

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» – подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС

УДК 621.316.925.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А6А1	Бриль Евгений Валерьевич		

Руководитель ВКР/ консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рубан Николай Юрьевич	к.т.н.		
ассистент	Бай Юлий Дмитриевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.003, Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.003, Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
Р12	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.003, Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций

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

« ____ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А6А1	Бриль Евгений Валерьевич

Тема работы:

Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» – подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	17.02.2021 №48-22/с
---	----------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является линия электропередачи 220кВ подстанция «Тюмень» – подстанция «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы. Цель работы – определение типов защиты от короткого замыкания необходимых для бесперебойной работы линий электропередач.</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,</i></p>	<p>В работе проводились расчеты и учитывались всевозможные аварийные ситуации, для расчета и успешного действия устройств противоаварийной автоматики при эксплуатации электроэнергетической системы. В результате определены защиты, которые будут применяться на объекте исследования: в качестве основной защиты от междуфазных коротких замыканий выбрана дистанционная ступенчатая</p>

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	защита, от замыканий на землю - токовая ступенчатая защита нулевой последовательности, резервная - токовая ступенчатая защита Результаты данной работы позволят обеспечить бесперебойную работу линий электропередач на выбранном объекте с учетом местных характеристик исследуемого объекта.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Принципиальная схема электрических соединений рассматриваемого района Схема подключения цепей переменного тока и напряжения ШЭ 2607 016
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рубан Николай Юрьевич	к.т.н.		17.02.2021
Ассистент	Бай Юлий Дмитриевич			17.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А6А1	Бриль Евгений Валерьевич		17.02.2021

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	-------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.21	Характеристика защищаемого объекта	10
15.03.21	Аналитический обзор	10
01.04.21	Расчет параметров дистанционной релейной защиты	20
01.05.21	Расчет параметров токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности	20
26.05.21	Расчет параметров мгновенной токовой отсечкой	20
27.04.21	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.05.21	Социальная ответственность	10
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рубан Николай Юрьевич	к.т.н.		17.02.2021

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Бай Юлий Дмитриевич	—		17.02.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		17.02.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 78 с., 8 рис., 19 табл., 18 источников, 2 прил.

Ключевые слова: установившийся режим релейная защита, уставка, чувствительность, микропроцессорный терминал, линия электропередачи

Объектом исследования являются релейная защита и автоматика линии электропередачи 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы.

Цель работы – Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы.

В процессе исследования проводились анализ защищаемого объекта, обоснование и выбор видов и состава релейной защиты, аппаратной реализации релейной защиты линии электропередачи, расчет уставок и чувствительности релейной защиты линии электропередачи.

В результате исследования обоснованы и выбраны виды и состав релейной защиты, аппаратная реализация релейной защиты линии электропередачи, рассчитаны уставки и чувствительности релейной защиты линии электропередачи.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

1) технические данные и характеристики шкафа ШЭ2607- 016

- Предназначен для резервной или единственной защиты линии электропередачи напряжением 110–220 кВ.
- Содержит один комплект, реализующий функции ДЗ, ТНЗНП, ТО, МТЗ, АРПТ, АУВ, АПВ и УРОВ.
- номинальный переменный ток $I_{ном}$ 5 А
- номинальное междуфазное напряжение переменного тока $U_{ном}$ 100 В
- номинальное напряжение оперативного постоянного или выпрямленного тока $U_{пит}$, 220 В
- номинальная частота $f_{ном}$, 50 Гц.

Степень внедрения:

1) Рассчитанные уставки могут использоваться проектными или энергетическими компаниями для обеспечения защиты линии электропередач 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы;

2) Шкаф ШЭ2607- 016 широко применяется для обеспечения релейной защиты и автоматики линии электропередачи напряжением 110–220 кВ.

Область применения:

1) Рассчитанные уставки шкафа ШЭ2607- 016 могут использоваться проектными или энергетическими компаниями для обеспечения защиты

линии электропередач 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы.

2) Экономическая эффективность/значимость работы обеспечение надежной и бесперебойной работы линии электропередач 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы.

В будущем планируется рекомендовать проективным или энергетическим компаниями рассчитанные уставки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ЭЭС - электроэнергетические системы;

РЗА - релейной защиты и автоматики;

АРМ СРЗА – программный комплекс для расчетов электрических величин при повреждениях сети и уставок релейной защиты;

КЗ – короткое замыкание;

УРОВ - устройство резервирования при отказе выключателя;

АПВ - автоматическое повторное включение;

ТТ – трансформатор тока;

ТН – трансформатор напряжения;

ТО – токовая отсечка

ТЗНП - токовая защита нулевой последовательности

ДЗ – дистанционная защита;

БНН - блокировки при неисправностях в цепях переменного напряжения;

Оглавление

Введение.....	11
1. Описание района энергосистемы	13
2. Выбор и обоснование видов и состава РЗ	14
3. Выбор аппаратной реализации РЗ линии электропередачи	16
3.1. Дистанционная защита линии.	16
3.2. Междугазная отсечка.....	17
3.3. Токовая защита нулевой последовательности.	18
4. Выбор измерительных трансформаторов	22
5. Расчет уставок и чувствительности релейной защиты линии электропередачи	25
5.1. Дистанционная защита линии.	25
5.2. Междугазная токовая отсечка.....	36
5.3. Токовая защита нулевой последовательности	37
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	45
7. Социальная ответственность.....	63
Заключение	75
Список литературы	76
Приложение А	77
Приложение Б.....	78

Введение

Современные ЭЭС являются сложными многопараметрическими динамическими системами, все элементы которых жестко связаны между собой общими режимами работы, а также методами и средствами их реализации. Существующие тенденции развития ЭЭС ведут к их дальнейшему усложнению и насыщению средствами централизованной автоматики релейной защиты, что еще более усиливает жесткость взаимодействий. В частности создаются и вводятся в эксплуатацию новые защиты для линий электропередач, для крупных генераторов, трансформаторов и энергоблоков. От надежности их защиты зависит бесперебойное электроснабжение потребителей. В этом большую роль играет релейная защита, которая является основным видом автоматики, без которой невозможна надежная работа современных электрических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов

В настоящее время в электроустановках используются устройства РЗА трех видов, которые отражают три поколения развития аппаратуры РЗА: электромеханические устройства, микроэлектронные и микропроцессорные. Наиболее современным является последний вид. Так как идет процесс по внедрению микропроцессорных устройств в электроустановках, с каждым разом публикуется достаточное количество учебных материалов, при проектировании РЗА необходимо обращаться как к современным и перспективным микропроцессорным устройствам.

Устройства РЗА в совокупности представляют собой сложную многоступенчатую систему, предназначенную для бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии и сохранения устойчивой работы синхронных генераторов. Однако выполнить свою задачу эти устройства могут лишь в случае, если они отвечают комплексу требований, изложенных в нормативных материалах. Соответствие реальных РЗА этим требованиям обеспечивается, в основном, на стадии проектирования, которое при правильной его организации обязательно должно быть комплексным.

В данной работе поставлена задача выбора и расчет уставок релейной защиты воздушной линии электропередач 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы.

Для выполнения поставленной задачи использовался вычислительный расчетный комплекс «АРМ СРЗА» (ПК «БРИЗ», г.Новосибирск), который принят в промышленную эксплуатацию в качестве основного программного

средства в ЦДУ ЕЭС, ОДУ Востока, ОДУ Сибири, ОДУ Урала, ОДУ Средней Волги, ОДУ Центра, ОДУ Северного Кавказа, ОДУ Северозапада, всеми РДУ этих ОДУ. АРМ СРЗА передан в эксплуатацию во все МЭС Федеральной сетевой компании, а также в энергетические компании Белоруссии, Казахстана, Латвии, Литвы, Монголии.

АРМ СРЗА позволяет:

- Строить математическую модель электрической сети с неограниченным объемом узлов и связей, как в графическом, так и в табличном виде. Экспортировать графическое изображение сети в формат CorelDRAW, AutoCAD. Производить экспорт/импорт электрической части модели сети (ветви и её параметры) в формат программы Excel.
- Производить расчеты электрических величин в сети неограниченного объема, при повреждениях любой сложности, с учетом групп ветвей взаимоиндукции, активной составляющей сопротивлений, отличия величины сопротивлений прямой и обратной последовательностей и фактических групп соединения обмоток трансформаторов в трехфазной симметричной сети любого напряжения. Получать выходные документы в формате Word и Excel.
- Производить расчет уставок микропроцессорных защит, токовых ступенчатых защит от замыканий на землю, дистанционных защит типа ЭПЗ-1636, ДЗ-503, ПЗ-5, ПДЭ-2001, ШДЭ-2801, БРЭ-2801, токовых защит от междуфазных К.З., микропроцессорных дистанционных защит НПП «ЭКРА», SIEMENS, ALSTOM. Получать выходные документы в формате пакета Word, производить экспорт релейного фонда в формат программы Excel.
- Получать новую сеть на базе эквивалента сети. Производить расчет параметров производной схемы замещения (шунтов) для повреждений любой сложности, с учетом параметров взаимоиндукции ветвей нулевой последовательности.
- Производить расчеты по определению места повреждения сети:
 - расчет таблиц для определения мест повреждений сети;
 - расчет места повреждения сети (ОМП) по показаниям приборов.

1. Описание района энергосистемы

Объект: релейная защита линии электропередач 220 кВ подстанции «Тюмень» – подстанции «Тавда» Тюменской электроэнергетической системы (ЭЭС), которая состоит из трех параллельных линий.

Для формирования расчётных схем будем использовать схему Тюменской ЭЭС, которая фактически является схемой электрических соединений для нормального оперативного режима.

Район для проектирования РЗА должен содержать кроме заданных линий также два уровня периферий из предыдущих элементов в направлении действия комплектов РЗА по концам заданной линии и два уровня периферий: одного - из смежных элементов, а другого - из предыдущих относительно смежных элементов в основном направлении (т.е. в направлении сети) действия резервных защит каждой из сторон заданного трансформатора или автотрансформатора, энергоблока.

Объекты первой периферии для первого комплекта (на ПС Тавда):

- АТ ПС Тавда;

Объекты первой периферии для второго комплекта (на ПС Тавда):

- - АТ ПС Тюмень;

- линия ПС Тюмень – Тюменская ТЭЦ-2 №1 (АС 240/32, l=3 км);

- линия ПС Тюмень – Тюменская ТЭЦ-2 №2 (АС 240/32, l=3 км);

Выбранный таким путем район (Приложение А) представляет собой в ряде случаев весьма обширную схему, однако волевое сокращение ее, хотя и упрощает, но не облегчает в последующем задачу проектирования РЗА.

Для выбранного района расчетной схемы составляется совмещенная схема замещения прямой, обратной и нулевой последовательности (Приложение Б) для расчетов вынужденных синусоидальных электрических величин при повреждениях в сверхпереходный период и при необходимости в установившемся режиме КЗ.

2. Выбор и обоснование видов и состава РЗ

Согласно [1, 2, 3] на линиях с двухсторонним питанием должны устанавливаться две независимые защиты от всех видов повреждения: быстродействующая защита с абсолютной селективностью и комплект ступенчатых защит (резервные).

Согласно [4, 5, 6, 7] в качестве основной защиты приняты:

- 1) Дистанционная защита от междуфазных коротких замыканий;
- 2) ТЗНП (токовая защита нулевой последовательности) от замыканий на землю;
- 3) МФТО (междуфазная токовая отсечка) для резервирования работы дистанционной защиты (в «мертвой» зоне, при близких коротких замыканиях).

Сети напряжением 110-220кВ работают в режиме с эффективно или глухозаземленной нейтралью. Поэтому замыкание на землю в таких сетях является коротким замыканием с током, иногда превышающим ток трехфазного КЗ, и подлежит отключению с минимально возможной выдержкой времени.

Задержка в отключении КЗ может привести к нарушению устойчивости параллельной работы электростанций, из-за длительной посадки напряжения может остановиться оборудование и нарушиться технологический процесс производства, могут произойти дополнительные повреждения линии, на которой возникло короткое замыкание. Поэтому, на таких линиях очень часто применяются защиты, которые отключают короткие замыкания в любой точке без выдержки времени. Это могут быть дифференциальные защиты [8], установленные по концам линии и связанные высокочастотным, проводниковым или оптическим каналом. Это могут быть обычные защиты, ускоряемые при получении разрешающего, или снятия блокирующего сигнала с противоположной стороны. Токовые и дистанционные защиты, как правило, выполняются ступенчатыми. Количество ступеней не менее 3, в ряде случаев бывает необходимо 4, или даже 5 ступеней. Во многих случаях, все требуемые защиты можно выполнить на базе одного устройства. Однако, выход из строя этого одного устройства оставляет оборудование без защиты, что недопустимо. Поэтому защиты линий высокого напряжения целесообразно выполнять из 2 комплектов. Вторым комплектом является резервным и может быть упрощен по сравнению с основным: не иметь АПВ, иметь меньшее количество ступеней и т.д. Вторым комплект должен питаться от другого автомата оперативного тока и комплекта трансформаторов тока. По возможности, резервный комплект может питаться от другой аккумуляторной батареи и трансформатора напряжения,

действовать на отдельный соленоид отключения выключателя. Устройства защиты высоковольтных линий должны учитывать возможность отказа выключателя и иметь УРОВ, либо встроенное в само устройство, либо организованное отдельно.

Для анализа аварии и работы релейной защиты и автоматики требуется регистрация как аналоговых величин, так и дискретных сигналов при аварийных событиях.

Таким образом, для высоковольтных линий комплекты защиты и автоматики должны выполнять следующие функции:

- Защиту от междуфазных коротких замыканий и коротких замыканий на землю.
- Пофазное или трехфазное АПВ.
- Защиту от перегрузки.
- УРОВ.
- Определение места повреждения.
- Осциллографирование токов и напряжений, а также регистрация дискретных сигналов защиты и автоматики.
- Устройства защиты должны резервироваться или дублироваться.

Для линий, имеющих выключатели с пофазным управлением, необходимо иметь защиту от неполнофазного режима, действующую на отключение своего и смежных выключателей, так как длительный неполнофазный режим в сетях не допускается.

3. Выбор аппаратной реализации РЗ линии электропередачи

3.1. Дистанционная защита линии.

Трехступенчатая дистанционная защита типа ШЭ2607-016 [9] предназначена для применения от всех видов междуфазных КЗ с устройством блокировки при качаниях и неисправностях в цепях переменного напряжения. Основным органом всякой дистанционной защиты является реле сопротивления, которое, измеряя сопротивление линии до места к. з., определяет, на каком участке произошло повреждение и совместно с другими органами защиты обеспечивает ее действие с необходимой выдержкой времени.

Так, при к. з. на защищаемой линии по ней проходит к месту к. з. ток $I_{КЗ}$, а напряжение U_M на шинах подстанции будет равно падению напряжения в сопротивлении участка линии $Z_{КЗ}$. от шин подстанции до точки к.з.:

$$U_M = I_{КЗ} \cdot Z_{КЗ}$$

Нетрудно видеть, что отношение остаточного напряжения на шинах к $I_{КЗ}$, проходящему по защищаемой линии, равно сопротивлению участка линии до места к. з.: $Z_{КЗ} = U_M / I_{КЗ}$

Дистанционная защита выполняется по ступенчатому принципу. Как правило, регулировка дистанционной защиты выполняется следующим образом:

- 1-я зона защиты без выдержки времени защищает только часть линии (примерно 85%) считая от места установки защиты. Большой охват линии недопустим, так как из-за погрешностей трансформаторов тока, трансформаторов напряжения и самого реле сопротивления защита может сработать при к. з. на смежной линии. Сопротивление срабатывания реле сопротивления первой зоны определяется из условия отстройки от к. з. на шинах противоположной подстанции по формуле:

$Z_{1C.з.} = k_H \cdot Z_L$, где $Z_{1C.з.}$ — первичное сопротивление срабатывания первой зоны дистанционной защиты; Z_L — сопротивление защищаемой линии; k_H — коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле сопротивления, трансформаторов тока и напряжения, а также погрешности расчета. Принимается равным 0,8—0,85.

Первая зона защиты выполняется без выдержки времени, т. е. $t_1 = 0$.

- 2-я зона охватывает конец защищаемой линии, шину подстанции и часть смежной линии. Сопротивление срабатывания реле сопротивления второй зоны определяется из следующих условий:

1). Согласование с первыми ступенями дистанционных защит смежных линий:

$$Z_{2C.з.} = k_H (Z_L + k'_H \cdot k_P \cdot Z'_{1C.з.}),$$

где $Z_{2C.3}$ — первичное сопротивление срабатывания второй зоны дистанционной защиты защищаемой линии;

Z_L — сопротивление защищаемой линии;

k_H — коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешность реле сопротивления, трансформаторов тока и напряжения, а также погрешность расчетов уставок защиты смежной линии, принимается равным 0,7—0,8;

$Z_{1C.3}$ — сопротивление срабатывания первой зоны дистанционной защиты смежной линии;

k_P — коэффициент распределения, равный: $k_P = I_{K32} / I_{K31}$, где I_{K32} и I_{K31} — токи к. з., проходящие по защищаемой и смежной линиям при к. з. в конце смежной линии.

2). Отстройка от К.З. за трансформаторами приемной подстанции или трансформаторами отпайки по формуле: $Z_{2C.3} = k_H(Z_L + k_P \cdot Z_T)$, где Z_T — сопротивление трансформаторов.

Из двух рассчитанных сопротивлений выбираем меньшее.

Выдержка времени второй ступени принимается на ступень селективности больше выдержки времени тех защит, от которых производилась отстройка сопротивления срабатывания второй зоны: $t_2 = t_1 + \Delta t$

- 3-я ступень. Третья зона охватывает смежную линию для резервирования при отказе ее защиты или выключателя.

Сопротивление срабатывания пусковых органов определяется из условия отстройки от максимального тока нагрузки и минимального эксплуатационного напряжения на шинах подстанции по формуле для направленного реле сопротивления:

$$Z_{3C.3} = \frac{U_{MIN}}{\sqrt{3} \cdot I_{H.MAX} \cdot k_H \cdot k_B \cdot \cos(\delta - \varphi_P)}, \quad \text{где} \quad I_{H.MAX} = 0,8 I_{ДОП}$$

максимальный ток нагрузки, который может проходить по защищаемой линии;

$U_{MIN} = 0,9 \cdot U_{НОМ}$ — минимальное эксплуатационное напряжение на шинах подстанции, когда по линии проходит максимальный ток нагрузки; δ — угол максимальной чувствительности реле сопротивления; φ_P — угол между $I_{H.MAX}$ и U_{MIN} ; k_H — коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,2—1,25; k_B — коэффициент возврата реле сопротивления.

Выдержка времени третьей ступени: $t_3 = t_2 + \Delta t$

3.2. Междугазная отсечка.

Шкаф ШЭ2706-016 [9] содержит токовую отсечку от многофазных КЗ. Назначение ТО традиционно для отечественных защит линий высокого напряжения — это дополнительная защита на случай нечеткой работы дистанционной защиты при замыканиях в начале защищаемой линии.

3.3. Токовая защита нулевой последовательности.

В схеме четырехступенчатой токовой защиты нулевой последовательности – для линий 110-500 кВ [10], имеющих питание с двух и более сторон, все ступени, кроме последней, являются токовыми отсечками и предназначены в основном для действия при замыканиях на землю в пределах защищаемой линии и на шинах противоположной подстанции. Последняя ступень предназначена в основном для осуществления резервирования при замыканиях на землю на предыдущей линии. ТЗНП использует факт появления в токах и напряжениях составляющих нулевой последовательности и применяется для защиты от КЗ на землю. Токовая защита нулевой последовательности выполнена с использованием реле тока, включаемых в нулевой провод токовых цепей (фильтр тока нулевой последовательности).

Для обеспечения селективности действия защиты смежных ВЛ время действия защит выполняют в зависимости от расстояния до места КЗ: чем меньше ток срабатывания, то есть чем дальше КЗ, тем дольше время срабатывания.

І ступень.

Ток срабатывания первой ступени защиты при выполнении ее без выдержки времени выбирается по условиям отстройки от утроенного тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты:

а) При замыкании на землю на шинах противоположной подстанции при отключенной и заземленной на обоих концах параллельной линии;

б) При каскадном отключении замыкания на землю одной фазы на параллельной линии вблизи шин подстанции, на которой установлена защита.

Ток срабатывания первой ступени защиты определяется по выражению.

$I_{0c.з.} \geq k_{отс} \cdot 3I_0$, где $3I_0$ – максимальное значение периодической составляющей утроенного начального тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при замыкании на землю на шинах противоположной подстанции; $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета, влияние апериодической составляющей и необходимый запас. Принимаем $k_{отс} = 1.3$.

Выбранная защита должна удовлетворять требованиям чувствительности при металлических замыканиях на землю в расчетном режиме.

Чувствительность защиты должна проверяться при замыкании на землю одной фазы. Однако в ряде случаев должна также проверяться чувствительность защиты и при замыкании на землю двух фаз. Это необходимо, если при замыкании на землю двух фаз защита от многофазных замыканий оказывается нечувствительной, например при КЗ в зоне резервирования, или возможно значительное ее замедление, например при переходе замыкания одной фазы в замыкание двух фаз на землю, если не предусмотрено действие второй ступени дистанционной защиты без блокировки при качаниях; обеспечение чувствительности защиты при замыкании на землю двух фаз в последнем случае может предотвратить замедление отключения КЗ.

Коэффициент чувствительности реле тока защиты определяется по выражению $k_q = 3I_{0min} / I_{0c.з.}$

где $3I_{0\min}$ – минимальное значение периодической составляющей утроенного начального тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при расчетном виде замыкания на землю в расчетном режиме;

$I_{0\text{с.з.}}$ – первичный ток срабатывания соответствующей ступени защиты.

Для токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности должны обеспечиваться следующие минимальные значения коэффициента чувствительности для реле тока:

а) при замыкании на землю в конце защищаемой линии без учета резервного действия – около 1.5, а при наличии надежно действующей резервной ступени – около 1.3; при наличии на противоположной подстанции отдельной защиты шин допускается обеспечивать коэффициент чувствительности в режиме каскадного отключения около 1.5;

б) при замыкании на землю на шинах противоположной подстанции – около 1.5;

в) при замыкании на землю в конце зоны резервирования в режиме каскадного отключения повреждения для последней ступени защиты – не менее 1.2.

Следует учитывать, что при замыкании на землю по пункту «а» в случае использования рассматриваемой защиты в качестве основной, а также при замыкании на землю по пункту «б» в случаях, когда специальная защита шин не предусматривается, выдержка времени защиты, как правило, не должна превышать 1.5 с.

II ступень.

Ток срабатывания второй ступени защиты (отсечки с выдержкой времени) выбирается по условиям:

а) отстройки от утроенного тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при замыкании на землю за предыдущим автотрансформатором на стороне его смежного (среднего) напряжения (примыкающей к сети с глухозаземленной нейтралью);

б) согласования с первой ступенью защиты предыдущей линии или защиты от замыканий на землю предыдущего автотрансформатора установленной на стороне смежного напряжения (последнее производится вместо условия «а» в случае, если это необходимо для повышения чувствительности защиты);

в) отстройки от утроенного тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты в неполнофазном режиме, возникающем в цикле ОАПВ на защищаемой или предыдущей линии, а также в длительном неполнофазном режиме на предыдущей линии.

В целях повышения чувствительности может оказаться целесообразным согласовывать вторую ступень не с первой (по п. «б»), а со второй ступенью защиты предыдущей линии.

Выдержка времени второй ступени защиты должна быть согласована с выдержками времени ступеней защит предыдущих элементов, с которыми производится согласование.

III ступень.

Ток срабатывания третьей ступени (отсечки с выдержкой времени) выбирается по условиям:

а) согласование с защитой предыдущей линии (со второй или третьей ее ступенью; последнее в случае, если при согласовании со второй ступенью защиты предыдущей линии рассматриваемая третья ступень не удовлетворяет требованиям чувствительности) или защитой от замыканий на землю предыдущего автотрансформатора, установленной на стороне смежного напряжения (с первой ее ступенью, если вторая ступень рассматриваемой защиты отстроена от замыкания на землю на шинах этого напряжения, или со второй ее ступенью, если вторая ступень рассматриваемой защиты согласована с первой ступенью защиты автотрансформатора);

б) согласование с первой или второй ступенью СТЗНП автотрансформатора со стороны его среднего напряжения расположенного на противоположном конце линии.

Выдержка времени третьей ступени защиты должна быть согласована с выдержками времени соответствующих ступеней защит предыдущих элементов.

IV ступень.

Ток срабатывания четвертой ступени должен быть отстроен от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при внешних замыканиях между фазами, если рассматриваемая ступень защиты нулевой последовательности имеет выдержку времени, равную или меньшую, чем защита от замыканий между фазами на поврежденном элементе. Как правило, указанное соответствует условию отстройки от токов небаланса при КЗ между тремя фазами за трансформаторами и на стороне низшего напряжения автотрансформаторов подстанции данного и противоположного концов линии.

Ток срабатывания защиты, выбираемый по рассматриваемому условию, определяется по выражению:

$$I_{0\text{с.з.}} = K_{отс} \cdot K_{пер} \cdot I_{0нб,y}, \quad \text{где } I_{0нб,y} - \text{ток небаланса в нулевом проводе}$$

трансформаторов тока в установившемся режиме при рассматриваемых внешних КЗ между тремя фазами;

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета и необходимый запас, принимается равным 1.25;

$K_{пер}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается равным:

2 – при выдержке времени рассматриваемой ступени до 0.1 сек.;

1.5-при выдержке времени до 0.3 с;

1-при выдержке времени выше 0.5-0.6 с.

Ток небаланса может быть приближенно определен по выражению

$$I_{0нб,y} = K_{нб} \cdot I_{расч}, \quad \text{где } I_{расч} - \text{максимальное значение фазного тока,}$$

проходящего в месте установки рассматриваемой защиты при внешнем КЗ между тремя фазами;

$K_{нб}$ – коэффициент небаланса.

Коэффициент небаланса принимается в зависимости от кратности $I_{расч}$:

а) при небольших кратностях, до $(2-3)I_{ном}$, $k_{нб} = 0.05$;

б) при больших кратностях, но не превосходящих $(0.7-0.8) I_{к10}$ ($I_{к10}$ – предельная кратность первичного тока трансформаторов тока при 10%-ной погрешности), $k_{нб} = 0.05-0.1$;

в) при кратностях, больших $(0.7-0.8) I_{к10}$ проводится специальный расчет.

Уставка IV ступени СТЗНП выбирается из условия:

а) отстройки от суммарного тока небаланса ФНП в максимальном рабочем режиме.

б) отстройки от суммарного тока небаланса ФНП при 3х-фазном КЗ за треугольниками автотрансформаторов с обеих сторон линии.

4. Выбор измерительных трансформаторов.

Трансформатор тока предназначен для преобразования первичного тока до значения, наиболее удобных для измерительных приборов и реле (1 и 5А), для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения [1, 4].

При трансформации тока ТТ имеют погрешность в следствии:

-конструктивных особенностей (сечение магнитопровода, магнитной проницаемости, средней длины магнитного пути)

-вторичной нагрузки (сопротивлений приборов, проводов, контактов), кратности первичного тока по отношению к номинальному. Увеличение этих параметров увеличивает погрешность.

Нормальная работа ТТ осуществляется в режиме близкому к КЗ, когда нагрузка имеет малое сопротивление. В режиме ХХ: магнитопровод за счет увеличения магнитного потока будет нагреваться, а на вторичной разомкнутой обмотке появится высокое напряжение.

Выбор ТТ:

-По напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

-По току:

$$I_{норм} \leq I_{1ном} ; I_{max} \leq I_{1ном}$$

Учитываем следующее:

1) по исходным данным для рассматриваемой линии 220кВ применяется провод АС240/32 для которого допустимый ток составляет 610 А.

На этом этапе выберем трансформатор тока типа ТФЗМ 220Б.

-По классу точности: для релейной защиты достаточным является класс точности 10.

- По электродинамической стойкости:

$$i_y \leq i_{дин}$$
$$6,5 \leq 50$$

i_y – ударный ток КЗ; $i_{дин}$ - ток электродинамической стойкости.

$$i_y = k_y \sqrt{2} I_{п,0} = 1,717 * \sqrt{2} * 2655 = 6,5кА$$

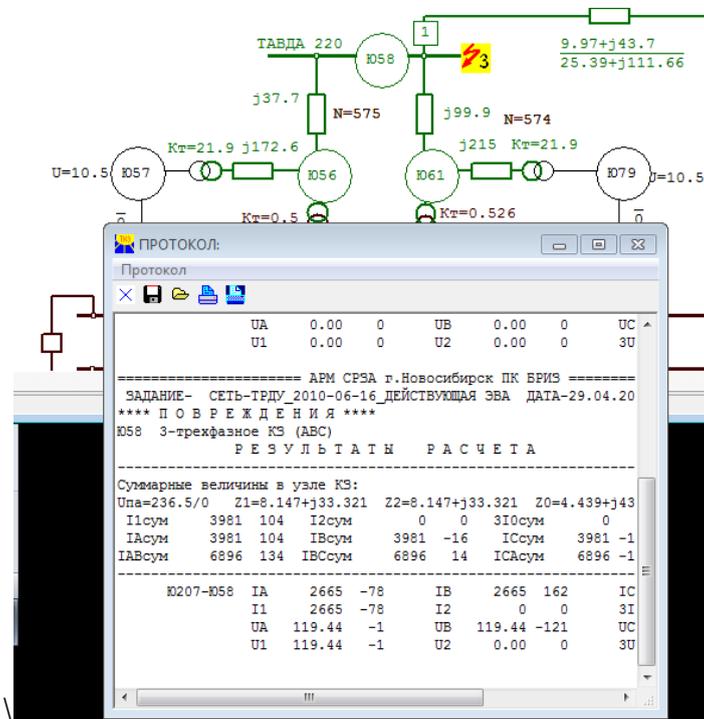


Рисунок 3.1. Протокол расчета

-По вторичной нагрузке:

$$Z_{2ном} \geq R_{приб} + R_k + R_{пров}$$

$$2 \geq 0,56 + 0,1 + 0,54$$

$R_{приб}$ - сопротивление приборов,

$R_{приб} = S_{приб}/I_2 = 14/25 = 0,56$ Ом, где $S_{приб}$ – мощность приборов.

$R_k = 0,1$ - сопротивление контактов;

$R_{пров} = 0,54$ Ом - сопротивление проводов, при сечении проводов 4 мм^2

Соответственно, выбранный ТФЗМ 220Б удовлетворяет условиям.

Трансформатор напряжения.

Предназначены для понижения высокого напряжения до стандартного значения $(100; 100/\sqrt{3})$ и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения [1, 4].

ТН работает в режиме близкому к ХХ, так как сопротивление парцельных катушек и реле большое, а ток, потребляемый ими, невелик.

Погрешность коэффициентов трансформации связаны:

-рассеяние магнитного потока и потери в сердечнике

-вектор напряжения относительно вектора первичного напряжения сдвинут не точно на 180° . – угловая погрешность.

-конструкции магнитопровода, магнитной проницаемости стали и коэффициента мощности вторичной нагрузки.

Выбор ТН:

-По напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

На этом этапе выберем трансформатор тока типа НКФ-220-58.

-классу точности: для релейной защиты достаточным является класс точности 3.

-по вторичной нагрузке $S_2 \leq S_{2ном}$, где $S_{2ном}$ - номинальная мощность в выбранном классе точности (1200 ВА).

S_2 – суммарная мощность приборов, подключаемы к трансформатору напряжения (вольтметр с переключением для измерения трех междуфазных напряжений (10*3 ВА) и регистрирующий вольтметр (2*3 ВА), ваттметр регистрирующий (10*3 ВА), варметр (1,5*3 ВА), датчик активной мощности (10*3 ВА), датчик реактивной мощности (10*3 ВА)).

$$S_2 = 10 * 3 + 2 * 3 + 10 * 3 + 1,5 * 3 + 10 * 3 + 10 * 3 = 130,5 \text{ ВА}$$

Соответственно, выбранный НКФ-220-58.удовлетворяет условиям.

5. Расчет уставок и чувствительности релейной защиты линии электропередачи

С помощью программного комплекса АРМ СРЗА рассчитаем уставки и чувствительности релейной защиты линии электропередачи. Особенностью расчета является то, что и при отстройке и при согласовании второй ступени параллельная линия должна быть отключена, так как для расчета уставки второй ступени нужно обеспечить максимальный ток в защите.

5.1. Дистанционная защита линии.

5.1.1. Расчет первого комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень

5.1.1.1. Расчет первой ступени линии.

Расчет ведется при КЗ в конце противоположной от первого комплекта ПС, при этом параллельные линии остаются включенными.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

ПС ТАВДА 220

Защита 8481

Тип ШЭ2607

Ступень 1

Ветвь Ю58-Ю207

КТТ 600/5

Узел

КТН 2200 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезжим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	37.0	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ Ю207		ZCA=44.82 77
	RY	19.8				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

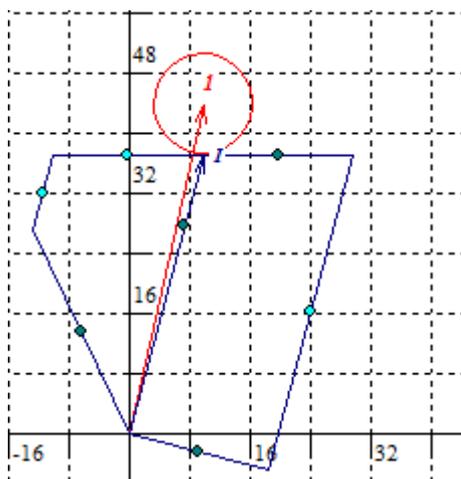


Рисунок 5.1. Характеристика срабатывания 1 ступени ДЗ.

Уставку первой ступени выбираем равной $X_{сз}^I=37$ Ом, $R_{сз}^I=19,8$ Ом.

5.1.1.2. Расчет второй ступени

1) Для начала расчета второй ступени необходимо рассчитать первые ступени линий второй периферии.

1.1) Первая ступень линии ПС Тюмень – Тюм ТЭЦ-2 – 2ц

ЭЛ ВЛ-220 ТТЭЦ-2-ТЮМЕНЬ 2Ц
 Защита 10932 Тип ШЭ2607 ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ
 Ветвь Ю207-Ю385 КТТ 600/5 Ступень 1
 Узел КТН 2200 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	6.98	0.85	ВИД-К3 АВС УЗЕЛ-К3 Ю387		ZCA=8.39 79
	RY	3.74				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				

1.2) Первая ступень линии ПС Тюмень – Тюм ТЭЦ-2 – 1ц

ЭЛ ВЛ-220 ТТЭЦ-2-ТЮМЕНЬ 1Ц
 Защита 10942 Тип ШЭ2607 ПС ТЮМЕНЬ 220 2СШ
 Ветвь Ю206-Ю381 КТТ 600/5 Ступень 1
 Узел КТН 2200 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	6.98	0.85	ВИД-К3 АВС УЗЕЛ-К3 Ю383		ZCA=8.39 79
	RY	3.74				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

Уставку второй ступени согласовываем с наименьшим сопротивлением:

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА
 Защита 8481 Тип ШЭ2607 ПС ТАВДА 220
 Ветвь Ю58-Ю207 КТТ 600/5 Ступень 2
 Узел КТН 2200 СЕТЬ:

СОГЛАСОВАН ИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ XU=6.98	XU	173.7	1.20	ВИД-К3 АВС ВЕЕР 1093/Ю207 Ю386-Ю387,0.669 (Loth_лин=0.763)		ZCA=154.64 67 ZCA(Б)=6.40 79
	RY	93.1				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				

RY=3.74 T=0.00 ФМЧ 75 Ф2 -15 Ф3 115 Ф4 0 защита 10932 ШЭ2607 (Ю207-Ю385) ЭЛ:ВЛ-220 ТТЭ Ц-2-ТЮМЕНЬ 2Ц ПС:ТЮМЕНЬ 220 1СШ						
	ХУ RY ФМЧ Ф2 Ф3	162.5 87.1 75 -15 115	1.20	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 1093/Ю207 Ю386-Ю387,1.000 (Lотн_лин=1.000)		ZCA=144.29 68 ZCA(Б)=8.39 79

2) Отстраиваемся от КЗ за трансформатором:

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8481

Ветвь Ю58-Ю207

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 600/5

КТН 2200 СЕТЬ:

ПС ТАВДА 220

Степень 2

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	ХУ	1833	0.85	ВИД-КЗ АВС		ZCA=666.00 -109
	ХУМА	1833	Котс=	УЗЕЛ-КЗ Ю213		
	К	982.5	0.01			
	RY	75				
	ФМЧ	-15				
	Ф2	115				
	Ф3					

Из полученных значений в качестве уставки второй ступени принимаем наименьшие.

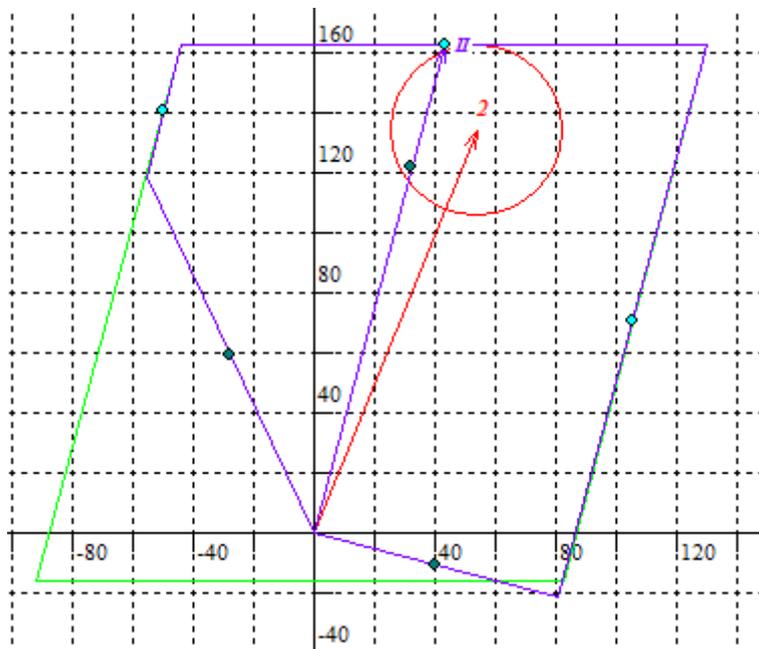


Рисунок 5.2. Характеристика срабатывания 2 ступени ДЗ.

Уставку второй ступени выбираем равной $X_{с3}^{II}=162,5$ Ом, $R_{с3}^{II}=87,1$ Ом.

5.1.1.3. Расчет третьей ступени ДЗ

Отстройка производится от минимального сопротивления нагрузки с учетом самозапуска и надежного возврата контактов реле. Для провода АС-240 длительно допустимый ток равен 600 А. Принимаем ток нагрузки $JH = 480$ А.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

ПС ТАВДА 220

Защита 8481

Тип ШЭ2607

Ступень 3

Ветвь Ю58-Ю207

КТТ 600/5

Узел

КТН 2200 СЕТЬ:ТРДУ_2010-06-16_ДЕЙСТВУЮЩАЯ

ЭВА

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
НАГРУЗКА	XU	196.6	1.26		КН=1.20 КВРТ=1.05 JH=480 УМИН=200 ФН=36	ZH=240.56 36
	RY	105.3				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				

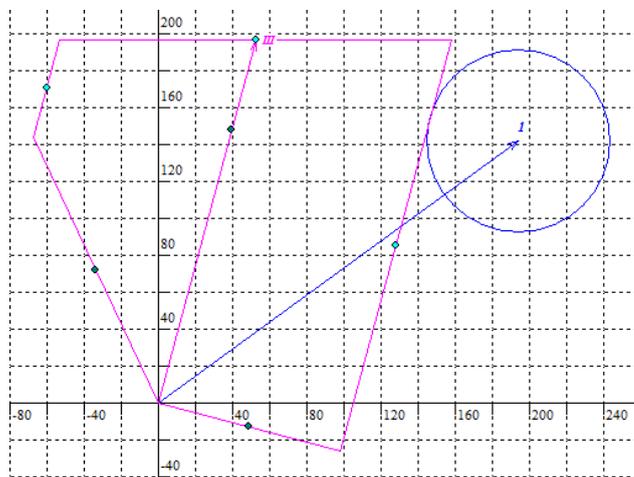


Рисунок 5.3. Характеристика срабатывания 3 степени ДЗ.

Уставку третьей степени выбираем равной $X_{сз}^{III}=196,6$ Ом, $R_{сз}^{III}=105,3$ Ом.

5.1.1.4. Проверка чувствительности ДЗ

Теперь необходимо проверить чувствительность защиты. Для проверки чувствительности через защиту должен протекать минимальный ток. Для обеспечения этого условия необходим режим, когда включены параллельные линии.

Чувствительность для первых ступеней дистанционной защиты допускается не проверять.

Чувствительность второй и третьей ступеней проверяется при трехфазном КЗ в конце линии защищаемой и в конце смежной линии соответственно.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

ПС ТАВДА 220

Защита 8481

Тип ШЭ2607

Ступень 2

Ветвь Ю58-Ю207

КТТ 600/5

Узел

КТН 2200 СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	XУ	162.5	3.72	ВИД-КЗ ABC		ZAB=44.82 77 Ip=601 -72
	RY	87.1	50.10	УЗЕЛ-КЗ Ю207		
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.61			
	Ф3	115				
	ХВТ	8.86				
	РВТ	4.75				
	JTP	0.50	10.02			

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

ПС ТАВДА 220

Защита 8481

Тип ШЭ2607

Ступень 3

Ветвь Ю58-Ю207

КТТ 600/5

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	XУ	196.6	4.50	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ Ю207		ZAB=44.82 77 Ip=601 -72
	РУ	105.3	60.57			
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.61			
	Ф3	115				
	ХВТ	10.7				
	РВТ	5.74				
	JTP	0.50	10.02			
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	XУ	196.6	1.47	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ Ю387		ZAB=144.29 68 Ip=375 -69
	РУ	105.3	5.70			
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.44			
	Ф3	115				
	ХВТ	10.7				
	РВТ	5.74				
	JTP	0.50	6.25			

Полученные коэффициенты чувствительности больше 1.5, значит, защита с данными установками является чувствительной.

В таблице 1 приведены сводные данные по уставкам ДЗ первого комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень:

Таблица 1 - Данные по ДЗ первого комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень.

Параметр срабатывания	I степень	II степень	III степень
Уставка по оси X	37	162,5	196,6
Уставка по оси R	19,8	87,1	105,3
Угол наклона характеристики	75	75	75
Угол наклона левой части характеристики	115	115	115
Угол наклона нижней части характеристики	-15	-15	-15
Время срабатывания	0	0,5	1,0

5.1.2. Расчет второго комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень

5.1.2.1. Расчет первой ступени линии.

Расчет ведется при КЗ в конце противоположной от первого комплекса ПС, при этом параллельные линии остаются включенными.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 600/5

КТН 2200 СЕТЬ:

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ	37.0	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ Ю58		ZCA=44.82 77
	RY	19.8				
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

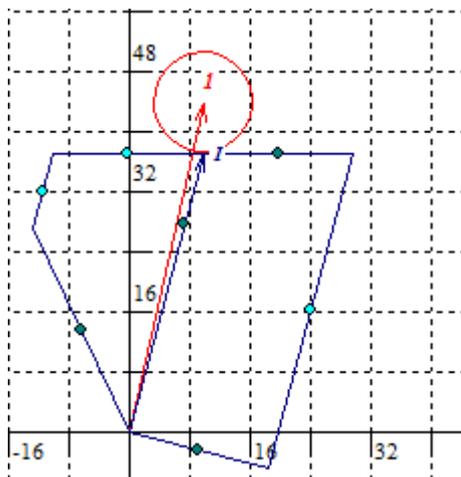


Рисунок 5.4. Характеристика срабатывания 1 ступени ДЗ.

Уставку первой ступени выбираем равной $X_{сз}^I=37$ Ом, $R_{сз}^I=19,8$ Ом.

5.1.2.2. Расчет второй ступени

Необходимо отстроиться от КЗ за трансформаторами и автотрансформаторами

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 600/5

КТН 2200 СЕТЬ:

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 2

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	59.7 32.0 75 -15 115	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ Ю54		ZCA=71.11 82



Рисунок 5.5. Характеристика срабатывания 2 ступени ДЗ.

Уставку второй ступени выбираем равной $X_{сз}^{II}=59,7$ Ом, $R_{сз}^{II}=32$ Ом.

5.1.2.3. Расчет третьей ступени ДЗ

Отстройка производится от минимального сопротивления нагрузки с учетом самозапуска и надежного возврата контактов реле. Для провода АС-240 длительно допустимый ток равен 600 А. Принимаем ток нагрузки $J_H = 480$ А.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 600/5

КТН 2200 СЕТЬ:

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
НАГРУЗКА	XУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	196.6 105.3 75 -15 115	1.26		КН=1.20 КВРТ=1.05 JH=480 УМИН=200 ФН=36	ZH=240.56 36

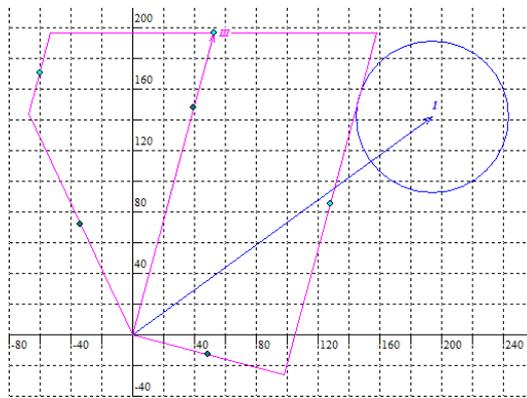


Рисунок 5.6. Характеристика срабатывания 3 ступени ДЗ.

Уставку третьей ступени выбираем равной $X_{с3}^{III}=196,6$ Ом, $R_{с3}^{III}=105,3$ Ом.

5.1.2.4. Проверка чувствительности ДЗ

Теперь необходимо проверить чувствительность защиты. Для проверки чувствительности через защиту должен протекать минимальный ток. Для обеспечения этого условия необходим режим, когда включены параллельные линии.

Чувствительность для первых ступеней дистанционной защиты допускается не проверять.

Чувствительность второй и третьей ступеней проверяется при трехфазном КЗ в конце линии защищаемой и в конце смежной линии соответственно.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 600/5

КТН 2200 СЕТЬ:

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 2

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	XУ	59.7	1.67	ВИД-КЗ ABC		ZBC=44.82 77 Ip=2308 162
	RY	32.0	18.41	УЗЕЛ-КЗ Ю58		
	ФМЧ	75	КЧzр=			
	Ф2	-15	1.66			
	Ф3	115				
	ХВТ	3.26				
	РВТ	1.75				
ЛТР	0.50	38.46				

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ШЭ2607

КТТ 600/5

КТН 2200 СЕТЬ:

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	XУ	196.6	4.50	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ Ю58		ZBC=44.82 77 Ip=2308 162
	РУ	105.3	60.57			
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.61			
	Ф3	115				
	ХВТ	10.7				
	РВТ	5.74				
	JTP	0.50	38.46			
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	XУ	196.6	2.79	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ Ю54		ZBC=71.11 82 Ip=1510 157
	РУ	105.3	11.84			
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.55			
	Ф3	115				
	ХВТ	10.7				
	РВТ	5.74				
	JTP	0.50	25.17			

Полученные коэффициенты чувствительности больше 1.5, значит, защита с данными установками является чувствительной.

В таблице 2 приведены сводные данные по уставкам ДЗ второго комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень:

Таблица 2 - Данные по ДЗ второго комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень.

Параметр срабатывания	I ступень	II ступень	III ступень
Уставка по оси X	37	59,7	196,6
Уставка по оси R	19,8	32	105,3
Угол наклона характеристики	75	75	75
Угол наклона левой части характеристики	115	115	115
Угол наклона нижней части характеристики	-15	-15	-15
Время срабатывания	0	0,5	1,0

5.1.3. Блокировка при качаниях.

Принцип работы устройства блокировки при качаниях (УБК), используемой в защите ШЭ2607-016, основан на фиксации скорости изменения тока обратной последовательности, осуществляемой двумя пусковыми органами (ПОБ) разной чувствительности. Для повышения чувствительности к симметричным КЗ ПОБ имеет дополнительный канал, реагирующий на приращение тока прямой последовательности.

Уставки срабатывания блокировки при качаниях по изменению вектора обратной последовательности принимаем равными $(0,04-1,5)I_{ном}$ для

чувствительного реле $I_{cp1} = (0,04 - 1,5)I_{ном} = 0,04 \cdot 480 = 19,2A$ и для грубого - $I_{cp2} = (0,06 - 2,5)I_{ном} = 0,06 \cdot 480 = 28,4A$.

Уставки срабатывания блокировки при качаниях по изменению вектора прямой последовательности для чувствительного реле принимаем равными $I_{cp3} = (0,08 - 3)I_{ном} = 0,08 \cdot 480 = 38,4A$ для грубого - $I_{cp4} = (0,12 - 5)I_{ном} = 0,12 \cdot 480 = 57,6A$

Чувствительный ПОб по принципу действия отстроен от небаланса на выходе фильтра тока обратной последовательности при номинальном токе, при наличии высших гармоник он значительно заглубляется. Чувствительный ПОб отстроен от качаний с периодом не менее 0,2 сек. при токах, превышающих номинальный, при указанных выше значениях уставок соответственно в 4, 8 и в 10 раз. Учитывая высокую чувствительность ПОб, для снижения числа ложных пусков рекомендуется выбрать уставку 0,4 (0,08) А.

Чувствительность проверяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{мин}}}{I_{2\text{уст}}k_I} = \frac{1331}{0,4 \cdot 600} = 5,6, \quad \text{где } I_{2\text{мин}} - \text{ минимальный ток обратной}$$

последовательности в месте подключения защиты при КЗ в расчетной точке в расчетном режиме,

$I_{2\text{уст}} = 0,4A$ - принятая уставка пускового органа.

Минимально допустимое значение коэффициента чувствительности при КЗ в конце защищаемой и в конце предыдущей линии равно соответственно 1,5 и 1,2.

5.1.4. Блокировка при неисправностях в цепях напряжения.

Для выявления неисправностей в цепях переменного напряжения используется устройство блокировки при неисправностях в цепях переменного напряжения (БНН), алгоритм функционирования которого учитывает все возможные варианты схем соединения вторичных обмоток ТН в «разомкнутый треугольник» и реализуется программно по выражению:

$$|U_{\text{БНН}}| > U_{\text{уст.БНН}}$$

где $|U_{\text{БНН}}|$ - модуль вектора $U_{\text{БНН}}$, $U_{\text{уст.БНН}}$ - уставка по напряжению срабатывания БНН.

При исчезновении любого из напряжений «звезды» или «разомкнутого треугольника» появляется напряжение $U_{\text{БНН}}$ и происходит срабатывание БНН. Для контроля одновременного исчезновения фазных напряжений используются три реле минимального напряжения в фазах А, В и С, включенные по схеме «И».

При возникновении неисправности в цепях напряжения на выходе схемы логики БНН появляется сигнал, блокирующий действие всех ступеней ДЗ.

5.2. Междофазная токовая отсечка.

Шкаф ШЭ2706-016 содержит токовую отсечку от многофазных КЗ. Назначение МТО традиционно для отечественных защит линий высокого напряжения – это дополнительная защита на случай нечеткой работы дистанционной защиты при замыканиях в начале защищаемой линии.

5.2.1. Расчет первого комплекта

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8481

Ветвь Ю58-Ю207

Узел

Тип МФТЗ

КТТ

КТН

ПС ТАВДА 220

Ступень 1

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	833	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ Ю207		IA=694 -72
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	УСТ КСХ РТ	833 1.73 АВС	3.20	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ Ю58		IB=2306 12 Ip=4616 12

Уставка защиты - $I_{C.3} = 833A$

Проверим чувствительность защиты, как отношение минимального тока КЗ (в месте установки защиты) к току срабатывания защиты.

Коэффициент чувствительности должен быть около 1,2 при КЗ в месте установки отсечки в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме. Данное условие выполняется.

5.2.2. Расчет второго комплекта

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип МФТЗ

КТТ

КТН

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 1

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	3198	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ Ю58		IB=2665 162
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	УСТ КСХ РТ	3198 1.73 АВС	0.22	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ Ю207		IB=603 18 Ip=1202 18

Уставка защиты - $I_{C.3} = 3198A$

Проверим чувствительность защиты, как отношение минимального тока КЗ (в месте установки защиты) к току срабатывания защиты.

Коэффициент чувствительности должен быть около 1,2 при КЗ в месте установки отсечки в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме. Данное условие не выполняется, однако МТО является резервной для дистанционной защиты и для защиты начального участка вполне коэффициент чувствительности является приемлемым.

5.3. Токовая защита нулевой последовательности

5.3.1. Расчет первого комплекта линии

5.3.1.1. Расчет первой ступени линии

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8481

Ветвь Ю58-Ю207

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

СЕТЬ:

ПС ТАВДА 220

Ступень 1

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	745	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю207		3I0=621 -82 3U0=45.24 -174
	УСТ	806	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю207		3I0=672 98 3U0=48.96 6

Принимаем уставку 1 ступени наибольшее значение:

$$I_{CP1} = 806 A$$

Первая ступень ТЗНП выполняется без выдержки времени: $t_{C31} = 0c$.

5.3.1.2. Расчет второй ступени линии.

1) Для начала расчета второй ступени необходимо рассчитать первые ступени линий второй периферии.

1.1) Первая ступень линии ПС Тюмень – Тюм ТЭЦ-2 – 2ц

ЭЛ ВЛ-220 ТТЭЦ-2-ТЮМЕНЬ 2Ц

Защита 10932

Ветвь Ю207-Ю385

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Ступень 1

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	2989	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю387		3I0=2491 -80 3U0=26.62 -172
	УСТ	3263	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю387		3I0=2719 100 3U0=29.07 8
ОТСТРОЙКА	УСТ	4523	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю387	ОТКЛ Ю206-Ю381	3I0=3769 -80 3U0=20.46 -172
	УСТ	5061	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю387	ОТКЛ Ю206-Ю381	3I0=4217 100 3U0=22.89 8

1.2) Первая ступень линии ПС Тюмень – Тюм ТЭЦ-2 – 1ц

ЭЛ ВЛ-220 ТТЭЦ-2-ТЮМЕНЬ 1Ц

Защита 10942

Ветвь Ю206-Ю381

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТЮМЕНЬ 220 2СШ

Ступень 1

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	4494	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю383	ОТКЛ Ю207-Ю385	3I0=3745 -80 3U0=20.46 -172
	УСТ	5026	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю383	ОТКЛ Ю207-Ю385	3I0=4189 100 3U0=22.89 8
ОТСТРОЙКА	УСТ	2937	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю383		3I0=2447 -80 3U0=26.62 -172
	УСТ	3206	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю383		3I0=2672 100 3U0=29.07 8

Уставку второй ступени согласовываем с наибольшим значением уставки, при этом параллельная линия должна быть отключена:

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8481

Ветвь Ю58-Ю207

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТАВДА 220

Ступень 2

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАН ИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 5061 T=0.00	УСТ	219	1.20	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 1093/Ю207 Ю386-Ю387,0.739 (Lотн_лин=0.813)		3I0=182 -76 3U0=13.03 -167 3I0(Б)=5061 -83 3U0(Б)=33.72 -

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
защита 10932 ТЗНП (Ю207-Ю385) ЭЛ:ВЛ-220 ТТЭ Ц-2-ТЮМЕНЬ 2Ц ПС:ТЮМЕНЬ 220 1СШ						174

2) Отстраиваемся от КЗ за трансформатором:

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА	ПС ТАВДА 220
Защита 8481	Тип ТЗНП
Ветвь Ю58-Ю207	КТТ
Узел	КТН
	СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	130	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю213		3I0=108 -91 3U0=16.69 -174
	УСТ	126	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю213		3I0=105 89 3U0=16.16 6

Из полученных значений в качестве уставки второй ступени принимаем наибольшее:

Принимаем уставку 2 ступени наибольшее значение:

$$I_{CP2} = 219A$$

Вторая ступень ТЗНП выполняется с выдержкой времени: $t_{c32} = 0,5c$.

5.3.1.3. Расчет третьей ступени линии.

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА	ПС ТАВДА 220
Защита 8481	Тип ТЗНП
Ветвь Ю58-Ю207	КТТ
Узел	КТН
	СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	26			КН=1.20 КВРТ=1.10 КНБ=0.05 JH=480	

Принимаем уставку 2 ступени наибольшее значение:

$$I_{CP3} = 26A$$

Третья ступень ТЗНП выполняется с выдержкой времени: $t_{C33} = 1,0c$.

5.3.1.4. Проверка чувствительности

Вторая ступень:

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8481

Ветвь Ю58-Ю207

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТАВДА 220

Ступень 2

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	219	6.08	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю58		3I0=1331 107 3U0=158.73 -175
	УСТ	219	5.63	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ Ю58		3I0=1232 45 3U0=146.95 122

Коэффициент чувствительности защиты $K_{ч\ мин} > 1,5$ удовлетворяет требованиям чувствительности.

Третья ступень:

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8481

Ветвь Ю58-Ю207

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТАВДА 220

Ступень 3

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	26	23.87	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю207		3I0=621 -82 3U0=45.24 -174
	УСТ	26	25.83	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ Ю207		3I0=672 -142 3U0=48.96 126
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	26	5.49	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю387		3I0=143 -74 3U0=10.40 -165
	УСТ	26	6.00	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ Ю387		3I0=156 -134 3U0=11.35 134

Коэффициент чувствительности защиты $K_{ч\ мин} > 1,5$ удовлетворяет требованиям чувствительности.

В таблице 3 приведены сводные данные по уставкам ТЗНП первого комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень:

Таблица 3- Данные по ТЗНП первого комплекта линии.

Параметр срабатывания	I степень	II степень	III степень
Уставка по току	806	219	26
Время срабатывания	0	0,5	1,0

5.3.2. Расчет второго комплекта линии

5.3.1.1. Расчет первой степени

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Степень 1

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1597	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю58		3I0=1331 -73 3U0=6.38 -167
	УСТ	1479	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю58		3I0=1232 105 3U0=5.90 10

Принимаем уставку 1 степени наибольшее значение:

$$I_{CP1} = 1597 \text{ A}$$

Первая степень ТЗНП выполняется без выдержки времени: $t_{C31} = 0 \text{ c}$.

5.3.1.2. Расчет второй степени

Необходимо отстроиться от КЗ за трансформаторами и автотрансформаторами

ЭЛ ВЛ-220 ТЮМЕНЬ-ТАВДА

Защита 8482

Ветвь Ю207-Ю58

Узел

Тип ТЗНП

КТТ

КТН

ПС ТЮМЕНЬ 220 1СШ

Степень 2

СЕТЬ:

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	978	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю54		3I0=815 -72 3U0=4.10 -166
	УСТ	1050	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ Ю54		3I0=875 105 3U0=4.40 10

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	УСТ	26	51.19	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю58		3I0=1331 -73 3U0=6.38 -167
	УСТ	26	47.39	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ Ю58		3I0=1232 -135 3U0=5.90 130
ЧУВСТВИ- НОСТЬ	УСТ	26	31.33	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ Ю54		3I0=815 -72 3U0=4.10 -166
	УСТ	26	33.64	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ Ю54		3I0=875 -135 3U0=4.40 130

Коэффициент чувствительности защиты $K_{ч\ min} > 1,5$ удовлетворяет требованиям чувствительности.

В таблице 4 приведены сводные данные по уставкам ТЗНП второго комплекта линии ПС Тавда – ПС Тюмень:

Таблица 4- Данные по ТЗНП второго комплекта линии.

Параметр срабатывания	I степень	II степень	III степень
Уставка по току	1597	1050	26
Время срабатывания	0	0,5	1,0

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

Студенту

Группа	ФИО
3-5А6А1	Бриль Евгению Валерьевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Гантта
4. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А6А1	Бриль Евгений Валерьевич		

1 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Целью данного раздела работы является оценка расчета и проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС с позиции ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать конкурентные технические решения проекта;
- провести SWOT-анализ;
- выполнить планирование и организацию научного исследования;
- создать диаграмму Гантта
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

1.1 Анализ конкурентных технических решений

На данном этапе будут оцениваться реле трех типов:

- Микропроцессорное;
- Аналоговое;
- Электромеханическое.

В связи с этим необходимо провести экспертную оценку и убедиться в том, что микропроцессорное устройство является лидером перед ранее действующими релейными защитами.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Данный анализ произведём с помощью оценочной карты (таблица 1).

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{мпр}$	$B_{ан}$	$B_{э/м}$	$K_{мп}$	$K_{ан}$	$K_{э/м}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобность внедрения в энергосистему	0,06	5	4	1	0,3	0,24	0,06
2. Удобство в эксплуатации	0,01	4	3	3	0,04	0,03	0,03
3. Безопасность	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
4. Надежность	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
5. Возможность ремонта собственноручно	0,04	1	2	5	0,04	0,08	0,2
6. Потребность в ресурсах памяти	0,01	5	2	1	0,05	0,02	0,01
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,02	5	4	1	0,1	0,08	0,02
8. Простота эксплуатации	0,1	2	3	4	0,2	0,3	0,4
9. Качество интерфейса	0,02	5	2	2	0,1	0,04	0,04
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	2	1	0,5	0,2	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	5	3	1	0,2	0,12	0,04
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
3. Цена	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
Итого	1	60	41	32	3,88	2,71	2,19

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из результатов анализа, микропроцессорное реле получило наивысший балл по сравнению с другими конкурентами ($K=3,88$). Это объясняется тем, что реле данного типа выполнено по современной технологии, что позволяет использовать его совместно с программными устройствами и ПК. Это сказывается на эффективности и удобности при эксплуатации. Если рассматривать общую картину анализа, то исследуемый тип реле превосходит конкурентов по всем параметрам сравнения, за исключением возможности ремонта своими силами.

Микропроцессорное реле представляет из себя блок, состоящий из микросхем и вычислительных устройств, что затрудняет ремонт при поломке в отличие от электромеханического реле.

1.2 SWOT-анализ

SWOT – анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, и позволяет определить:

- Сильные стороны и преимущества микропроцессорного реле, его конкурентоспособная сторона;
- Слабые стороны микропроцессорного реле в конкурентной борьбе с другими типами реле;
- Возможности для развития и улучшения конкурентной позиции;
- Угрозы, наносящие ущерб проекту и наиболее эффективные действия для защиты от них.

Результаты SWOT-анализа представлены ниже.

Таблица 6 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Удобное внедрение в энергосистему.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Большой срок эксплуатации.</p> <p>С4. Высокая безопасность и надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С5. Высокое качество продукции.</p> <p>С6. Использование современных тенденций</p> <p>С7. Простота в использовании</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость</p> <p>Сл2. Необходимость в высококвалифицированном персонале</p> <p>Сл3. Малая ремонтпригодность</p>
--	--	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Развитие данной отрасли в России</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Возможность подключения в сеть ЭВМ.</p> <p>В4. Финансовая поддержка государства для развития</p>	<p>Вовлечение в производство микропроцессорного реле позволяет продлить срок эксплуатации, повысить надежность защиты защищаемого объекта и способствует привлечению поддержки в развитии технологии со стороны государства.</p>	<p>Введение нового технологически развитого оборудования, то есть микропроцессорного реле может повлечь за собой необходимость переквалификации персонала и повышение их компетенции</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за ухудшения экономической ситуации в стране</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Отсутствие стимула для переоборудования защищаемых объектов.</p>	<p>В ближайшем будущем на энергообъектах будут установлены микропроцессорные реле за счет большего количества преимуществ по сравнению с остальными, при благоприятной экономической ситуации в стране</p>	<p>Наиболее значимым минусом является поиск источников финансирования для поддержания конкурентоспособности и дальнейшего развития производства</p>

Анализируя полученную интерактивную матрицу проекта, видим, что интегрирование микропроцессорных реле в энергосистему имеет больше преимуществ, чем недостатков, и способно, конкурируя с другими типами реле, занять лидирующее место на рынке.

1.3. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Результат представлен в таблице 3.

Таблица 7 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материала по теме	Инженер
	4	Описание объекта	Инженер
	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы защищаемого объекта	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор типа исполнения защиты	Инженер
	7	Выбор устройств РЗиА	Инженер
	8	Расчет параметров РЗиА	Инженер
	9	Планирование аварийных режимов	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

1.4. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения проекта

В данном разделе определим трудоемкость работы инженера и руководителя и построим диаграмму Гантта, которая характеризует даты начала и окончания выполнения работ.

В приведённой ниже таблице приведены расшифровки величин, которые используются в таблице 4.

Таблица 8 – Обозначение величин

Обозначение	Расшифровка	Единицы измерения
$t_{ожi}$	Ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы	чел.-дни
t_{mini}	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	чел.-дни
t_{maxi}	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	чел.-дни
T_{ki}	Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях	дни
T_{pi}	Продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях	Дни

Таблица 9 – Временные показатели проекта

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ik}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		3	
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		5	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		9
Описание объекта		3		4		4		4		5
Разработка структурной (принципиальной) схемы защищаемого объекта		4		9		6		6		8
Выбор типа исполнения защиты		5		8		7		7		9
Выбор устройств РЗиА		4		8		6		6		8
Расчет параметров РЗиА		2		4		8		8		10
Планирование аварийных режимов		3		6		5		5		6

Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		6
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		6
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		5

Пример расчёта

Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{ дней};$$

Продолжительность работы в рабочих днях:

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

Коэффициент календарности:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22;$$

Продолжительность работы в календарных днях:

$$T_k = T_p \cdot k_{кал} = 2 \cdot 1,22 = 2,54 \approx 3 \text{ дня}.$$

На основании таблицы 5 строим календарный план-график.

необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В таблице 10 представлены статьи материальных затрат, связанных с выполнением проекта.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Цена за единицу, руб.	Кол-во	Общая стоимость, руб.
Ручка	20	2 шт.	40
Бумага	240	1 упаковка	240
Скоросшиватель	35	1 шт.	35
Мультифоры	125	1 упаковка	125
Итого			340

По таблице 10 материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 340 рублей.

1.7. Расчет затрат на программное обеспечение

Осуществим анализ необходимого оборудования, который потребуется для выполнения научного исследования.

Таблица 11 – Затраты на программное обеспечение

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на оборудовани, руб.
Программный комплекс АРМ СРЗА	шт.		694 500	694 500
ПК	шт.	1	40 000	40 000
Итого:				734 500

В связи с длительностью использования, учитывается стоимость программного обеспечения с помощью амортизации:

$$A = \frac{\text{Стоимость} \cdot N_{\text{дней использ.}}}{\text{Срок службы} \cdot 365} = \frac{734\,500 \cdot 72}{3 \cdot 365} = 48\,296 \text{ руб.}$$

Итого, сумма амортизации равна 48 296 руб.

1.8. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$):

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 12);

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

Среднедневная заработная плата:

Для руководителя

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51\,285 \cdot 10,4}{237} = 2250,5 \text{ руб.}$$

Для инженера

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33\,150 \cdot 10,4}{237} = 1454,7 \text{ руб.}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

Для руководителя

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26\,300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51\,285 \text{ руб.}$$

Для инженера

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17\,000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33\,150 \text{ руб.}$$

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 1.3.4

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	31 000	0,3	0,2	1,3	60 450	2 857	55	157 118
Инженер	17 000	0,3	0,2	1,3	33 150	1 454,7	55	80 008,5
Итого								237 127

Таким образом сумма основной заработной платы исполнителей составляет 237 127 руб.

1.9. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Руководитель:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 157\,118 = 18\,854,16 \text{ руб}$$

Инженер:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 80\,008,5 = 9\,601,02 \text{ руб}$$

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

Таким образом затраты на дополнительную заработную плату составили 28 455,18 рублей.

1.10. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются 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.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

Руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (123\,777 + 14\,853,24) = 53\,143,6 \text{ руб}$$

Инженер:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (80\,008,5 + 9\,601,0) = 24\,284,18 \text{ руб}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году равен 30,2%.

Таким образом величина отчислений во внебюджетные фонды исполнителей составляет 77 427,8 руб.

1.11. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{м}} + A) \cdot 0,16 = \\ = (237\,127 + 28\,455,18 + 77\,427,8 + 340 + 48\,296) \cdot 0,16 = 62\,663,4 \text{ руб.}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Итого, накладные расходы составляют 62 663 рубля.

1.12. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице.

Таблица 14 – Бюджет затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1	Амортизация	48 296	12,1
2	Материальные затраты НТИ	340	0,1
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	237 127	51,2
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	28 455,18	6,1
5	Отчисления во внебюджетные фонды	77 427,8	16,6
6	Накладные расходы	62 663	13,9
Бюджет затрат НТИ		454 309	100

Наибольшей статьёй расходов оказалась зарплата (основная и дополнительная). Итоговая сумма необходимая на выполнение проекта

составила 454 309 рублей.

1.13 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научного исследования определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

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

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,20	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4
5. Энергоэкономичность	0,15	3
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,35$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности научного исследования дает достаточно хороший результат (4,35 из 5), что свидетельствует об эффективности его реализации.

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что среди реле, наилучшими показателями конкурентоспособности обладает микропроцессорное реле, поэтому использование данного реле при проектировании будет наиболее эффективным.
2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 69 дня (55 дней – занятость инженера, 14 дней – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Гантта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это Расчет параметров РЗиА.
3. Бюджет научно-технического исследования составил 454 309 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (340 руб.), амортизационных отчислений (48 296 руб.), затрат на оплаты труда (237 127 руб.), отчислений во внебюджетные фонды (77 427,8 руб.) и накладных расходов (62 663 рубля).
4. Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении ничуть не уступает остальным вариантам с позиции ресурсосбережения.
5. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности, в котором было установлено, что проектирование микропроцессорного реле является более эффективным по сравнению с аналогами. Длительность работ исполнителей проекта составляет 14 дней для руководителя и 55 дней для инженера. После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 454 309 руб. Проект экономически целесообразен, что определено при помощи показателя ресурсоэффективности проекта.
6. Капиталовложения в размере 454 309 рублей позволят реализовать разработанный проект по расчёту противоаварийной автоматики и релейной

защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС. Микропроцессорное реле позволит оптимизировать работу энергосистемы и сохранять синхронизм при малых возмущениях системы.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 3-5А6А1	ФИО Бриль Евгению Валерьевичу
-------------------	----------------------------------

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

Тема ВКР:

Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Княжево» - подстанция «Ожогино» Тюменской ЭЭС

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочей зоной является помещение на подстанции 220 кВ Объектом исследования является релейная защита линии электропередачи.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>- ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. - СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: - Отклонение показателей микроклимата - Превышение уровня шума - Повышенный уровень электромагнитного излучения - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Зрительное напряжение название факторов дает по госту 2015 - Психофизиологические факторы</p> <p>Опасные факторы: - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>- анализ воздействия объекта на атмосферу: отсутствует - анализ воздействия объекта на литосферу: бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ. анализ воздействия объекта на гидросферу: отсутствует</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Наиболее вероятным ЧС может быть пожар в здании</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А6А1	Бриль Евгений Валерьевич		

Введение

Целью данной ВКР является проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС. Данная установка предназначена для приема, преобразования и распределения электрической энергии т.е. были проведены все необходимые технические расчеты с помощью различных программных комплексов, текстовых и графических редакторов.

При выполнении данной работы рабочими зонами являются: лаборатория на объекте, где происходит Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС. Здесь располагается несколько рабочих компьютеров со специализированными программами и трансформаторы;

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Помещение, в котором осуществлялось Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС. Должно соответствовать всем гигиеническим требованиям и требованиям по безопасности.

Согласно СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи». предъявляются нормы к организации рабочей зоны при проектировании релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС, а именно:

Для осуществления работы оператора рабочая зона с ПЭВМ организуется в соответствии СП 2.4.3648-20 [1]. При анализе помещения для проектирования выявлено:

- помещение с ПЭВМ оборудовано системой отопления;
- пол в помещении с ПЭВМ ровный, без выбоин, нескользкий;
- ширина стола на котором располагается ПЭВМ 750 мм, а глубина – больше 550 мм;
- угол сиденья в помещении не регулируется, угол наклона спинки в вертикальной плоскости составляет около 30 градусов;
- провода электропитания и кабель локальной сети находятся в стояке, основание которого совмещено с подставкой для ног;

Таким образом полученные результаты можно считать подходящими для проведения работ оператором в рассматриваемой аудитории с целью проектирования релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС.

Производственная безопасность

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации проектируемой релейной защиты целью проектирования релейной защиты линии. Они могут возникнуть в процессе проведения исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого оборудования.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [2] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 16 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
Превышение уровня шума		+	+	
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. «Шум. Общие требования безопасности»
Отклонение показателей микроклимата		+		СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
Психофизиологические факторы	+	+	+	СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи»

Повышенный уровень вибрации

Вибрации исходящие со стороны трансформаторов в лаборатории, оказывает негативное влияние на человека, находящегося в зоне распространения вибрации. Низкочастотная общая вибрация вызывает длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, смещение органов в брюшной полости, возникновение и прогрессирование дегенеративных изменений позвоночника [3].

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 [3], амплитуда вибрации в помещении должна составлять не более $0,0072 \cdot 10^{-3}$ м при частотах от 31,5 Гц до 63 Гц. В помещении оборудование работают в диапазонах близких к 60 Гц. Соответственно, не возникает пагубного влияния на организм человека.

В качестве средств индивидуальной защиты от вибрации для рук и ног используются защитные перчатки, рукавицы, прокладки, вкладыши, защитная обувь, стельки и подметки. В случае если необходимо снизить вибрацию, возникающую от оборудования можно установить под оборудование демпфирующие устройства.

Превышение уровня шума

В рассматриваемом помещении источниками шума является автотрансформаторы. При эксплуатации трансформаторов релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС необходимо предусмотреть, чтобы уровень шума, согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96, на рабочем месте в помещении для размещения шумных агрегатов, не должен превышать 75 дБ [4]. В данной работе уровень шума на рабочем месте соответствует указанным нормам 50 Гц. Все это необходимо для того, чтобы предотвратить вредное влияние шума на организм человека. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии [2]. Повышенный уровень шума приводит к быстрой утомляемости человека и является общебиологическим раздражителем.

ПДУ шума для объектов типа аудитории для теоретических разработок нормируются согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Значения представлены в табл. 2 (для постоянных шумов).

Таблица 17 – Значения ПДУ шума

Рабочее место	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими									Уровн и звука
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Лаборатория	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов для отделки помещений.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [5] неправильная освещенность рабочей зоны относится к вредным производственным факторам, который быстро утомляет человека и снижает его работоспособность. Утомляемость

человека может возникать из-за чрезмерной или недостаточной освещенности, а также из-за неправильного направления света.

В дневное время достигается нормальная освещенность за счет естественного света, который проникает через окна, а в утреннее и вечернее время нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения – лампами.

При недостатке естественного освещения используют совмещенное освещение. Последнее представляет собой освещение, при котором в светлое время суток одновременно светят естественное и искусственное освещение. В данном производственном помещении используется совмещенное освещение: естественное боковое одностороннее дополняется искусственным общим освещением, т.к. в структуре реле есть мелкие детали (таблица 3). По нормативу СанПиН 1.2.3685-21 [5] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего оборудования должна быть 300 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Таблица 18 - Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Коэффициент естественной освещенности, КЕО, %	Освещенность при совмещенной системе, лк
1	2	3	4
Производственное помещение	Люминесцентные лампы	0,5	300

Для того, чтобы уберечь рабочего от вредного влияния недостаточного освещения необходимо обеспечить освещение рабочей зоны при помощи установки дополнительных светильников.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

При работе с трансформатором возможно получение удара электрическим током, поскольку в трансформатор находится под высоким напряжением.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [6], опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания.

При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в 1 мА (таблица 3)

Таблица 19 - Длительность протекания тока через тело человека.

Длительность воздействия, с	30	30	1	0,7	0,5	0,2
Допустимый безопасный ток, мА	1	6	50	70	100	250

Для того, чтобы исключить возникновения поражения персонала электрическим током необходимо использовать защитные рукавицы, фартуки, ток изолирующую одежду. Также необходимо обеспечить заземление токоведущих проводов [9].

Отклонение показателей микроклимата

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96 [7], Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса лаборатории с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха на рабочем месте должны соответствовать для категорий

работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл.4. СанПиН 2.2.4.548–96 [7] - пункт 1.2.3.

Период Года	Категория работ По уровню энергозатра т, Вт	Температур а воздуха, °С	Температура поверхност ей, °С	Относительна я влажность воздуха, %	Скорост ь движен ия воздуха, м/с
Холодны й	Па (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	Пб (233- 290)	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый	Па (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	Пб (233- 290)	19-21	18-22	60-40	0,2

Чтобы обезопасить организм человека, от вредного влияния микроклимата необходимо установить специальные отопительные приборы в зимнее время, в случае если работы ведутся в летнее время, то необходимо установить кондиционеры или вентиляторы в рабочем помещении.

Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха СП 2.4.3648-20 [1].

Основные меры по уменьшению влияния монотонности и эмоциональной напряженности на человека:

- Осуществлять перевод работающих с одной на другую производственную операцию;
- Применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня

(рабочей смены): назначать короткие дополнительные перерывы для отдыха всей смены (бригады) или отдельного работающего в удобное для него время. Целесообразны частые, но короткие перерывы;

- Делать каждую операцию более содержательности, объединять малосодержательные операции в более сложные, содержательные и разнообразные; операция должна быть продолжительностью не менее 30 секунд; состоять из элементов, позволяющих чередовать нагрузки на различные органы чувств и части тела.

Экологическая безопасность

Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

На окружающую среду влияет множество производственных и не только факторов, основную угрозу представляют компоненты ПК и трансформатора, которые имеют в составе вредные вещества. Мероприятия, входящие в комплекс по утилизации:

- отделение и сортировка неметаллических частей (пластик, изоляционный материал) от металлических;
- переплавка металлических частей для дальнейшего производства;
- переработка неметаллических частей компьютера для последующего использования;
- аккумуляторные батареи также подвергаются специальной утилизации.

Рассматриваются методы разработки безотходных технологий в ряде отраслей промышленности [10].

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Помещение по степени пожароопасности относится к классу В-4.

В процессе проектирования, а также изготовления релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС возможны следующие чрезвычайные ситуации:

возникновение пожара, взрыв трансформатора. Возгорание релейной защиты автотрансформатора практически невозможно, но возникновение пожара в помещении, в котором осуществлялось проектирование, вполне возможно в связи со следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке из-за неисправности самой проводки или электросоединений и электрораспределительных щитов.

Возникающая при коротком замыкании в трансформаторе электрическая дуга приводит к скачку динамического давления распространяющемуся со скоростью 1200 метров в секунду (4000 футов в секунду). Развитие этого процесса происходит за тысячные доли секунды. Вследствие отражения давления внутри? скачок давления формирует волны сверхдавления. Сочетание всех пиков волнового давления приводит к созданию статического давления. Затем, спустя 50-100 миллисекунд после образования электрической дуги, давление в объеме бака трансформатора выравнивается, что приводит к его разрыву.

Чтобы защитить жизнь и здоровье человека от пожара и взрыва необходимо выполнять необходимые профилактические мероприятия, направленные на предупреждение или устранение пожара и взрыва.

Для исключения возможности возникновения пожара и взрыва, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- обязательное соблюдение всех правил технической эксплуатации релейной защиты;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- прохождение противопожарного инструктажа [11].

В случае возникновения пожароопасной и взрывоопасной ситуации, прежде всего, необходимо вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар или взрыв, и принять меры по ликвидации пожара при помощи первичных средств пожаротушения. В случае неисправности релейной защиты линии или аварии необходимо устранить неполадки самостоятельно, либо вызвать соответствующие службы.

Для локализации или ликвидации возгорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м [12].

Вывод по разделу

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Тюмень» - подстанция «Тавда» Тюменской ЭЭС, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях проектирования, изготовления и релейной защиты линии.

Список литературы

1. СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».
2. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартиформ, 2016.
3. ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования/
4. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
5. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
6. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
7. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.
8. СНиП 21-01-97 от 1998-01-01 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
9. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
10. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды".
11. ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования».
12. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

Заключение

Основные результаты, полученные в выпускной работе, заключаются в следующем:

- Для ведения сетевой информации совместно с графическим изображением схемы замещения в программе АРМ СРЗА были подготовлены расчетные данные рассматриваемого района, подготовлены расчеты уставок защит первой периферии для рассматриваемой линии.
- Учитывая условия сохранения устойчивости, надежной защиты линии и смежных присоединении были установлены и рассчитаны уставки ДФЗ – основной защиты и резервных защит – ДЗ, ТЗНП, МТО. Расчеты показали, что выбранные уставки, как основной, так и резервных защит удовлетворяют требованиям чувствительности.
- Аппаратная реализация релейную защиты осуществляется на основе микропроцессорных комплексов НПП "ЭКРА" (г. Чебоксары.): ШЭ2710-52, ШЭ-2607 016.

Список литературы

1. Правила устройств электроустановок - 6-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем, - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1992. - 528 с.
3. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения - М. Высшая школа 2007. 639 с.
4. Чернобровов Н.В., Семёнов В.А. Релейная защита энергетических систем – М. Энергоатомиздат 1998. 800 с.
5. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7 Дистанционная защита линий 35-750 кВ. М-Л Энергия 1966г 172.с.
6. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита от замыкания на землю линий 110-750 кВ. Расчеты. - М.: Энергия, 1980.-88 с.
7. Лучко Д.И. Методические указания по техническому обслуживанию токовой защиты ПДЭ 2002 – М., СПО Союзтехэнерго, 1984.
8. Левиуш А.И., Дони Н.А., Надель Л.А., Наумов А.М. Высокочастотная направленная и дифференциально-фазная защита ПДЭ 2003 для ВЛ 500 - 750 кВ - М. Научно-учебный центр ЭНАС, 1996. - 204 с., ил.
9. Шкаф автоматики управления выключателем и защиты линии типа ШЭ2607 016. Руководство по эксплуатации // НПП "ЭКРА" г. Чебоксары. 103 с.
10. Шкаф резервной защиты линии и ОАПВ типа ШЭ2710-521 Руководство по эксплуатации НПП "ЭКРА" г. Чебоксары. 103 с.
11. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий электропередачи напряжением 110-220кВ ДФЗ -201. – М.: НТФ «Энергопрогресс» - 2002. – 72с.
12. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9 Дифференциально-фазная защита линий 110-330кВ. М-Л Энергия 1972г.

