения действующих токов ВЛ 110кВ при различных видах КЗ на шинах ГРЭС. С помощью данной таблицы можно наглядно оценить расхождение показателей однофазного, междуфазного и трехфазного КЗ при различных видах генерации.

Таблица 2 – Значения токов при КЗ

Ток КЗ Генерация	Однофазное КЗ	Междуфазное КЗ	Трехфазное КЗ
	I, кА	I, кА	I, кА
Традиционная генерация	5,370 (100%)	7,347 (100%)	8,136 (100%)
50% замещение ВИЭ	8,139 (+51,56%)	8,196 (+11,56%)	8,307 (+2,1%)
100% замещение ВИЭ	2,124 (-60,45%)	2,267 (-69,14%)	4,170 (-48,75%)

Из приведенных выше осциллограмм и таблицы можно сделать вывод, что токи КЗ в линии при 100% замещении генерации на ВИЭ достигают гораздо меньших значений, чем при традиционной генерации и при замещении ВИЭ на 50%.

Однако, сравнивая токи КЗ при традиционной генерации и 50% замещении ВИЭ, заметно увеличение значений тока, особенно при однофазном КЗ (увеличение происходит больше, чем в 2 раза).

3.2 Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС (контроль значений токов в ВЛ 500кВ)

В данном опыте аварийный режим в ЭЭС рассматривается при возникновении КЗ в момент 0,01 секунда и длительностью 0,12 секунд на шинах подключения ВЭС, а именно на шинах ГРЭС 110 кВ.

В результате эксперимента сняты осциллограммы действующих значений тока в ВЛ 500кВ, отходящих от ПС1. Данные осциллограммы приведены на рисунках 17-19.

В связи с большим объемом экспериментальных данных, осциллограммы фазных токов данного опыта приведены в приложении А.

3.2.1 Режим однофазного КЗ на шинах ГРЭС 3

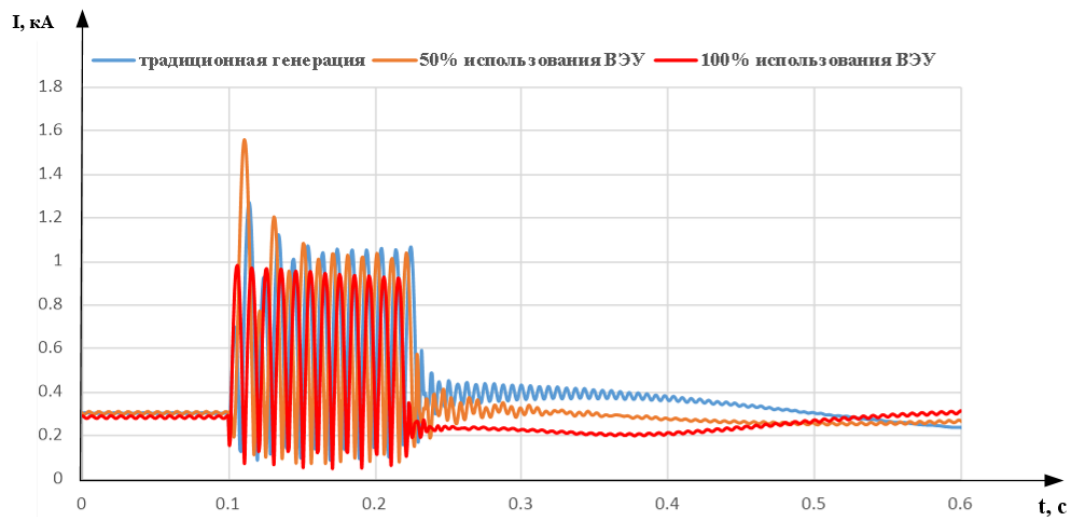


Рисунок 17 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500кВ при однофазном КЗ на шинах ГРЭС

3.2.2 Режим двухфазного КЗ на шинах ГРЭС

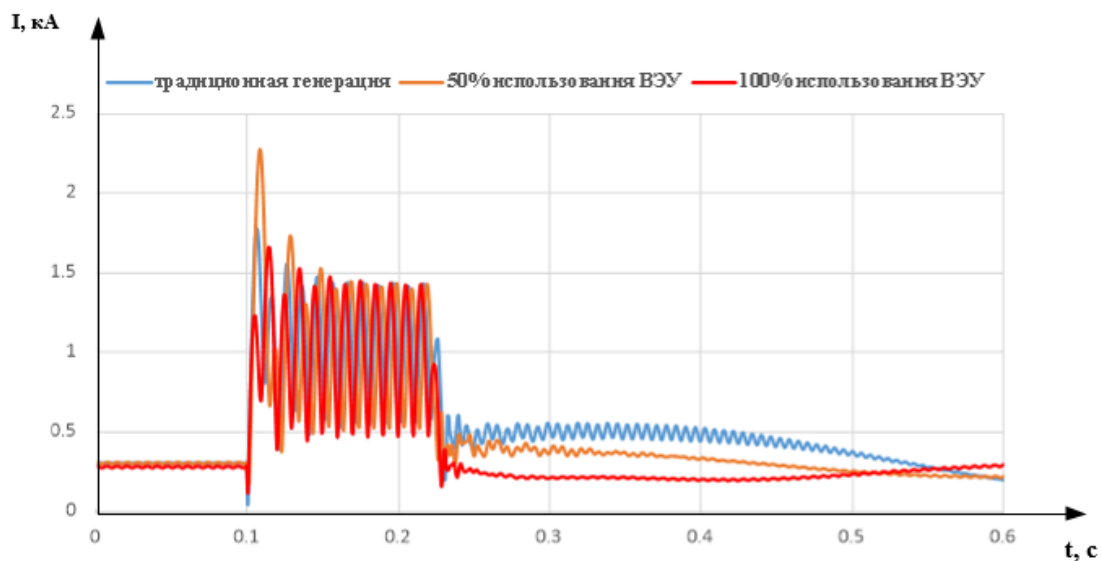


Рисунок 18 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500кВ при двухфазном КЗ на шинах ГРЭС

3.2.3 Режим трехфазного КЗ на шинах ГРЭС

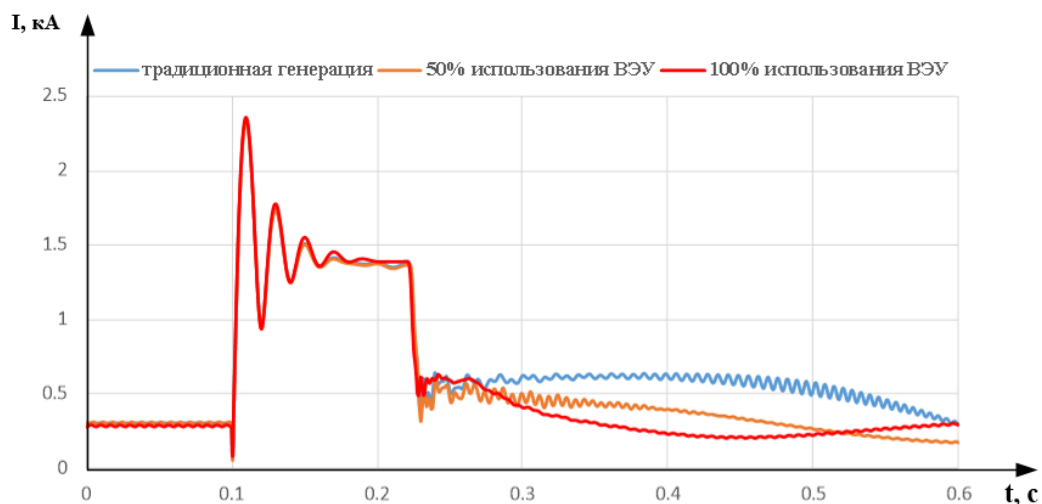


Рисунок 19 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500кВ при трехфазном КЗ на шинах ГРЭС

В таблице 3 сведены максимальные значения действующих токов ВЛ 500кВ при различных видах КЗ на шинах ГРЭС. С помощью данной таблицы можно наглядно оценить расхождение показателей однофазного, междуфазного и трехфазного КЗ при различных видах генерации.

Таблица 3 – Значения токов при КЗ

Генерация \ Ток КЗ	Однофазное КЗ	Междуфазное КЗ	Трехфазное КЗ
	I , кА	I , кА	I , кА
Традиционная генерация	1,278 (100%)	1,774 (100%)	2,332 (100%)
50% замещение ВИЭ	1,559 (+5,48%)	2,266 (+27,73%)	2,322 (-0,13%)
100% замещение ВИЭ	0,984 (-23%)	1,667 (-6,03%)	2,360 (-2,1%)

При 50% замещении ВУЭ наиболее отличительным является значение действующего тока при двухфазном КЗ (отличен от тока традиционной генерации почти на треть).

При 100% замещении традиционной генерации на ВИЭ значения токов уменьшаются, как и в предыдущем опыте. Однако, их уменьшение не такое значительное, как в линии присоединения ВИЭ. Данный факт может

быть обусловлен подключением ПС 1 к шинам бесконечной мощности (ШБМ).

3.3. Короткое замыкание на СШ ПС 1 500 кВ

(удаленное КЗ, контроль значений в линии подключения ВЭС)

В данном опыте аварийный режим в ЭЭС рассматривается при возникновении КЗ в момент 0,01 секунда и длительностью 0,12 секунд на шинах ПС 1.

В результате эксперимента сняты осциллограммы действующих значений тока в линии подключения ВЭС, которые приведены на рисунках 20 – 22.

В связи с большим объемом экспериментальных данных, осциллограммы фазных токов данного опыта приведены в приложении Б.

3.3.1 Режим однофазного КЗ на шинах ПС1

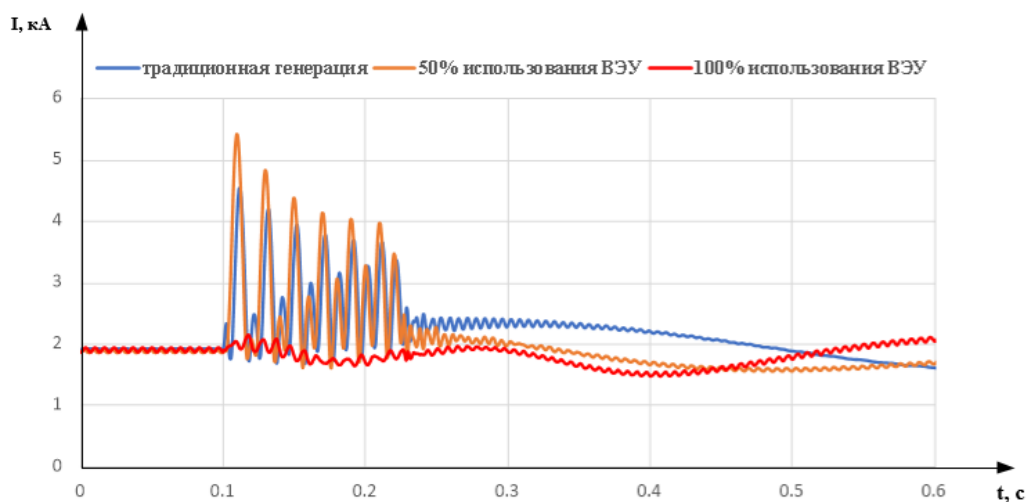


Рисунок 20 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 110 кВ при однофазном КЗ на шинах ПС 1

3.3.2 Режим двухфазного КЗ на шинах ПС1

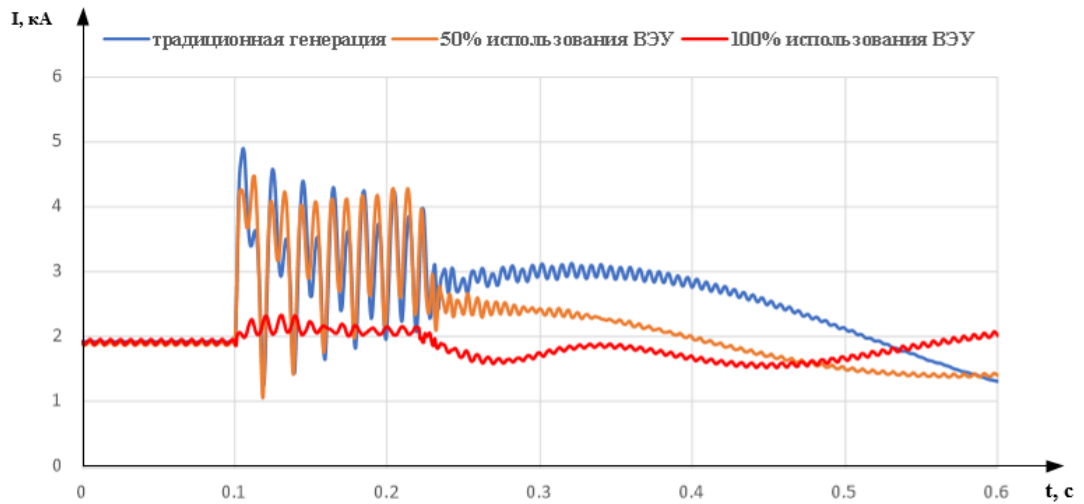


Рисунок 21 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 110 кВ при двухфазном КЗ на шинах ПС 1

3.3.3 Режим двухфазного КЗ на шинах ПС1

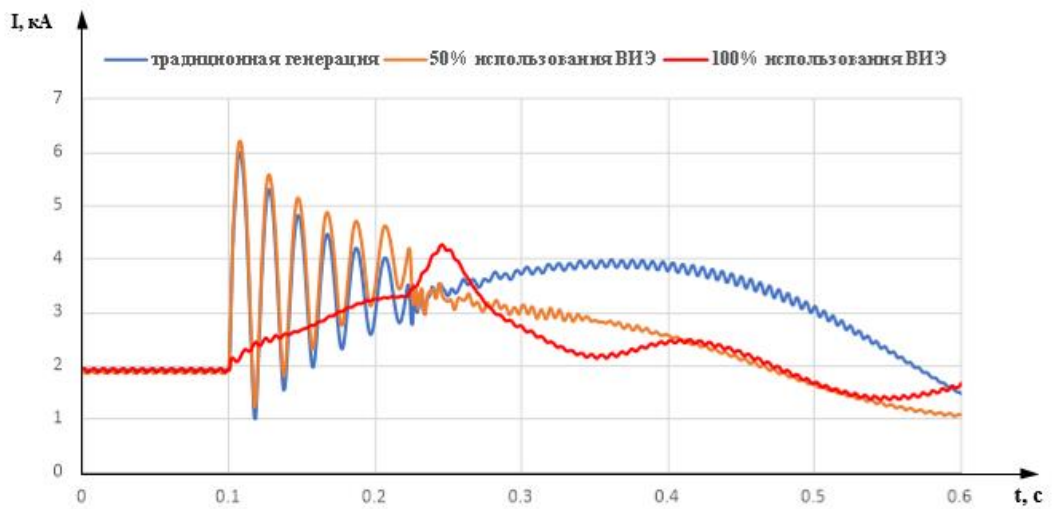


Рисунок 22 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 110 кВ при трехфазном КЗ на шинах ПС 1

В таблице 4 сведены максимальные значения действующих токов ВЛ 110кВ при различных видах КЗ на шинах ПС1. С помощью данной таблицы

можно наглядно оценить расхождение показателей однофазного, междуфазного и трехфазного КЗ при различных видах генерации.

Таблица 4 – Значения токов при КЗ

Генерация \ Ток КЗ	Однофазное КЗ	Междуфазное КЗ	Трехфазное КЗ
	I, кА	I, кА	I, кА
Традиционная генерация	4,548 (100%)	4,887 (100%)	6,004 (100%)
50% замещение ВИЭ	5,420 (+19,17%)	4,465 (-8,64%)	6,228 (+3,73%)
100% замещение ВИЭ	2,160 (-52,50%)	2,317 (-52,58%)	4,268 (-28,91%)

Анализируя полученные данные, вновь заметно отличие действующих значений токов при различных видах генерации. В частности, при замещении традиционной генерации ВИЭ на 100% токи при трех видах КЗ значительно уменьшаются. При 50% замещении токи КЗ также отличны от токов КЗ при традиционной генерации, но их изменения неоднозначны (при однофазном и трехфазном КЗ токи возрастают, при двухфазном значение тока уменьшается).

3.4 Короткое замыкание на СШ ПС 1 500 кВ (контроль значений токов ВЛ 500кВ)

В данном опыте аварийный режим в ЭЭС рассматривается при возникновении КЗ в момент 0,01 секунда и длительностью 0,12 секунд на шинах ПС 1.

В результате эксперимента сняты осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500кВ, отходящих от ПС1. Данные осциллограммы приведены на рисунках 23-25.

В связи с большим объемом экспериментальных данных, осциллограммы фазных токов данного опыта приведены в приложении Б.

3.4.1 Режим однофазного КЗ на шинах ПС1

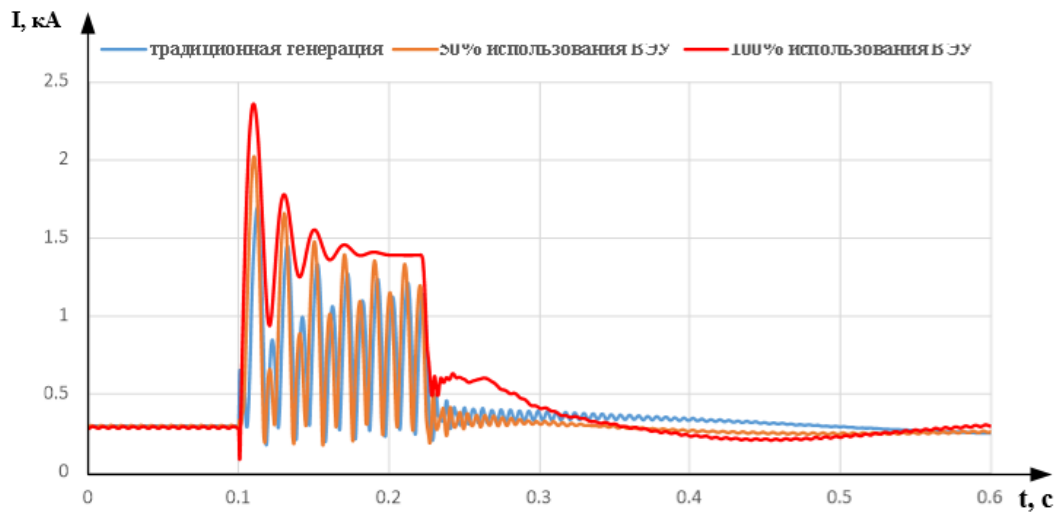


Рисунок 22 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500 кВ при однофазном КЗ на шинах ПС 1

3.4.2 Режим двухфазного КЗ на шинах ПС1

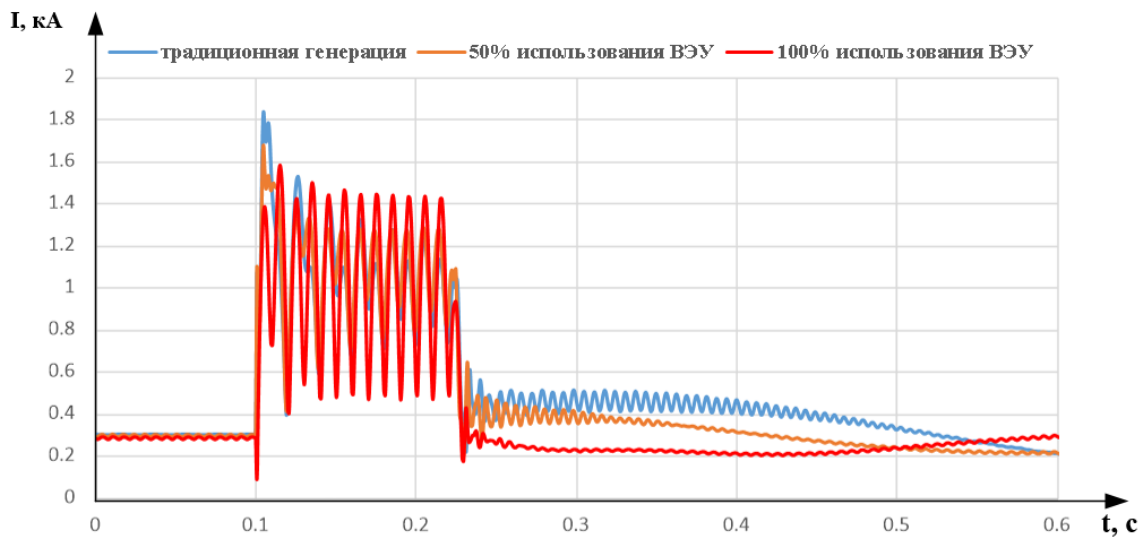


Рисунок 23 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500 кВ при двухфазном КЗ на шинах ПС 1

3.4.3 Режим трехфазного КЗ на шинах ПС1

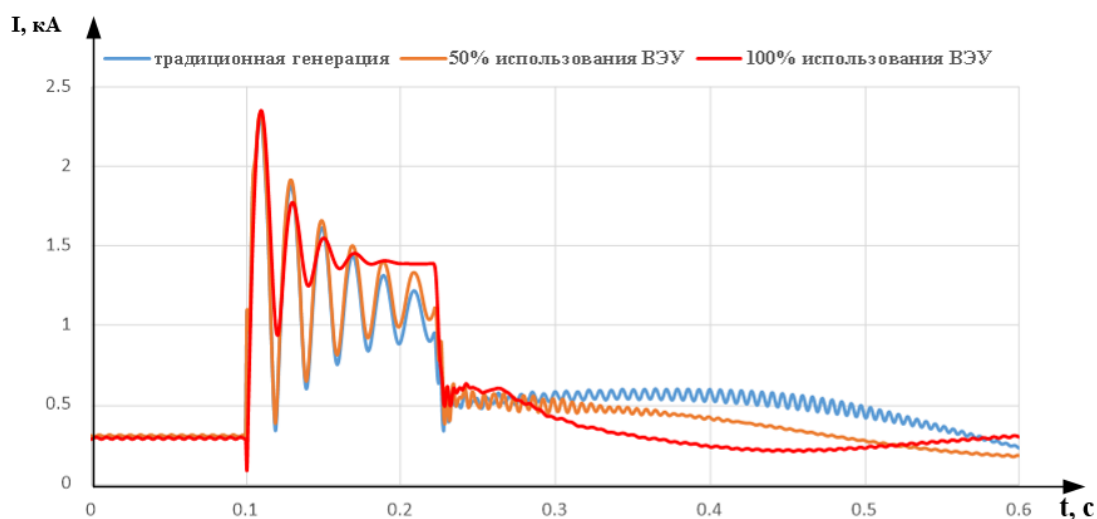


Рисунок 24 – Осциллограммы действующих значений тока ВЛ 500 кВ при трехфазном КЗ на шинах ПС 1

В таблице 5 сведены максимальные значения действующих токов ВЛ 110кВ при различных видах КЗ на шинах ПС1. С помощью данной таблицы можно наглядно оценить расхождение показателей однофазного, междуфазного и трехфазного КЗ при различных видах генерации.

Таблица 5 – Значения токов при КЗ

Параметры КЗ Генерация	Однофазное КЗ	Междуфазное КЗ	Трехфазное КЗ
	I, кА	I, кА	I, кА
Традиционная генерация	1,705 (100%)	1,843 (100%)	2,303 (100%)
50% замещение ВИЭ	2,014 (+18,12%)	1,673 (-9,22%)	2,341 (+1,65%)
100% замещение ВИЭ	1,335 (-21,7%)	1,573 (-14,65%)	2,351 (+2,08%)

Значения токов короткого замыкания не остаются на одном уровне при замещении традиционной генерации на ВИЭ на 50% и 100% даже если происходит близкое КЗ на шинах подстанции, отдаленной от места подключения ВИЭ. Данные, полученные в опыте, это доказывают.

Выводы по третьей главе

В результате анализа опытов были выявлены различия в действующих и фазных токах короткого замыкания (как для случаев близкого, так и удаленного КЗ) при использовании традиционной генерации и при 50% и 100% её замещении ВИЭ. Эти различия наглядно продемонстрированы на осциллограммах тока и в сводных таблицах максимальных действующих значений тока при однофазном, междуфазном и трехфазном КЗ.

Основном объектом исследования в ЭЭС являлась ВЛ 110 Кв – линия подключения ВЭС, токи короткого замыкания на которой и были измерены. Согласно ПУЭ [10] в качестве основной защиты линии 110 кВ применяется дистанционная защита. ДЗ менее подвержены влиянию изменений конфигурации в сети в сравнении с МТЗ. Однако существуют особенности функционирования ДЗ в сетях с ВИЭ. Изменение параметров ветра оказывает существенное влияние на дальность действия ДЗ. Колебания скорости ветра приводят к изменениям уровня напряжения в сети, а значит и к изменениям полного сопротивления, которое и контролируется защитой. Подобные изменения приводят к нестабильности зоны срабатывания ДЗ. Подобная неопределённость не может быть допустима при реализации защиты объектов ЭЭС.

В качестве резервной защиты для линий 110кВ может применяться токовая отсечка. Принцип действия токовой отсечки заключается в контроле величины тока на защищаемом участке. Выявленные в данной работе различия величин токов КЗ в линии при разных типах генерации энергии свидетельствует о том, что при интеграции ВИЭ в ЭЭС требуются изменения уставок релейной защиты, применяемых для защиты ВЛ.

Вышесказанное дает понимание, что внедрение ВИЭ в ЭЭС оказывает влияние на параметры срабатывания релейной защиты. Как следствие возникает проблема настройки параметров РЗ в сетях с ВИЭ.

Возможное решение данной проблемы может заключаться в адаптации оборудования ветряных электростанций к условиям работы в уже

имеющихся ЭЭС. Для этого необходимы специальные технические условия, которые должны разрабатываться на этапе проектирования и передаваться производителю устройств РЗ в качестве обязательных к исполнению.

Альтернативный метод решения проблемы можно предложить в виде глубокой модернизации релейной защиты электрической сети, а именно разработку новых методов и средств для настройки РЗ.

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

В настоящее время всё большее внимание уделяется экономии природных ресурсов и сохранению окружающей среды. Это дает востребованность в развитии малой энергетики, а именно возобновляемых источников энергии.

Целью раздела «Финансовый менеджмент» в выпускной квалификационной работе является экономическое планирование и оценка ресурсоэффективности проведения исследования влияния ветроэнергетических установок (ВЭУ) на правильную работу релейной защиты в электрических сетях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- дать оценку коммерческого потенциала и перспективности выполнения научного исследования;
- провести SWOT-анализ, в ходе которого будут рассмотрены сильные и слабые стороны научного исследования, а также имеющиеся при его реализации возможности и угрозы;
- построить диаграмму Ганта на основе плана научного исследования;
- определить бюджет, необходимый для проведения научного исследования;

- дать оценку ресурсоэффективности проводимого научного исследования.

Проведение финансовой оценки ВКР является необходимым, чтобы ещё на стадии разработки проекта выявить наиболее выгодный путь проведения исследования.

4.1 Анализ конкурентоспособности

Для проведения анализа конкурентоспособности будем использовать оценочную карту. Она приведена в таблице 6. Данный способ оценки помогает выявить достоинства выбранного оборудования, а также его недостатки. Кроме того в ходе проведения анализа будет определен наиболее конкурентоспособный тип ВЭУ.

В данной работе рассматривается ВЭУ 4 типа, поэтому в качестве конкурентов взяты ВЭУ 1 и 3 типа. Первый тип ВЭУ оснащается короткозамкнутым асинхронным генератором, вращающимся с постоянной скоростью и подключаемым напрямую к сети. В конструкции ВЭУ 3 типа с генератором двойного питания используется асинхронный генератор с фазным ротором. ВЭУ 4 типа изготовлен на базе синхронного генератора на постоянных магнитах.

Для проведения анализа конкурентоспособности используются критерии, приведенные в таблице 6.

Оценка по каждому критерию проводится экспертным путем по пятибалльной шкале. Веса критериев определяются в зависимости от их значимости и в сумме составляют 1 (100%).

Для анализа будем использовать следующую формулу:

$$K_i = \sum V_i \cdot B_i$$

где, K_i – конкурентоспособность варианта;

V_i – вес показателя (доли от ед.);

B_i – балл показателя.

Таблица 6 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ВУЭ 1 тип	ВУЭ 3 тип	ВУЭ 4 тип	К ₁ ВУЭ 1 тип	К ₃ ВУЭ 3 ти	К ₄ ВУЭ 4 тип
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. КПД	0,10	3	5	5	0,3	0,5	0,5
2. Удобство эксплуатации	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Надежность	0,10	4	4	5	0,4	0,4	0,5
4. Безопасность	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
5. Уровень шума	0,10	3	4	5	0,3	0,4	0,5
6. Универсальность	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
7. Вес	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,10	4	4	3	0,4	0,5	0,5
2. Конкурентоспособность продукта	0,10	2	4	5	0,2	0,4	0,5
3. Уровень проникновения на рынок	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4. Финансирование научного исследования	0,07	3	4	4	0,21	0,28	0,28
5. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
Итого	1	43	51	55	3,62	4,42	4,82

Анализируя данные, полученные выше можно сделать вывод, что ВЭУ 4 типа - наиболее конкурентоспособная и эффективная за счет следующих критериев: КПД, надежность, уровень шума и безопасность. Более того ВЭУ 4 типа на данный момент является самой инновационной, что предоставляет перспективы для дальнейшего развития электроэнергетики.

Однако, стоит отметить, что у данного типа ВУЭ присутствуют и минусы, например, цена.

Дальнейшие расчеты и анализ будут проводиться для выбранного типа ВЭУ.

4.2 SWOT – анализ

SWOT – анализ – это инструмент, позволяющий провести комплексный анализ внешних факторов научно-исследовательской работы, которые влияют или могут повлиять на дальнейшую перспективу развития проекта.

В результате анализа будут определены:

1. Strengths (сильные стороны проекта) – преимущества использования данного типа ВЭУ;
2. Weaknesses (слабые стороны проекта) – недостатки или уязвимости использования данного типа ВЭУ;
3. Opportunities (возможности) – предпочтительные ситуации при выборе данного типа ВЭУ;
4. Threats (угрозы) – нежелательные ситуации при выборе данного типа ВЭУ;

В таблице 7 представлена матрица SWOT – анализа. В ней продемонстрированы основные факторы, которые необходимо учесть в данном исследовании.

Таблица 7 – матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Экологичность технологии 2. Высокий КПД 3. Эффективность в течение календарного года 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость 2. Непостоянство источника энергии 3. Более сложное сервисное обслуживание 4. Повышенная опасность из-за наличия подвижных частей
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Актуализация внедрения возобновляемых источников энергии 2. Государственная и частная 	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокий КПД и эффективность в течение календарного года приведет к 	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость ВИЭ и более сложное сервисное обслуживание затрудняет повсеместное внедрение устройств, как одно из решений,

<p>поддержка проектов по модернизации объектов промышленности</p> <p>3. Увеличение надежности электрической сети</p>	<p>более распространенному использованию данной технологии и к актуализации внедрения ВИЭ в электрические сети;</p> <p>2. Экологичность использования данной технологии может привлечь частную и государственную поддержку для модернизации объектов промышленности и сохранения экологии в стране.</p>	<p>государственное субсидирование проектов по переоснащению оборудования;</p> <p>2. Увеличение надежности электрической сети по средствам внедрения новых технологий может помочь избежать проблемы непостоянства источника энергии и организовать бесперебойную работу электрической сети.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>1. Несоответствие темпов ввода оборудования темпу роста перцептивного потребления электроэнергии</p> <p>2. Потеря финансирования</p> <p>3. Рост стоимости импортных комплектующих</p> <p>4. Низкий спрос на рынке из-за некоторой экономической ситуации</p>	<p>Сильные стороны и угрозы:</p> <p>1. Снижение спроса на рынке может поспособствовать развитию новых стратегий по разработки технических решений;</p> <p>2. Повышение стоимости импортных комплектующих может привести к развитию отечественной отрасли по изготовлению необходимого оборудования.</p>	<p>Слабые стороны и угрозы:</p> <p>1. Рост стоимости импортного оборудования и сложное сервисное обслуживание могут привести к падению спроса на ВЭУ в целом;</p> <p>2. Повышенная опасность из-за наличия подвижных частей может стать отпугивающим фактором для инвесторов и привести к потере финансирования.</p>

Основными сильными сторонами ВУЭ 4 типа являются экологичность и высокий КПД, которые превосходят недостатки в виде высокой стоимости и непостоянства источника энергии. Всё это говорит о том, что в данном НИП слабые стороны не способны привести к значительным внешним угрозам и к отказу от использования ВУЭ в электрических сетях.

4.3 Планирование научно-технического исследования

План осуществляемой работы строится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научного исследования формируется рабочая группа. В ее состав входит руководитель и инженер (руководитель – Разживин И.А., инженер – Кренева А.Р.)

В первую очередь составляется перечень работ для проведения научного исследования, а также перечень этапов данных работ. Далее производится распределение исполнителей по видам работ. В таблице 8 представлены составленные этапы работ и их распределение по исполнителям.

Таблица 8 – Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ.

Основные этапы	№ раб	Наименование работы	Исполнители работы
Выбор направления исследования и формирование плана для выполнения работ	1	Выбор научного руководителя исследования	Инженер
	2	Определение основного направления исследования	Руководитель Инженер
	3	Формирование темы научного исследования и ее утверждение	Руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме научного исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования по выбранной теме	5	Подбор и изучение литературы, необходимой для изучения теме исследования	Инженер Руководитель
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Моделирование схемы энергосистемы в программном комплексе RTDS для проведения научного исследования и расчет параметров схемы	Инженер
	8	Выполнение экспериментальной части исследования	Инженер Руководитель
	9	Анализ проведенных экспериментов	Инженер Руководитель
Обобщение и оценка результатов	10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Руководитель Инженер

	11	Выполнение раздела финансовый менеджмент и социальная ответственность	Инженер
	12	Подведение итогов, оформление работы	Инженер

4.4 Определение трудоемкости выполнения работ

На данном этапе:

- определяется трудоемкость работ рабочей группы, состав которой определяется руководителем и инженером;
- выявляются трудовые затраты каждого участника проекта. В дальнейшем они будут учтены при расчете конечной стоимости исследования.

Трудоемкость научного исследования определяется в человеко-днях. Данная величина носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}i} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5}$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -й работы, чел/дн;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения i -й работы, чел/дн;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения i -й работы, чел/дн.

Следующим этапом определяют продолжительность каждой работы в рабочих днях. Данные вычисления проводятся на основе расчета ожидаемой трудоемкости работ. При этом учитывается параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Расчет производится по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{C_i}$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -й работы, чел/дн;

$Ч_i$ – число исполнителей, выполняющих одну работу одновременно, чел.

Результаты расчетов приведены в таблице 9.

4.5 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика проведения научного исследования удобнее всего использовать диаграмму Ганта – горизонтальный график, протяженность видов работ во времени, на котором отображаются характерными отрезками даты начала и конца выполнения данных работ.

Продолжительность работы в календарных днях определяется:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

где T_{ki} – продолжительность i -й работы, календ.дн;

T_{pi} – продолжительность i -й работы, раб.дн;

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

Коэффициент календарности:

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

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях для каждой из работ округлит до целого числа.

Предполагается что и руководитель, и инженер работают по 6-дневной рабочей неделе. По производственному календарю на 2022 год суммарное количество выходных и праздничных дней составляет: при шестидневной рабочей неделе – 118 дней.

Пример расчета по работе «Формирование темы научного исследования и ее утверждение».

1) Для руководителя:

Ожидаемая трудоемкость выполнения работы:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.-дн}$$

Продолжительность выполнения работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ дней.}$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{k_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Продолжительность выполнения работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,48 = 2,072 \approx 2 \text{ дня}$$

2) Для инженера:

Ожидаемая трудоемкость выполнения работы

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.-дн}$$

Продолжительность выполнения работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ дней.}$$

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2022 году 365 календарных дней, 247 рабочих дней, 118 выходных/праздничных дней. Таким образом, коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{k_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Продолжительность выполнения работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,48 = 2,072 \approx 2 \text{ дня.}$$

В таблице 9 отображены все рассчитанные временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работы	Трудоемкость работ, чел-дни						Длительность работ, дни			
	t_{\min}		t_{\max}		$t_{\text{ож}}$		T_p , рабочие		T_k , календарные	
	Разживин И.А.	Кренева А.Р.	Разживин И.А.	Кренева А.Р.	Разживин И.А.	Кренева А.Р.	Разживин И.А.	Кренева А.Р.	Разживин И.А.	Кренева А.Р.
Выбор научного руководителя исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2
Определение основного направления исследования	1	1	2	2	1,4	1,4	1,4	1,4	2	2
Формирование темы научного исследования и ее утверждение	1	1	2	2	1,4	1,4	1,4	1,4	2	2
Календарное планирование работ по теме научного исследования	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2
Подбор и изучение литературы, необходимой для изучения теме исследования	5	5	10	10	7	7	7	7	10	10
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	7	-	14	-	9,8	-	9,8	-	15
Моделирование схемы энергосистемы в программном комплексе RTDS для проведения научного исследования и расчет параметров схемы	-	10	-	14	-	9,6	-	9,6	-	14
Выполнение экспериментальной части исследования	7	7	14	14	9,8	9,8	9,8	9,8	15	15
Анализ проведенных экспериментов	7	7	14	14	9,8	9,8	9,8	9,8	15	15
Согласование выполненной работы с научным руководителем	7	7	14	14	9,8	9,8	9,8	9,8	15	15
Выполнение раздела финансовый менеджмент и социальная ответственность	-	7	-	14	-	9,8	-	9,8	-	15
Подведение итогов, оформление работы	-	7	-	14	-	9,8	-	9,8	-	15
Итого	28	61	56	134	39,2	81	39,2	81	59	122

По полученным данным таблицы 9 строится график Ганта, который изображен в виде таблицы 10.

Таблица 10 – График Ганта

Наименование работы	31.01.2022	02.02. 2022	04.02.2022	06. 02. 2022	08.02. 2022	18.02. 2022	05.03. 2022	19.03. 2022	02.04. 2022	17.04. 2022	01.05. 2022	15.05. 2022	29.05. 2022
Выбор научного руководителя исследования													
Определение основного направления исследования													
Формирование темы научного исследования и ее утверждение													
Календарное планирование работ по теме научного исследования													
Подбор и изучение литературы, необходимой для изучения теме исследования													
Проведение теоретических расчетов и обоснований													
Моделирование схемы энергосистемы в программном комплексе RTDS для про-ведения научного исследования и расчет параметров схемы													
Выполнение экспериментальной части исследования													
Анализ проведенных экспериментов													
Согласование выполненной работы с научным руководителем													

Выполнение раздела финансовый менеджмент и социальная ответственность														
Подведение итогов, оформление работы														
Кренева А.Р.													Разживин И.А.	

В ходе проведения этапа планирования работ научного исследования были определены сроки выполнения всех запланированных видов работ. По итогу был построен график Ганта, который отражает этапы выполнения научного исследования. Итого, в рабочих днях длительность работ руководителя составляет – 39 дней, длительность работ инженера – 81 дней.

4.6 Определение бюджета проекта

Для того чтобы определить бюджет проекта, необходимо учесть следующие пункты затрат:

1. Программное обеспечение для исследования;
2. Материальные ресурсы;
3. Заработная плата рабочей группы;
4. Дополнительная заработная плата рабочей группы;
5. Отчисления во внебюджетные фонды;
6. Накладные расходы.

4.6.1 Расчет материальных затрат на разработку проекта

В ходе проведения научного исследования были использованы материалы и инструменты, стоимость которых сведена в таблицу 11.

Таблица 11 – Материальные затраты на разработку проекта

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Канцелярские	штук	1	200	200

принадлежности				
Бумага	упаковка	1	350	350
Скоросшиватель	штук	1	63	63
Тетрадь 96 листов	штук	1	80	80
Печать листов в типографии	штук	200	2,5	500
Итого				1193

На основе данных, представленных в таблице 11, материальные затраты на разработку научного исследования составляют 1193 рублей.

4.6.2. Амортизационные отчисления

В данной статье учитываются затраты на приобретение оборудования для проведения моделирования схемы для проведения исследования. Стоимость всего необходимого оборудования берется на основе договорных цен или на основании действующих прейскурантов.

Срок использования оборудования достаточно длительный, следовательно, необходимо при расчетах учесть амортизационные отчисления, которые рассчитываются по формуле:

$$A_i = \frac{S \cdot N}{H \cdot 365}$$

где: A_i – амортизационные отчисления;

S – стоимость оборудования и программного обеспечения;

N – количество дней использования в при проектировании;

H – предполагаемый срок службы оборудования и программного обеспечения.

$$A_{ПК} = \frac{31698 \cdot 89}{3 \cdot 365} = 2576,37 \text{ руб.};$$

$$A_{ПКРТДС} = \frac{517875,71 \cdot 89}{10 \cdot 365} = 12627,65 \text{ руб.};$$

$$A_{Office} = \frac{3600 \cdot 45}{3 \cdot 365} = 147,9 \text{ руб.}$$

Стоимость необходимого оборудования, программного обеспечения и расчет амортизации сведены в таблице 12.

Таблица 12– Амортизационные отчисления на оборудование и программные комплексы

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во оборудования, ед	Стоимость ед. оборудования, руб.	Амортизация, руб.
1	Персональный компьютер	1	31 698,00	2576,37
2	Программный комплекс «RTDS»	1	517 875,71	12627,65
3	Лицензия на программное обеспечение MicrosoftOffice	1	3600	147,9
Итого				15351,92

Таким образом, из таблицы 12 наглядно видно, что амортизационные отчисления на оборудование и программные комплексы составили 15351,92 рублей.

4.6.3. Полная заработная плата исполнителей темы

При проведении научного исследования учитывается заработная плата рабочей группы: зарплата научного руководителя и инженера, которые трудятся над этим проектом. Её величина напрямую зависит от трудоемкости работы, квалификации работников и системы окладов и тарифных ставок.

Зарботная плата состоит из двух частей: основная, в которую входит премиальная часть в размере 20 – 30% от тарифа или оклада и дополнительная.

Расчет заработной платы производится по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где, $Z_{зп}$ – заработная плата;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Расчет основной заработной платы выполняем по формуле, представленной ниже:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где, $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Расчет среднедневной заработной платы выполняем по формуле:

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где, Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.дней.

В таблице 13 представлен баланс рабочего времени, согласно производственному календарю 2022 года..

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	
Количество нерабочих дней:		
- выходные и праздничные дни	118	
Потери рабочего времени:		
- отпуск	48	
- невыходы по болезни	10	
Действительный годовой фонд рабочего времени	189	

Заработная плата работника за месяц

$$Z_m = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p,$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{ТС}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (принимается равным 0,2); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет заработной платы каждого из работников:

– расчет заработной платы руководителя

$$Z_{\text{м.руковод.}} = 30.000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.};$$

– расчет заработной платы инженера

$$Z_{\text{м.инжен.}} = 10.000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 19500 \text{ руб.}$$

Расчет среднедневной заработной платы работников:

– среднедневная заработная плата руководителя

$$Z_{\text{дн.руковод.}} = \frac{58500 \cdot 10,4}{189} = 3219,05 \text{ руб.};$$

– среднедневная заработная плата инженера

$$Z_{\text{дн.инжен.}} = \frac{19500 \cdot 10,4}{189} = 1073,02 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы работников:

– основная заработная плата руководителя

$$Z_{\text{осн.руковод.}} = 3219,05 \cdot 39 = 125542,95 \text{ руб}$$

– основная заработная плата инженера

$$Z_{\text{осн.инжен.}} = 1073,02 \cdot 81 = 86914,62 \text{ руб}$$

Результаты расчета основной заработной платы участников проекта сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	k_d	k_p	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	3219,05	39	125542,95
Инженер	10000	0,3	0,2	1,3	19500	1073,02	81	86914,62
Итого затраты по основной заработной плате, руб.	212457,57							

4.6.4 Дополнительная заработная плата исполнителей проекта

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей научного исследования включают в себя доплату за отклонение от нормальных условий труда, предусмотренных трудовым кодексом РФ, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,15).

Рассчитываем дополнительную заработную плату:

1) дополнительная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{доп.руковод}} = 0,15 \cdot 125542,95 = 18831,44 \text{ руб}$$

2) дополнительная заработная плата инженера:

$$З_{\text{доп.инжен}} = 0,15 \cdot 86914,62 = 13037,19 \text{ руб}$$

3) общие затраты по дополнительной заработной плате:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{доп.инжен}} + З_{\text{доп.руковод}} = 18831,44 + 13037,19 = 31868,63 \text{ руб}$$

4.6.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Ставка отчислений во внебюджетные фонды для учреждений, осуществляющих научную и образовательную деятельность, составляет 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды вычисляются по следующей формуле:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Рассчитываем отчисления во внебюджетные фонды:

1) отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$З_{\text{внеб.руковод.}} = 0,30 \cdot (125542,95 + 18831,44) = 43312,19 \text{ руб};$$

2) отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$З_{\text{внеб.инжен.}} = 0,30 \cdot (86914,62 + 13037,19) = 29985,54 \text{ руб}$$

3) общие отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб.}} = З_{\text{внеб. инженер.}} + З_{\text{внеб. руковод.}} = 43312,19 + 29985,54 = 73297,73 \text{руб.}$$

4.6.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы, которые не входят в предыдущие виды расходов. Например, ксерокопирование, печать материалов исследования, оплата электроэнергии, услуги связи, почтовые расходы и тд.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{аморт}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб.}}) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается равной 16%.

Рассчитываем величину накладных расходов проекта:

$$З_{\text{накл}} = (15351,92 + 212457,57 + 31868,63 + 73297,73) \cdot 0,16 = 53276,14 \text{ руб.}$$

4.6.7 Формирование бюджета затрат проекта

Основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции, является рассчитанная величина затрат работ по разработке проекта.

В таблице 15 представим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат на разработку проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты	1193	0,308
2. Амортизация оборудования и программных комплексов	15351,92	3,962
3. Затраты по основной заработной плате	212457,57	54,836
4. Затраты по дополнительной заработной плате	31868,63	8,225
5. Отчисления во внебюджетные фонды	73297,73	18,918
6. Накладные расходы	53276,14	13,751
Бюджет затрат проекта	387444,99	100

В ходе проведения расчета бюджета проекта определены затраты на его разработку. Общая сумма необходимая для его реализации составляет – 387444,99 рублей.

Основные расходы приходятся на статью «Основная заработная плата сотрудников» и составляет 54,836% от общего бюджета проекта.

4.7 Ресурсоэффективность

Расчет ресурсоэффективности осуществляется с помощью интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта;

b_i – бальная оценка проекта.

Приведем пример расчета интегрального показателя ресурсоэффективности для ВЭУ 4 типа:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,7$$

Результаты расчета интегрального показателя ресурсоэффективности сведем в общую таблицу 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент, a_i	Бальная оценка, b_i		
		b_1	b_3	b_4
1. Надежность	0,25	4	4	5
2. Безопасность	0,25	5	5	5
3. Простота эксплуатации	0,2	4	4	4
4. Ремонтпригодность	0,1	3	4	4
5. Энергоэффективность	0,2	2	4	5
Итого	1,0	3,75	4,25	4,7

На основании данных, приведенных в таблице 16, интегральный показатель ресурсоэффективности ВЭУ 4 типа оказался самым большим по сравнению с его конкурентами. Данный факт означает хорошую эффективность реализации проекта.

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

- В данном разделе было рассмотрено научное исследование со стороны финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. С помощью оценочной карты была рассмотрена конкурентоспособность данного проекта. ВЭУ 4 типа оказался наиболее конкурентоспособным и эффективным за счет таких критериев как КПД, надежность, уровень шума и безопасность. Также ВЭУ 4 типа является

самым инновационным, по сравнению с его конкурентами, что открывает перспективы дальнейшего развития электроэнергетики.

- Был проведен SWOT – анализ, из которого стало понятно, что сильные стороны проекта преобладают над слабыми сторонами. При проведении анализа были рассмотрены такие возможности, как актуализация внедрения возобновляемых источников энергии, государственная и частная поддержка проектов по модернизации объектов промышленности, увеличение надежности электрической сети. Кроме того, были приведены и сильные стороны, к которым относятся экологичность технологии, высокий КПД, эффективность в течение календарного года и безопасность.

- Произведено планирование научно – технического исследования, а также определена трудоемкость выполнения работ. На основе полученных данных был разработан график проведения НИИ, который представлен в виде диаграммы Ганта. Длительность выполнения проекта составляет 122 календарных дня.

- Произведен расчёт бюджета на проведение научного исследования. В общей сложности он составил 387444,99 рублей.

- Рассчитана ресурсоэффективность проекта. На основе интегрального показателя для ВЭУ 4 типа она составила 4.7. Это свидетельствует о высокой эффективности реализации данного исследования.

Применение данного проекта позволит провести исследование влияния ВЭУ 4 типа на работу релейной защиты в электрических цепях, что в дальнейшем может повлиять на замену традиционных генераторов подстанций на ветрогенераторы.

ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом исследования в выпускной квалификационной работе является релейная защита электрической сети с возобновляемыми источниками энергии. В процессе выполнения работы была изучена теоретическая информация об объекте исследования и произведен анализ работы релейной защиты в случае питания сети от генератора и от ветроэлектрической установки.

Данная работа является актуальной в настоящее время, так как повышается значимость проблем с экологией, возобновляемые источники энергии становятся более важными и востребованными, чем когда-либо. Кроме того, результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы для решения практических задач, направленных на развитие и совершенствование ЭЭС.

В ходе выполнения данной работы была задействована лаборатория, являющаяся рабочей зоной. Она находится в корпусе Томского политехнического университета. В лаборатории расположено несколько рабочих компьютеров со специализированными программами и экспериментальная установка RTDS. Общая площадь лаборатории составляет 20 м².

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные трудовые нормы правового законодательства

Основные положения отношений между организацией и сотрудниками содержатся в трудовом кодексе. Согласно [10], организация предоставляет студенту, выполняющему работу в лаборатории:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- отдых, обеспечиваемый установлением нормальной продолжительности (40 часов в неделю) рабочего времени с предоставлением еженедельных выходных дней, нерабочих праздничных дней, оплачиваемых ежегодных отпусков продолжительностью не менее 28 рабочих дней;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о специальной оценке условий труда;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда в денежной форме в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами.
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний, предусмотренных федеральными законами.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При выполнении исследования необходимо два рабочих места (для руководителя и студента-лаборанта), оснащенных ПЭВМ. ПЭВМ располагается на рабочем столе так, чтобы была задействована оптимальная площадь поверхности с учетом характерных особенностей и количества

оборудования. Целесообразно расстояние между рабочими столами с видеомониторами обеспечить 2,0 метра, а между боковыми поверхностями – 1,2 метра. Расстояние от экрана ПЭВМ и глаз пользователя необходимо обеспечить 600 – 700 мм [11].

Согласно [12], рекомендуется используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда.

Лаборатория должна быть обеспечена креслами, которые соответствуют стандартам и требованиям, приведенным в [13]. Конструкция кресла должна учитывать рост сотрудника и гарантировать, удобную и комфортную позу для снижения перенапряжения, а также обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности. Оптимальное положение работающего достигается регулированием высоты рабочей поверхности.

Согласно требованиям, к помещению для работы с ПЭВМ [11], на одно рабочее место должна быть отведена площадь не менее 6 м² при этом необходимо обеспечить освещение рабочей зоны в соответствии с нормативными требованиями. Предпочтительно, чтобы окна в лаборатории были ориентированы на север и северо-восток и оборудованы устройствами типа: жалюзи, занавесей и др.

5.2 Производственная безопасность

В таблице 17 представлен перечень вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте, характерных при разработке проектируемого решения, в соответствии с классификацией, указанной в [12].

Таблица 17 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте лаборанта

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Нормативные документы
1. Повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [6].
2.Повышенный уровень шума	СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [7]. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [8].
3.Отклонение показателей микроклимата рабочего места	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [9].
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [10].
5.Нервно-психические перегрузки (перенапряжение анализаторов)	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [11].
6.Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [12].

5.2.1 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Трудовая деятельность лаборанта, в большей степени связана с работой за персональным компьютером, следовательно, на него оказывается воздействие электромагнитного излучения. Электромагнитные излучения негативно влияют на нервную, эндокринную и сердечно-сосудистую системы.

Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, согласно [14], представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Предельно допустимые значения напряженности

Параметр	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	от 0,06 до 3	св. 3 до 30	св. 30 до 300
Предельно допустимое значение напряженности электрического поля E , В/м	500	300	80
Предельно допустимое значение напряженности магнитного поля H , А/м	50	–	–

Для снижения воздействия электромагнитных полей необходимо соблюдать расстояние от источников электромагнитных полей до рабочего персонала. Согласно [15] необходимо проводить измерения напряженности не реже чем раз в год, а также при вводе в работу новых установок, при изменении конструкции установок, при организации новых рабочих мест.

5.2.2 Повышенный уровень шума

В лаборатории находится большое количество оборудования, которые являются источниками шума. Шум с уровнем звукового давления до 30-35 дБ не наносит вреда для человека. Повышение уровня до 40-70 дБ приводит к негативным последствиям для организма, таким как быстрая утомляемость, сонливость, раздражительность.

Согласно [16], предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления для рабочего места

Назначение помещений или территорий	Для источников постоянного шума								
	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Предельно допустимые октавные уровни звукового давления, дБ								
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ	103	91	83	77	73	70	68	66	64

Основным источником шума в лаборатории являются вентиляторы охлаждения ПЭВМ. Уровень шума колеблется от 20 до 60 дБА. Исходя из значений таблицы 19 рабочее место лаборанта соответствует указанным нормам.

Согласно [17] при повышенном уровне шума в качестве индивидуальных средств защиты применяют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

5.2.3. Отклонение показателей микроклимата рабочего места

Длительное нахождение человека в неблагоприятных условиях оказывает негативное влияние на общее состояние организма. Симптомы у каждого сотрудника могут проявляться по-разному, например, ухудшении самочувствия, снижение производительности труда или развитие профессиональных заболеваний. Поэтому важно обеспечить правильный микроклимат для работников: показания температуры воздуха, влажности и скорости движения воздуха. Для каждого периода года определены оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата, которые должны быть обеспечены организацией. Согласно [18], работа лаборанта за ЭВМ относится к категории Ia, которая подразумевает работу сидя с сопровождением незначительного физического напряжения. В таблице 20 представлены данные об оптимальных и допустимых значениях микроклимата согласно [18].

Таблица 20 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая
Холодный	22 – 24	21-25	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	22-26	40-60	55 (при 28°С)	0,1	0,1-0,2

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров в теплый период года используются системы вентиляции, а в холодный период года используется центральное водяное отопление.

5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Следствием недостаточной освещенности рабочей зоны является снижения внимания, ухудшение координации движений, перенапряжение глаз, это может привести к возникновению ошибок при выполнении поставленной задачи.

В таблице 21 приведены рекомендуемые источники света для общего освещения общественных зданий согласно [19].

Таблица 21 – Нормы освещения для лаборатории

Требования к освещению	Наименование помещения	Освещенность, лк	Индекс цветопередачи источников света R_a	Диапазон цветовой температуры источников света $T_{ц}, K$	Рекомендуемые источники света для общего освещения
Обеспечение зрительного комфорта в помещениях при выполнении зрительных работ	Лаборатория	От 200 до 500	85-89	3000-6500	СД; ЛЛ типов: ЛТБЦЦ, ЛДЦ, 930*, 940*, 950*, 965*

* Приведено обозначение по ГОСТ Р 54815, в котором первая цифра определяет индекс цветопередачи (в десятках), а две последние - цветовую температуру (в сотнях кельвинов). Например, 765 означает $R_a = 70$, $T_{ц} = 6500$ К.

Примечания

1 Принятые сокращения: ЛДЦ – лампы дневного света с улучшенной цветопередачей; ЛЛ – люминесцентные лампы; ЛТБЦЦ – лампы тепло-белого света с высококачественной цветопередачей; СД – светодиоды.

6 Прямое излучение ярких светодиодных источников света не должно попадать в поле зрения лиц, находящихся в помещении.

Для обеспечения искусственного освещения в помещении с ПК должна быть установлена система общего равномерного освещения. Также должна быть использована система аварийного освещения для продолжения работы при отключении рабочего освещения.

5.2.5 Нервно-психические перегрузки (перенапряжение анализаторов)

Повышенная освещенность от экрана монитора неблагоприятно влияет на общее самочувствие и зрение, вызывая слепящий эффект. В таблице 22, согласно [20], представлены допустимые визуальные параметры устройств отображения информации.

Таблица 22 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	3:1
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение положения фрагментов изображения экрана)	Не более $2 \cdot 10L - 4L$, где L – расстояние наблюдения

Во избежание перегрузок рекомендуется делать перерывы в течение рабочего дня по 30 минут через каждые 2 часа. Также для сотрудников целесообразно, при работе за компьютером, пользоваться специальными защитными очками.

5.2.6 Поражение электрическим током

Практически на любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 23 [21].

Таблица 23 – Значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются: изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним, установки защитного заземления, установка предохранительных устройств, наличие общего рубильника, своевременный осмотры технического оборудования, изоляции.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Защита атмосферы

При работе в лаборатории за ПЭВМ на атмосферу влияют электромагнитные излучения, исходящие от устройства. В случае нарушения нормальной работы оборудования, если какая-либо часть устройства становится неисправна, то при ее утилизации возникают выделения токсичных веществ.

В связи с этим необходимо выполнять проверку оборудования на прочность, а также на правильность подсоединения к питающей сети. Необходимо контролировать сроки годности оборудования и производить своевременную замену.

5.3.2 Защиты гидросферы

В нормальном состоянии, когда все оборудование исправно ПЭВМ не влияет на гидросферу. Вероятность загрязнения гидросферы возникает при неправильной утилизации сломанного оборудования или отдельных его частей, поэтому сбор, хранение, транспортирование и разборка отработавшего электротехнического и электронного оборудования осуществляется в соответствии с общими требованиями безопасности согласно [22].

5.3.3 Защита литосферы и селитебной зоны

Данная работа оказывает существенное влияние на литосферу, так как при работе с компьютером и с бумажными документами возникает образование большого количества мусора. В соответствии с этим необходимо сортировать накопленный мусор на металлические части и неметаллические, затем осуществлять транспортировку и хранение в специально отведенных для этого местах. На основании этого, возможна, переработка отработанных материалов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможными чрезвычайными ситуациями при работе в лаборатории могут быть: короткое замыкание проводов, пожар, обрушение здания.

В лаборатории наиболее вероятная ЧС связана с возникновением пожара. Пожар может быть вызван технической неисправностью оборудования, которая возникает из-за износа оборудования, отказа электроники или неправильной его работы, технологического процесса. Также причиной пожара может быть халатность персонала, нарушения требований эксплуатации.

Наиболее возможный класс пожара – пожар горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением (Е) [23].

К первичным средствам пожара тушения относят переносные и передвижные огнетушители. При тушении электроустановок, находящихся в лаборатории под напряжением до 400 В., согласно [24], можно использовать хладонные огнетушители на расстоянии от объекта возгорания не менее одного метра. Принцип действия основан на том, что хладон попадая на раскалённую поверхность, при температуре выше 400 °С, разлагается с высвобождением свободных радикалов, которые связываются с продуктами горения и останавливают процесс. Достоинство в том, что исключено получение термического ожога, как при работе с углекислотными огнетушителями.

При возникновении пожара работник обязан:

- Вызвать пожарную охрану по телефону 101,112 с указанием адреса, места возникновения пожара, объекта возгорания, своей фамилии;
- С помощью кнопки пожарной сигнализации сообщить людям о возникновении пожара;
- При необходимости отключить электроэнергию;
- Организовать эвакуацию людей в случае возникновения угрозы жизни людей;
- Одновременно с эвакуацией организовать тушение первичными средствами пожаротушения;
- Организовать встречу пожарных подразделений.

Для снижения вероятности возникновения пожара в лаборатории необходимо проводить мероприятия, направленные на своевременную диагностику и техническую проверку оборудования, а также проводить инструктажи о пожарной безопасности с работающим персоналом.

Выводы по главе 5

В ходе выполнения раздела «социальная ответственность» выявлено, что:

- лаборатория относится к 1 категории помещений по электробезопасности, так в ней отсутствуют условия, создающие повышенную опасность, согласно [25].
 - для работы в лаборатории достаточно иметь 1 квалификационную группу допуска по электробезопасности, так как персонал напрямую не связан с обслуживанием и эксплуатацией электроустановок [26].
 - работы, выполняемые персоналом за ЭВМ, относятся к категории Ia, производимые сидя, сопровождающиеся незначительным физическим напряжением, согласно [18].

- лаборатория по категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности относится к пожароопасному помещению В1, так как есть твердые горючие вещества [27].

- согласно [28], лаборатория отнесена к IV категории объектов, оказывающий негативное воздействие на окружающую среду, так как лаборатория предназначена для проведения научно-исследовательской работы. Масса загрязняющих выбросов в атмосферу не превышает 10 тонн в год, а также отсутствуют сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду.

- факторы, которые воздействуют на селитебную зону, гидросферу, атмосферу и литосферу, соответствуют нормативным значениям регламентирующих документов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения бакалаврской работы получены экспериментальные результаты исследования влияния ВЭУ, подключенного к ЭЭС через преобразователь напряжения, на параметры релейной защиты, а именно на ток уставки. Выявленные в данной работе различия величин токов КЗ в линии при разных типах генерации энергии свидетельствует о том, что при интеграции ВИЭ в ЭЭС требуются изменения уставок релейной защиты, применяемых для защиты ВЛ. Полученные результаты могут использоваться при исследовании, проектировании и эксплуатации ВЭУ 4 типа в ЭЭС.

Следующие этапы работы способствовали комплексному подходу к проводимому исследованию:

1) изучение классификация и конструкция ВЭУ, рассмотрение четырех типов ВЭУ, отличающихся друг от друга используемым в них генератором. Выявление на основе анализа наиболее оптимального для исследования ВЭУ 4 типа с высоким КПД, отсутствием редуктора, системы возбуждения и наличием силового преобразователя;

2) разработка на основе изученных данных математической модели ВЭУ 4 типа для моделирования режимов короткого замыкания в режиме реального времени в ПАК «RTDS»;

3) анализ полученных значений токов в линии при аварийных режимах однофазного, междуфазного и трехфазного КЗ, возникающие при использовании традиционной генерации, а также её замещении на 50% и 100% ВИЭ.

4) анализ исследования со стороны финансового менеджмента: SWOT-анализ, планирование исследовательской работы, расчет бюджета исследования и показатели ресурсоэффективности, которые свидетельствуют об экономической эффективности реализации данного исследования;

5) анализ проведения данного исследования со стороны социальной ответственности: выявление опасных и вредных факторов, выделение

возможных и наиболее типичных ЧС при проведении исследования. В целях избежания негативных последствий на студента, проводимого исследования и оборудование, используемое в работе, разработаны меры по уменьшению или устранению негативных факторов влияния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. Sebastian, and G.R. Slemon, "Transient modeling and performance of variable-speed permanent-magnet motors", IEEE Trans. Industry Applications, vol. 25, No.1, pp. 101–106, Sep. 1986;
2. IEC 61400-1 Wind turbine generator systems-Part 1: Safety requirement – Switzerland.: IEC 2005 – 70 с.
3. Обухов С.Г. Моделирование продольной составляющей скорости ветра/ С.Г.Обухов, Е.Ж. Саркисеев // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции. – Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – с. 74–75.
4. Исследование влияния возобновляемых источников энергии на функционирование релейной защиты / М.В. Андреев, А.А. Суворов, А.Б. Аскарлов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» 2019 Т.19 №3 ст 93-99
5. Ackermann T, "Wind Power in Power Systems", Wiley; 2 edition, 2012, 1120 p.
6. Anderson, P.M. and Bose, A. (1983) Stability simulation of wind turbine systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-102 (12), 3791–3795.
7. Yazdani, A; Iravani, R. Voltage-Sourced Converters in Power Systems; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2010.
8. Leonhard, W. Control of Electrical Drives; Springer-Verlag: New York, NY, USA, 2001.
9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с
10. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ТК РФ).

11. СанПиН 2.2.2/2.4.134003 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
12. ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
13. ГОСТ 21889-76 Система «Человек-машина». Кресло человекаоператора. Общие эргономические требования.
14. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
15. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
16. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
17. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
18. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
19. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
20. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

22. ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.

23. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 30 апреля 2021 года).

24. ГОСТ Р 51057-2001 Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

25. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое).

26. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

27. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1).

28. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (с изменениями на 7 октября 2021 года)

Приложение А. Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС Режим однофазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

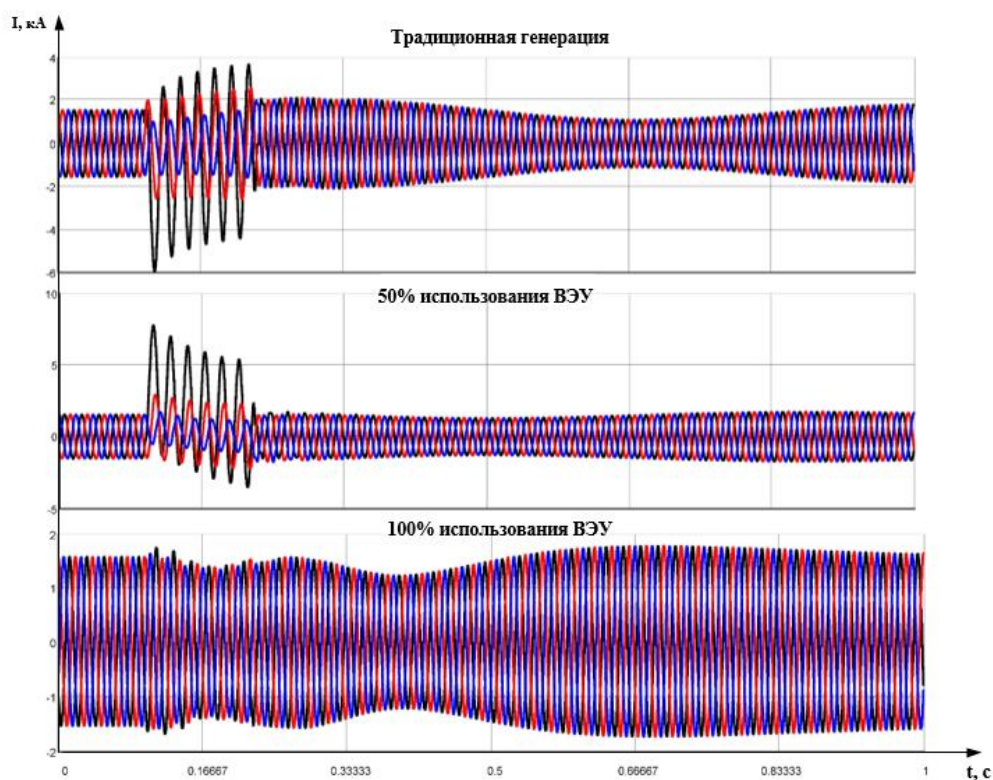


Рисунок А.1 – Осциллограммы фазных токов в линии 110 кВ при однофазном КЗ

Режим междуфазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

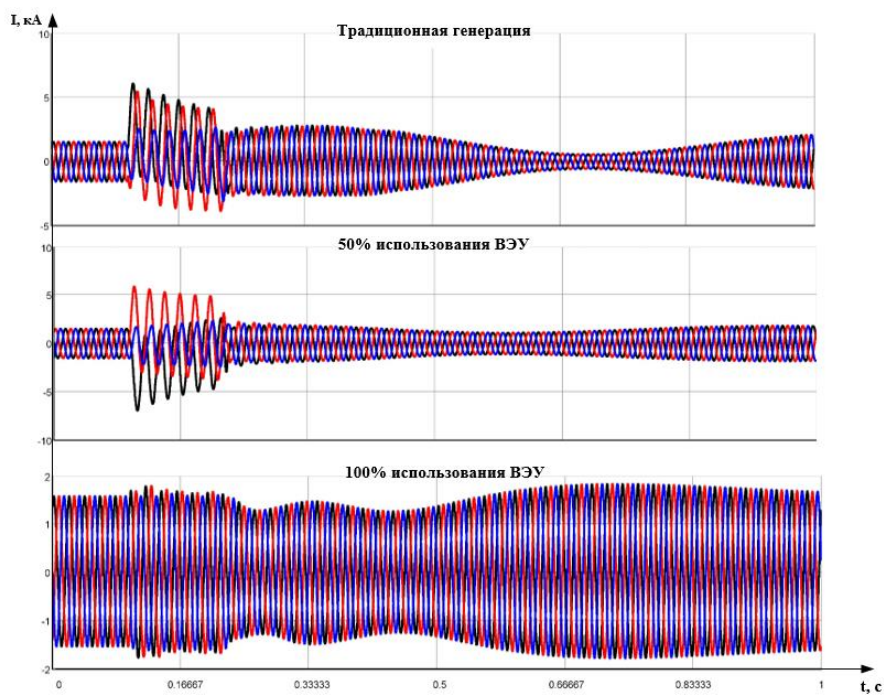


Рисунок А.2 – Осциллограммы фазных токов в линии 110 кВ при междуфазном КЗ

Режим трехфазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

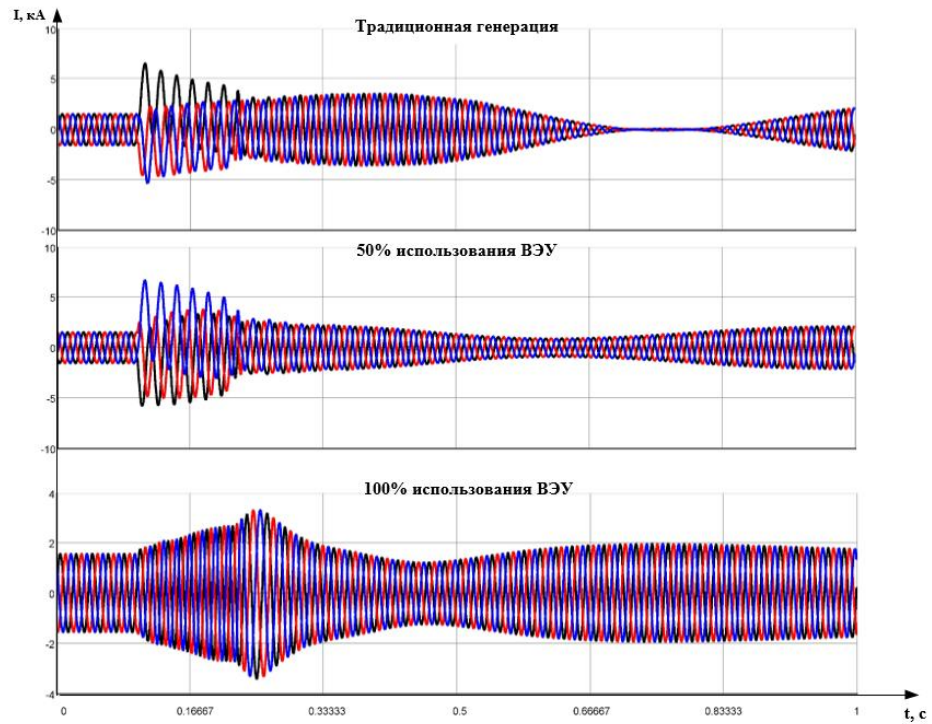


Рисунок А.3 – Осциллограммы фазных токов в линии 110 кВ при трехфазном КЗ

Короткое замыкание на шинах подключения ВЭС (контроль значений токов в ВЛ 500кВ)

Режим однофазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

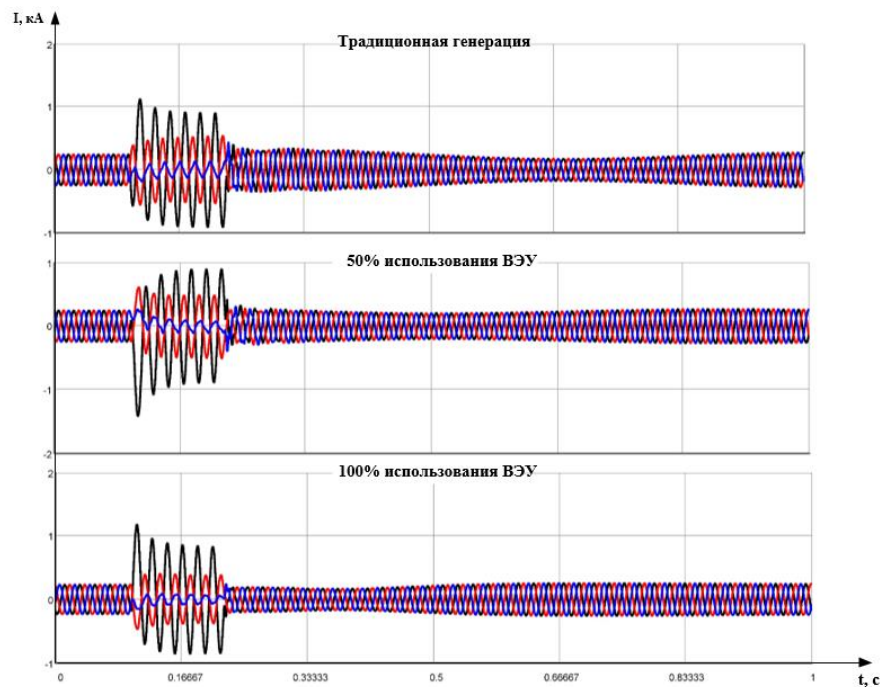


Рисунок А.4 – Осциллограммы фазных токов в линии 500 кВ при однофазном КЗ

Режим междуфазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

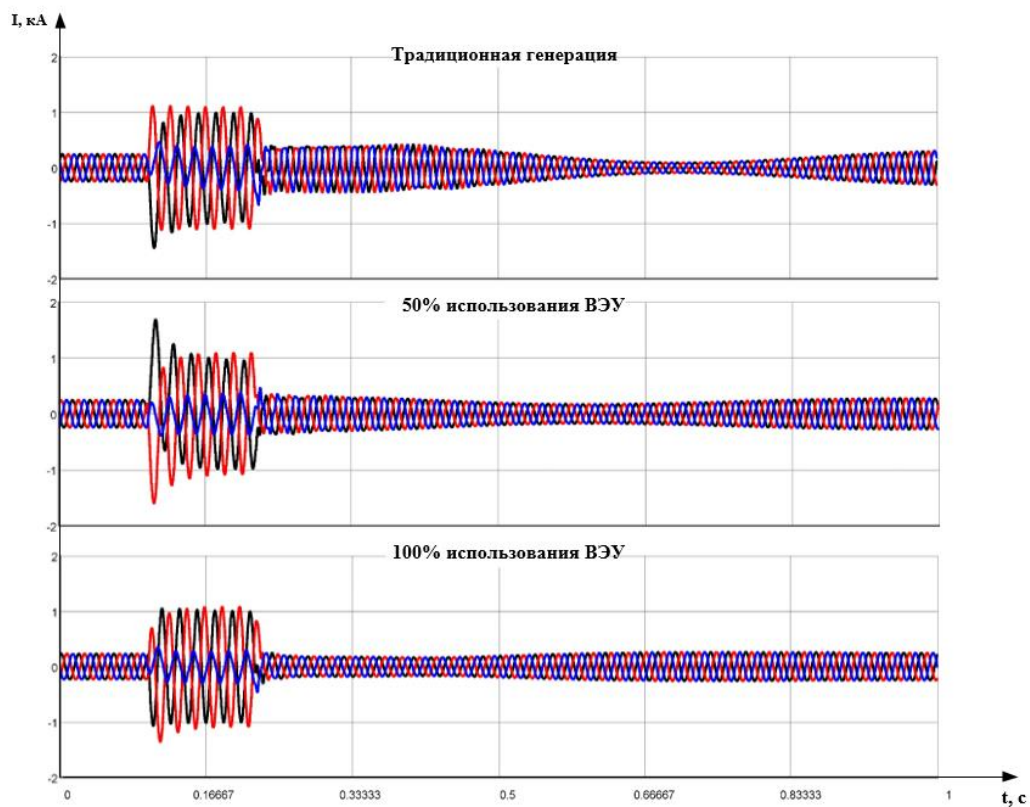


Рисунок А.5 – Осциллограммы фазных токов в линии 500 кВ при междуфазном КЗ

Режим трехфазного КЗ на шинах ГРЭС 110 кВ

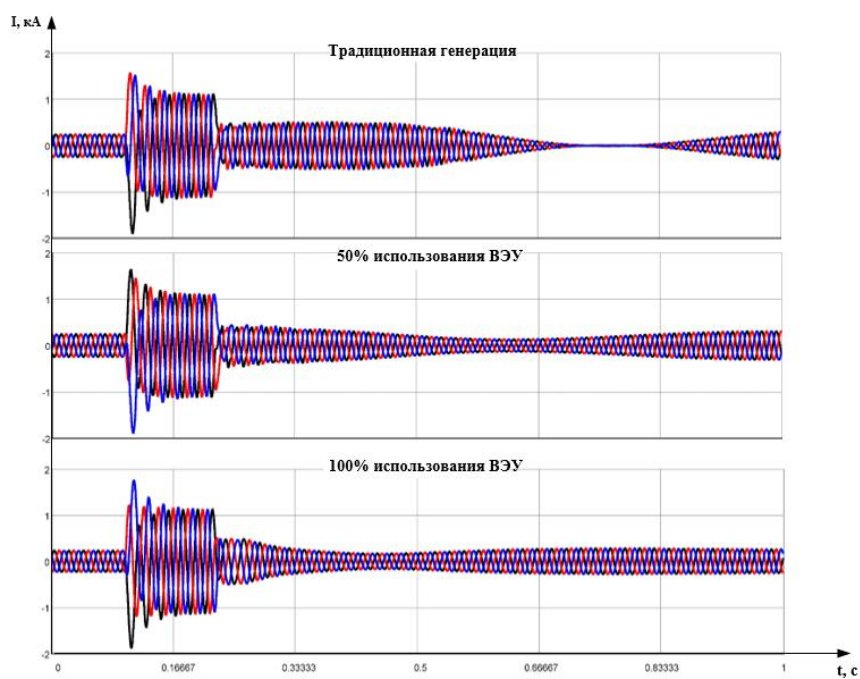


Рисунок А.6 – Осциллограммы фазных токов в линии 500 кВ при трехфазном КЗ

**Приложение Б. Короткое замыкание на СШ ПС 1 500 кВ
(удаленное КЗ относительно шины подключения ВЭС)**

Режим однофазного КЗ на шинах ПС1 500 кВ

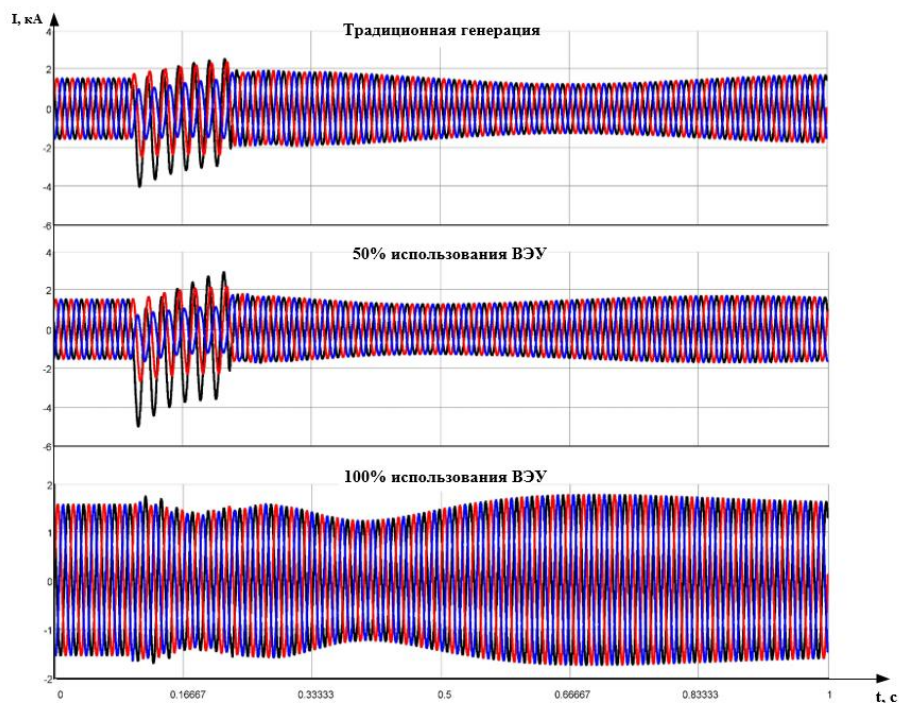


Рисунок Б.1 – Осциллограммы фазных токов в линии 110 кВ при однофазном КЗ

Режим двухфазного КЗ на шинах ПС1 500 кВ

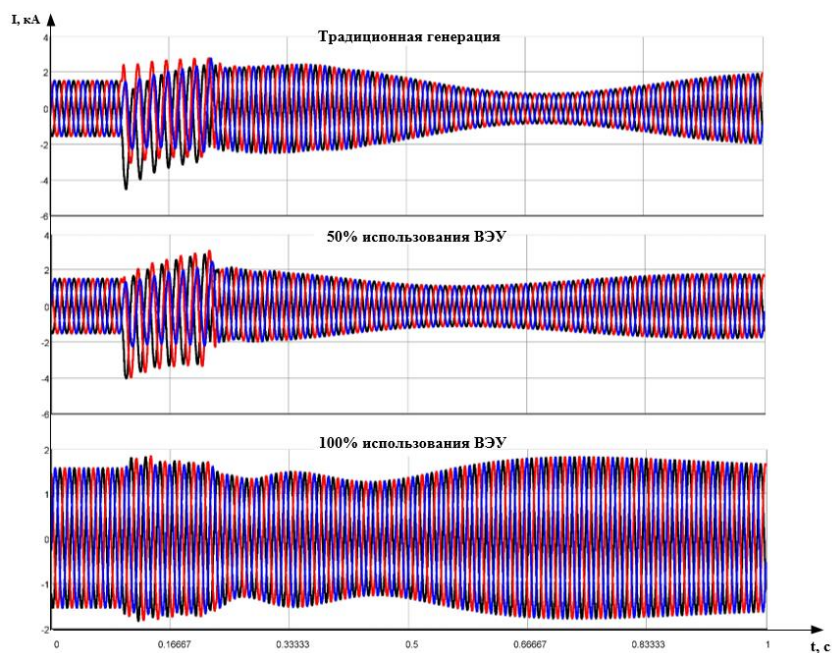


Рисунок Б.2 – Осциллограммы фазных токов в линии 110 кВ при двухфазном КЗ

Режим трехфазного КЗ на шинах ПС1 500 кВ

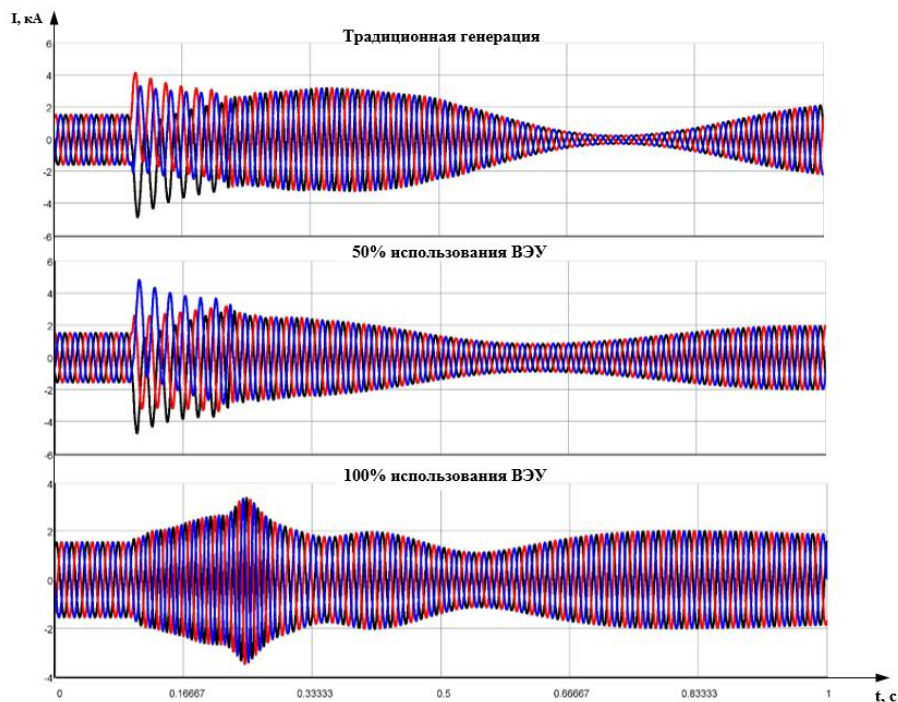


Рисунок Б.3 – Осциллограммы фазных токов в линии 110 кВ при трехфазном КЗ

Короткое замыкание на шинах ПС1 500 кВ (контроль значений токов в ВЛ 500кВ)

Режим однофазного КЗ на шинах ПС1 500 кВ

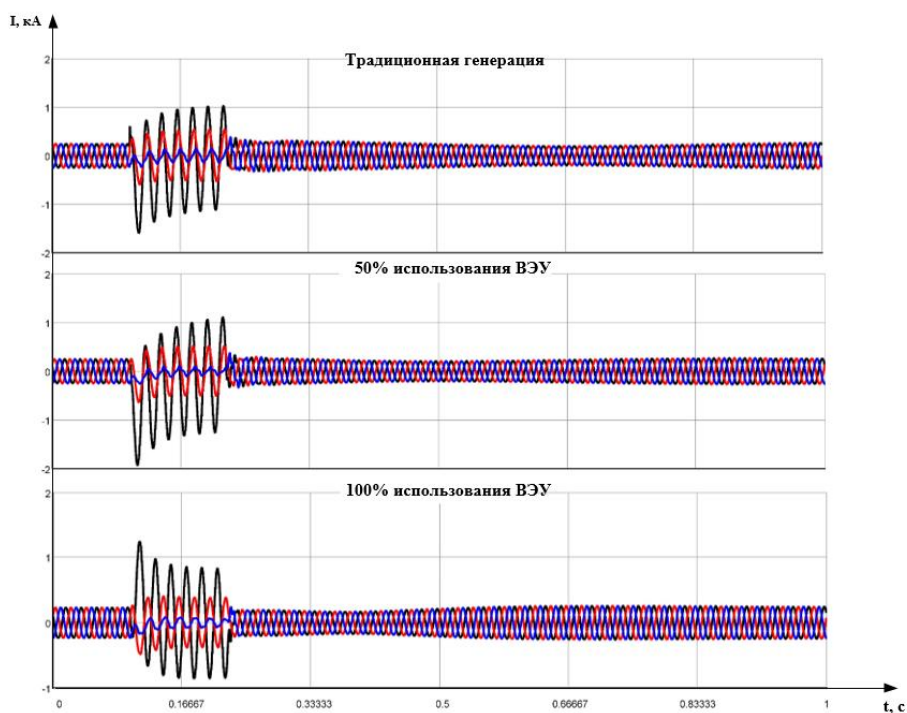


Рисунок Б.4 – Осциллограммы фазных токов в линии 500 кВ при однофазном КЗ

Режим междуфазного КЗ на шинах ПС1 500 кВ

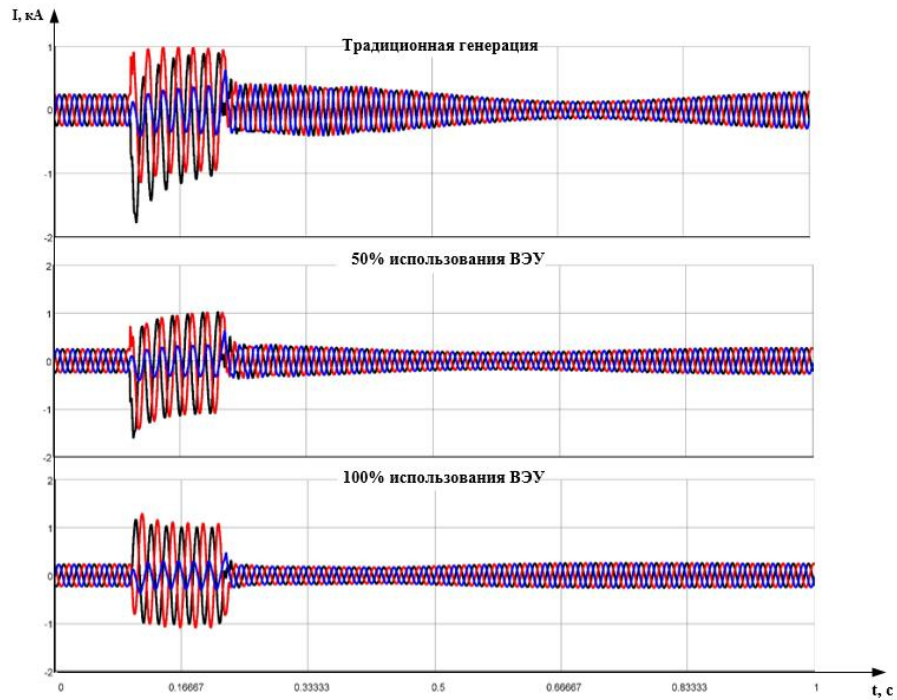


Рисунок Б.5 – Осциллограммы фазных токов в линии 500 кВ при междуфазном КЗ

Режим трехфазного КЗ на шинах ПС1 500 кВ

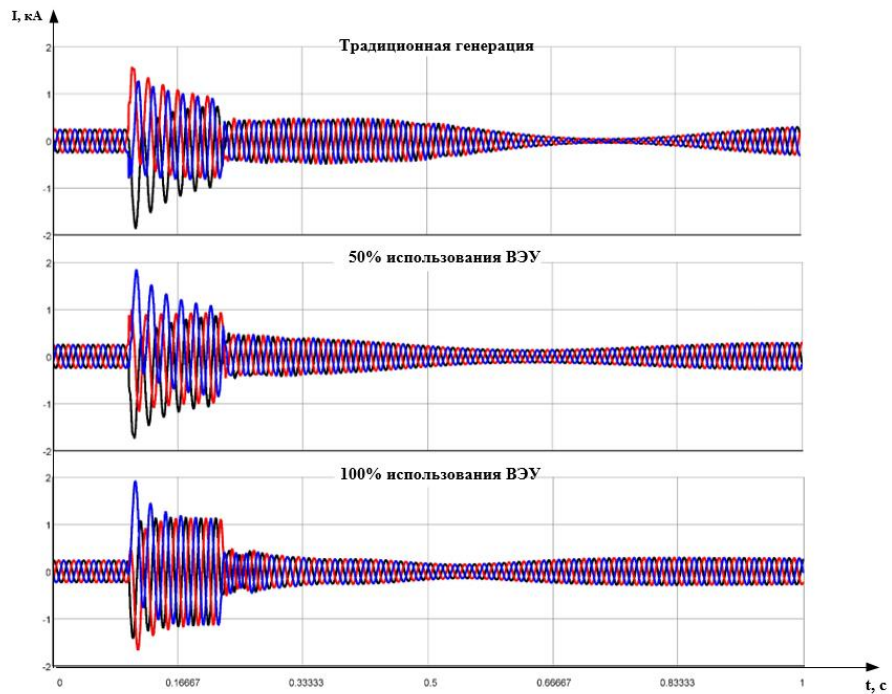


Рисунок Б.6 – Осциллограммы фазных токов в линии 500 кВ при трехфазном КЗ

