

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа (ИШЭ) Инженерная Школа Электроэнергетики

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

Профиль Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчет релейной защиты и автоматики воздушной линии 110 кВ от ПС «Двуреченская» до ПС «Игольская»

УДК 621.316.925.1:621.311.1:621.311.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Будилин Максим Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Корнев В.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ОК-14), <i>CDIOSyllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Уметь формулировать задачи в области <i>релейной защиты и автоматики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-3, ПК-6, ПК-7), <i>CDIOSyllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Уметь проектировать <i>противоаварийную автоматику, релейную защиту</i> .	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-8, ПК-9–14), <i>CDIOSyllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния релейной защиты и противоаварийной автоматики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-6, ПК-38–44, ПК-51), <i>CDIOSyllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-14, ПК-16, ПК-20–21, ПК-37), <i>CDIOSyllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Иметь практические знания принципов и технологий релейной защиты и противоаварийной автоматики отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-18, ПК-23–28, ПК-30, ПК-37, ПК-45, ПК-46–51), <i>CDIOSyllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-10, ОК-14, ПК-14, ПК-20, ПК-28, ПК-29, ПК-31), <i>CDIOSyllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	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</i> .	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-11, ОК-12, ОК-15, ПК-1, ПК-10, ПК-19, ПК-26), <i>CDIOSyllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-7, ПК-32, ПК-34), <i>CDIOSyllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-7, ОК-9, ПК-4, ПК-35), <i>CDIOSyllabus</i> (2,5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-5, ПК-21, ПК-22, ПК-36), <i>CDIOSyllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-10, ОК-13, ОК-16, ПК-31, ПК-33), <i>CDIOSyllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Школа (ИШЭ) Инженерная Школа Электроэнергетики
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники
Профиль Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3А2	Будилину Максиму Анатольевичу

Тема работы:

Расчет релейной защиты и автоматики воздушной линии 110 кВ от ПС «Двуреченская» до ПС «Игольская»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (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.).	Объектом исследования является турбогенератор ГТЭС 4х6 МВт «Двуреченская», его система релейной защиты и автоматики. Исходные данные к работе: наименование и типы основного энергетического оборудования ГТЭС, схемы их электрических соединений, токи короткого замыкания внешней энергосистемы
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Анализ объема релейных защит, необходимых для генератора ГТЭС в соответствии с ПУЭ, выбор устройств релейной защиты, их комплектация и характеристики. Расчет уставок основного и дополнительного комплекта защит. Проверка их чувствительности. Оценка экономической эффективности от установки релейной защиты, рассмотрение вопросов социальной ответственности при эксплуатации РЗА.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Однолинейная схема электрических соединений электростанции

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Фигурко А.А.
Социальная ответственность	Доцент Дашковский А.Г.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Корнев В.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Будилин Максим Анатольевич		

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

Школа (ИШЭ) Инженерная Школа Электроэнергетики

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электрических сетей и электротехники Уровень образования Бакалавриат

Период выполнения Весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.02.2018	Цели и задачи исследования, аналитический обзор источников по теме исследования.	15
07.03.2018	Сбор необходимых данных для проектирования РЗА ВЛ-110 кВ	10
15.03.2018	Изучение особенностей устройств РЗА, установленных на ВЛ-110, изучение методик расчета уставок защит и токов короткого замыкания	10
02.04.2018	Составление схемы замещения района расположения исследуемой ВЛ-110 кВ в программе ТоКо.	15
12.04.2018	Расчет и проверка чувствительности уставок ПДЭ-2802	20
17.04.2018	Расчет и проверка чувствительности уставок ШДЭ-2802	15
21.04.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	5
29.04.2016	Социальная ответственность	5
10.05.2016	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Корнев В.А.			

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3А2	Будилин Максим Анатольевич

Школа	ИШЭ	Отделение	Электрических сетей и электротехники
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 материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоёмкость работы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- нормы амортизации;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления в социальные фонды; - накладные расходы и прочие расходы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- планирование выполнения проекта
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	- расчёт затрат на проектирование, определение стоимости проекта;
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	- определение технико-экономической эффективности от установки устройств РЗА ВЛ-110 кВ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График выполнения проектных работ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Будилин Максим Анатольевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5А3А2	Будилин Максим Анатольевич

Школа	ИШЭ	Отделение	Электрических сетей и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее место инженера РЗА, инженера-проектировщика, куратора работ, представляющее собой подстанцию 110 кВ.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 28.12.2013 г. №123 – Федеральный закон “О специальной оценке условий труда” от 28.12.2013 г. №426
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Перечень ВФ: – Параметры МК – Производственный шум и т.д.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	– В каких случаях может произойти поражение электрическим током (источники)
3. Охрана окружающей среды	– Утилизация отходов производства и потребления.(источники отходов)
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– Пожарная безопасность (пожар в электротехническом отсеке ГТА)
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– Рассмотрены основные организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. – Социальное страхование работников
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5А3А2	Будилин Максим Анатольевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 страницы, 1 рисунок, 16 таблиц, 25 источников, 5 приложений.

Ключевые слова: энергосистема, подстанция, линия электропередач, однолинейная схема соединений, ток короткого замыкания, трансформатор тока, уставка защиты, чувствительность.

Объектом исследования является комплект защит, установленный на ВЛ-110 кВ от ПС-110 «Двуреченская» - ПС-110 «Игольская» на ПС-110 «Двуреченская».

Цель работы – расчет уставок защит комплекта защит исследуемой воздушной линии со стороны ПС-110 «Двуреченская».

В процессе работы определим расчетную однолинейную схему района электрических сетей расположения объекта исследования, определим состав комплекта защит для защищаемого электрооборудования, выберем оборудование, на котором будут реализованы функции защит.

Используя специализированное программное обеспечение, рассчитаем токи короткого замыкания, определим напряжения узлах, рассчитаем сопротивления, на основании которых выберем уставки, характеристики защит с последующей проверкой их чувствительности.

Результаты и информация, полученные и представленные в данном проекте, могут быть использованы как при эксплуатации устройств РЗА, так и для решения других научно-исследовательских задач в районе электрических сетей расположения объекта исследования.

					ФЮРА.13.03.02.021 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Реферат			
Разраб.		М.А. Будилин						
Руков.		В.А. Корнев						
Н.контр.		В.А. Корнев						
						Лит.	Лист	Листов
							9	91
						ИШЭ НИ ТПУ гр. 3-5А3А2		

Содержание

Обозначения и сокращения	10
Введение	11
1. Краткая характеристика, история развития и особенности района расположения ВЛ-110 кВ ПС-110 «Игольская» – ПС-110 «Двуреченская»	13
2. Определение необходимого объема РЗА	16
3. Выбор оборудования релейной защиты и автоматики	17
4. Определение однолинейной схемы для расчета токов КЗ	18
5. Определение способа и средств для расчета токов КЗ	19
6. Параметры элементов расчетной схемы	22
7. Направленная высокочастотная защита ПДЭ-2802	27
7.1. Назначение и принцип действия	27
7.2. Пусковые и измерительные органы защиты	29
7.3. Расчет параметров срабатывания измерительных органов защиты	31
8. Защиты в составе ШДЭ-2802	44
8.1. Максимальная токовая защита без выдержки времени – токовая отсечка	44
8.2. Трехступенчатая дистанционная защита	45
8.3. Четырехступенчатая токовая защита нулевой последовательности	49
9. Заключение по расчету уставок РЗА ВЛ-110 кВ ПС-110 «Двуреченская» - ПС-110 «Игольская»	54
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
10.1 Введение	55
10.2 Планирование работ по проектированию и определение трудоемкости проектных работ	55

					ФЮРА.13.03.02.021 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>М.А. Будилин</i>			<i>Содержание</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					<i>10</i>	<i>91</i>
						<i>ИШЭ НИ ТПУ гпр. 3-5А3А2</i>		
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>						

10.3 Расчёт затрат на проектирование	56
10.4 Оценка экономической эффективностиот установки устройств РЗА на ВЛ-110 ПС-110 «Двуреченская» - ПС-110 «Игольская»	60
11. Социальная ответственность	67
11.1. Введение	67
11.2. Техногенная безопасность	68
11.3 Экологическая безопасность	78
11.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
11.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
12. Заключение	84
Список используемых источников	85
Приложение А	
Приложение Б	
Приложение В	
Приложения Г1 - Г20	
Приложение Д	

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПС – подстанция;

ГТЭС – газотурбинная электростанция;

РЗА – релейная защита и автоматика

КЗ – короткое замыкание;

ВЧ – высокочастотный

ДЗ – дистанционная защита

СД – синхронный двигатель

АД – асинхронный двигатель

ШР – шунтирующий реактор

БСК – батарея статических конденсаторов

ВН – высшее напряжение

СН – среднее напряжение

НН- низшее напряжение

ДЗ – дистанционная защита

ПО – пусковые органы

ИО – измерительные органы

СТЗНП – ступенчатая токовая защита нулевой последовательности

Введение

Для обеспечения быстрого развития промышленности и роста социально-бытовой обеспеченности населения нашего государства крайне важно развитие электрических сетей всех классов напряжения, причем это развитие должно вестись с опережающими темпами. При этом растут протяженности линий электропередач, их разветвленность, а увеличение передаваемой мощности от источников мощности к потребителям электрической энергии неизбежно приводит к повышению класса напряжения системных связей, объединению локальных электрических сетей в крупные энергетические системы.

Такое укрупнение в единую, мощную и сложную энергосистему в пределах нескольких крупных регионов, конечно, очень эффективно покрывает потребность в электрической энергии любого подключенного к сетям потребителя за счет наличия множества вариантов перетока мощности, задействования резервных мощностей всей объединенной энергосистемы. Однако возникновение ненормальных режимов работы сети в одной части такой энергосистемы может привести к нарушению работы во всей энергосистеме, отключению межсистемных связей, аварийному отключению генераторов. Поэтому, с ростом мощности и объединением электрических сетей, существенно возрастает роль противоаварийной автоматики и релейной защиты элементов энергосистемы. Именно максимально быстрая и точная локализация и отключение поврежденного элемента, отключение в необходимом объеме межсистемных связей, обеспечение минимального перерыва в электроснабжении потребителей энергосистемы определяет эффективность действия релейной защиты и противоаварийной автоматики.

					ФЮРА.13.03.02.021 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		М.А. Будилин			Введение					
Руков.		В.А. Корнев								
Н.контр.		В.А. Корнев			ИШЭ НИ ТПУ гр. 3-5А3А2					
					Лит.		Лист		Листов	
							13		91	

Таким образом релейная защита и противоаварийная автоматика не только способствует бесперебойности электроснабжения потребителей, но и минимизирует ущерб, наносимый энергетическому оборудованию возникающими в них повреждениями.

Для обеспечения быстродействия, чувствительности, надёжности и селективности защит в условиях непрерывного процесса развития и усложнения электроэнергетических систем, требуется применять наиболее современные и совершенные комплексы РЗА. Еще два-три десятка лет устройства РЗА представляли собой громоздкие, сложные в обслуживании и наладке, электромеханические устройства с множеством реле, клеммных колодок, контактных групп, надёжность которых оставляла желать лучшего и требовала сложного и трудоёмкого обслуживания. В настоящее время современные электроустановки оборудуются электронными и микропроцессорными комплексами РЗА, интеллектуальными системами противоаварийной автоматики с огромной скоростью вычислительных процессов, высокой надёжностью, системами непрерывного самотестирования, обладающие интуитивно понятным интерфейсом. К тому же эти системы как правило имеют модульное исполнение и просты в монтаже и наладке.

Целью данной работы является выбор устройств РЗА и расчет уставок выбранных защит с проверкой чувствительности для выключателей 110 кВ отходящей воздушной линии 110 кВ от ПС-110 «Двуреченская» до ПС-110 «Игольская». При этом цель достигается решением следующих задач: определение объема защит в соответствии с ПУЭ, выбор устройств защит, расчет их уставок по соответствующим методикам. Актуальность работы заключается в том, что результаты этой работы могут быть применены при настройке защит РЗА данной воздушной линии, а изложенные методики – для расчета защит любых линий 110 кВ с защитами ПДЭ-2802, ШДЭ-2802.

1. Краткая характеристика, история развития и особенности района расположения ВЛ-110 кВ ПС-110«Игольская» – ПС-110 «Двуреченская»

Особенностью электрических сетей высокого напряжения Томской области является их существенная протяженность и удаленность от мощных источников генерации электрической энергии. Мощности электростанций, расположенных в Томской области, не обеспечивают покрытие графика нагрузки потребителей области.

Так, в период развития нефтедобывающей отрасли на севере области, часть потребности в электрической энергии покрывалось за счет мощных электростанций Ханты-Мансийского автономного округа. Однако развитие нефтепромыслов Васюганской группы месторождений, которые расположены на северо-востоке области, столкнулось с существенными ограничениями по подключению новых промышленных нагрузок. Так, вследствие высокой протяженности линий и отсутствия источников мощности, запуски крупных синхронных электродвигателей, короткие замыкания в линиях 6 кВ приводили к веерным отключениям потребителей из-за значительного снижения напряжений в узлах подключения нагрузок. Особенной сложностью в таких удаленных сетях представляет качественная настройка релейной защиты и автоматики элементов энергосистемы: линий электропередач, трансформаторов и крупной двигательной нагрузки. Это связано с низкими токами короткого замыкания, возникающие при повреждениях в сетях, которые в удаленных точках энергосистемы порой ненамного выше токов, протекающих в максимальном режиме электрических нагрузок. Для решения вышеуказанных проблем нефтегазодобывающие компании предприняли следующие действия:

- запрещено подключение к сетям нагрузок буровых установок, работающих в резко-переменном режиме нагрузок;
- запущены в эксплуатацию энергогенерирующие установки на попутном нефтяном газе: ГТЭС Западно-Полуденная (3*2,5 МВт), ГТЭС

Игольская (6*6 МВт), ГТЭС Двуреченская (4*6 МВт), ГПЭС Южно-Черемшанская (6*1,35 МВт)

- на шинах подстанций 110 кВ Катыльгинская, Игольская, Двуреченская смонтированы устройства компенсации реактивной мощности (батарея статических конденсаторов с управляемым шунтирующим реактором мощностью 25 МВАр);

- использование плавного пуска для крупных двигательных нагрузок.

Однолинейная схема района расположения ВЛ-110 кВ ПС «Двуреченская» – ПС «Игольская» представлена в приложении А. Данная воздушная линия обеспечивает транзит мощности потребителям, подключенным к промежуточным подстанциям 110 кВ «Крапивинская», «Западно-Моисеевская», а также потребителям ПС-110 «Двуреченская», «Новый Васюган». Выключатели ВЛ-110 ПС «Двуреченская» - ПС «Катыльгинская» на ПС-110 «Катыльгинская» в нормальном режиме отключены, т.к. данные подстанции получают питание от разных энергосистем (ПС-110 «Катыльгинская» - с севера, от энергосистемы Тюменской области, а ПС-110 «Двуреченская» - с юга, фактически от энергосистем Кузбасса и Новосибирской области), которые не могут быть включены в этой точке в параллельную работу из-за разности углов между векторами ЭДС этих энергосистем. Эти выключатели могут быть включены только отключения питания ПС-110 «Новый Васюган» со стороны «юга». Это связано с высокой загрузкой северных электрических сетей 110 кВ и большой удалённостью от источников мощности. Также возможно включение транзита мощности по ВЛ-110 «Катыльгинская» - «Двуреченская» - «Игольская» только в экстренных ситуациях для электроснабжения нагрузок, обеспечивающих жизнедеятельность вахтовых поселков с существенным ограничением промышленных нагрузок. Принимая во внимание, что за весь период эксплуатации электрических сетей в данном регионе (более 25 лет) прекращение электроснабжения одновременно по обоим цепям ВЛ-110 кВ от ПС-220 кВ «Парабель» не происходило ни разу

даже кратковременно, при расчете токов КЗ считаем данных транзит мощности гарантированным, а ПС-110кВ «Новый Васюган» - фактически тупиковой в сети 110 кВ.

Генерация в исследуемой части энергосистемы представлена:

- ГТЭС «Игольская» 1-ой очереди 4х6 МВт с выдачей мощности на шины 35 кВ ПС-110 «Игольская» через собственное ОРУ 6/35 кВ;
- ГТЭС «Игольская» 2-ой очереди 2х6 МВт с выдачей мощности на шины 6 кВ ПС-110 «Игольская»;
- ГТЭС «Двуреченская» 4х6 МВт с выдачей мощности на шины 35 кВ ПС-110 «Двуреченская» через собственное ОРУ 6/35 кВ;

Нагрузка в исследуемой части энергосистемы, которая может обеспечить подпитку точек КЗ, представлена электродвигателями напряжением 6 кВ:

- Синхронными электродвигателями мощностью 1600 кВт блочных кустовых насосных станций (эти электродвигатели отключаются в первую очередь, если требуется ввести режим ограничения потребляемой мощности, их отключение влияет на эффективность нефтедобывающих скважин);

- Асинхронными электродвигателями газодожимных компрессоров ГТЭС мощностью 250, 280, 710, 814 кВт. На ГТЭС «Двуреченская» компрессоры работают блочно с газотурбинной установкой, на ГТЭС «Игольская-1» и «Игольская-2» в работе по одному электродвигателю.

- Асинхронными электродвигателями мощностью 250, 630, 800 кВт насосов перекачки нефти (250 кВт – насосы внутренней перекачки нефти, 630, 800 – внешней перекачки нефти). Эти электродвигатели находятся в работе в зависимости от технологического цикла подготовки нефти до товарной. Внешняя перекачка подает нефть в магистральный нефтепровод, внутренняя – на заполнение резервуаров.

Нагрузки на напряжении 0,4 кВ не учитываем, т.к. они практически не оказывают влияния на величины токов КЗ в сети 110 кВ и существенно усложнят расчеты.

2. Определение необходимого объема РЗА

Объем необходимых защит определен главой 3.2. ПУЭ.

Дополнительно отметим, что расчетная ВЛ-110 обеспечивает электроснабжение потребителей II категории надежности. Генераторы ГТЭС оснащены защитами от асинхронного хода, поэтому в данной сети асинхронный считаем невозможным. Т.к. данный энергорайон фактически питается от одной энергосистемы (от ПС-220 «Парабель»), а системы возбуждения генераторов работают по уровню напряжения сети без функции поддержания определенного значения, то качания в энергосистеме можно считать маловероятными.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также в соответствии требованиями к защитам воздушных линий в сетях напряжением 110-500 кВ с эффективно заземленной нейтралью определяем следующее:

- должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от замыканий на землю;
- основная защита должна действовать без замедления при КЗ в любой точке защищаемого участка;
- при необходимости осуществления быстродействующего АПВ на линии должна быть установлена быстродействующая защита, обеспечивающая отключение поврежденной линии без выдержки времени с обеих сторон;
- на одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий следует устанавливать ступенчатые токовые защиты или ступенчатые защиты тока и напряжения. Если такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности или скорости отключения повреждения, должна быть предусмотрена ступенчатая дистанционная защита. В последнем случае в качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени.

- от замыканий на землю должна быть предусмотрена, как правило, ступенчатая токовая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности. Защита должна быть установлена, как правило, только с тех сторон, откуда может быть подано питание [1; п. 3.2.110];
- Для линий 110-220 кВ рекомендуется осуществлять основную защиту с использованием высокочастотной блокировки дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит, когда это целесообразно по условиям чувствительности (например, на линиях с ответвлениями) или упрощения защиты.

Таким образом, для защиты ВЛ-110 кВ «Игольская» - «Двуреченская» со стороны ПС-110 «Двуреченская» определяем следующий объем защит:

- направленная высокочастотная защита;
- токовая отсечка;
- трехступенчатая дистанционная защита;
- четырехступенчатая токовая защита нулевой последовательности.

3. Выбор оборудования релейной защиты и автоматики

Выключатель ВМТ-110, которым производится отключение линии, оборудован трансформаторами тока с током вторичной обмотки 1А, на секции установлен трансформатор напряжения с вторичным напряжением 100 В. Питание устройств релейной защиты осуществляется постоянным током на напряжении 220 В. Для этого на подстанции имеются щиты постоянного тока, оборудованные батареями аккумуляторов.

Для обеспечения необходимого объема защит воздушной линии выбираем:

- панель направленной высокочастотной защиты типа ПДЭ-2802.01.20Е2;
- шкаф защит ШДЭ-2802.01.20.Е2, имеющий в своем составе:

Основной комплект защит:

-трехступенчатая дистанционная защита от всех видов КЗ, содержащая: орган выдержки времени, устройство блокировки при качаниях, устройство блокировки при неисправностях в цепях напряжения;

- токовая защита, в которую входят:

- четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю, токовая отсечка от многофазных замыканий;

- Реле тока для устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ)

Резервный комплект защит:

- двухступенчатая для действия при всех видах многофазных КЗ;

- двухступенчатая ТНЗНП;

- блок питания 15 Вт;

Блок питания 50 Вт.

Эти устройства зарекомендовали себя надежными, не требующими сложного и трудоёмкого обслуживания и для защиты линий 110-330 кВ применяются повсеместно.

4. Определение однолинейной схемы для расчета токов КЗ

Уставки токовых защит комплектов РЗА выключателя ВЛ-110 «Игольская» - «Двуреченская» со стороны ПС-110 «Двуреченская» рассчитываются по токам КЗ, которые будут протекать через данный выключатель при возникновении КЗ в конце защищаемой линии (т.е. на шинах ПС-110 «Игольская»), а также в конце ВЛ-110 «Лугинецкая» - «Игольская» (т.е. на шинах ПС-110 «Лугинецкая») для обеспечения резервирования защит этой смежной линии.

Так, для определения тока КЗ, протекающего через расчетный выключатель при КЗ на шинах ПС-110 «Игольская», необходимо учесть все источники подпитки точки КЗ не только подключенных к ПС-110 «Двуреченская», но и к ПС-110 «Западно-Моисеевская», «Крапивинская».

Величина тока КЗ, протекающего через расчетный выключатель при КЗ на шинах ПС «Лугинецкая» также будет зависеть от источников подпитки точки КЗ, подключенных к ПС-110 «Игольская». Также из схемы исключаем все подстанции с нагрузками, от которых не будет подпитки коротких замыканий.

Между ПС-110 «Крапивинская», «Зап-Моисеевская», «Двуреченская» на напряжении 35 кВ имеются связи ЦЛ-1Кр, ЦЛ-6 ЗМ, ЦЛ-2 ЗМ, ЦЛ-7 ЗМ. Данные связи могут быть включены в работу только в случае исчезновения напряжения в сети 110 кВ, для электроснабжения сугубо бытовых нагрузок и небольшого фонда скважин добычи нефти от ГТЭС «Двуреченская» или от сети 110 кВ со стороны ПС-110 «Катыльгинская». Поэтому наличие этих связей в расчете токов КЗ в сети 110 кВ можно не учитывать.

Сеть 6 кВ в расчетной схеме преимущественно состоит из кабельных линий, при этом, как правило распределительные устройства насосных станций, генераторов расположены в одном здании или в близкорасположенных зданиях и длина кабельных линий не превышает 100 м. Поэтому, ввиду незначительной длины и малого индуктивного сопротивления кабельных линий, в расчетах учитываем только токопроводы из неизолированных проводов длиной более 0,1 км и кабельные линии длиной более 0,2 км.

В приложении Б представим однолинейную схему в объеме, необходимом для производства расчетов токов КЗ.

5. Определение способа и средств для расчета токов КЗ

Расчет схемы вручную.

В данном случае необходимо определить сопротивления элементов схемы по известным справочным параметрам генераторов, линий, трансформаторов, двигателей. Рассчитанные значения сопротивлений и ЭДС включаются в схему замещения электрической сети в соответствии с

однолинейной схемой. Для получения тока симметричного тока КЗ необходимо составить схему замещения прямой последовательности и эквивалентировать её относительно заданной точки КЗ в соответствии с заданным режимом. Для получения тока несимметричного КЗ дополнительно необходимо составить схемы замещения обратной и нулевой последовательности. Схема замещения обратной последовательности практически не отличается от схемы замещения прямой последовательности, сопротивления элементов можно принимать равными сопротивлениям прямой последовательности, а источники ЭДС принимаются равными нулю. Схема замещения нулевой последовательности отличается от схемы прямой последовательности. Структура этой схемы зависит от групп соединения обмоток трансформаторов. Сопротивления элементов схемы также будут отличаться от значений сопротивлений прямой последовательности. Так, все двигатели и генераторы, а также обмотки трансформаторов без связи с «землей» будут обладать бесконечным сопротивлением, сопротивления обмоток трансформаторов зависит от способа заземления их нейтралей, а сопротивления линий электропередач вообще зависит от наличия грозозащитного троса, его материала, наличия взаимной реактивности между цепями линии, а также от места расположения повреждения, если КЗ случилось на линии. Полученные схемы обратной и нулевой последовательности также эквивалентировываются относительно точки КЗ, а по полученным сопротивлениям рассчитывается сопротивление шунта к режиму симметричного КЗ в зависимости от вида повреждения.

Расчеты можно производить в относительных единицах при задании базисной мощности, ступеням базисных напряжений и токов, в именованных единицах с приведением всех сопротивлений сети к ступени места КЗ.

При каждом изменении режима работы сети, изменения места расположения повреждения расчет схемы необходимо проводить заново, и чем больше и сложнее сеть, тем более трудоёмок этот процесс и высока вероятность ошибки в расчётах.

Расчет схемы с помощью программного комплекса ТКЗ-3000.

Этот программный комплекс разработан Новосибирским проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом «Энергосеть-проект». Он позволяет рассчитать электрические величины в трехфазной симметричной по параметрам сети любого класса напряжения при однократной продольной (обрыв) или поперечной (КЗ) несимметрии, а также рассчитать уставки и чувствительность ступенчатых токовых направленных защит нулевой последовательности. Предельные возможности по сети: 3000 узлов и 7500 ветвей с учетом как индуктивных, так и активных сопротивлений, в том числе, 2500 совокупностей индуктивно связанных ветвей с количеством ветвей в каждой совокупности до 20. Для работы в этом комплексе необходимо составить схемы замещения всех последовательностей, рассчитать активные и реактивные сопротивления ветвей схемы, поперечные проводимости и коэффициенты трансформации, задать узловые сверхпереходные ЭДС, пронумеровать каждый узел схемы, определить типы ветвей. Полученные таблицы вводятся в программу. Комплекс работает под управлением операционной системы MSDOS и поэтому нетребователен к вычислительной мощности компьютера и способен работать даже на IBM PC процессором Intel x286. Однако эта нетребовательность к вычислительной мощности в современном мире имеет существенный недостаток – крайне неудобный графический интерфейс, необходимость выполнять комплекс подготовительных расчетов и отдельно вычерчивать схему расчетного энергорайона.

Расчет схемы с помощью программы «ТоКо».

Эта программа обладает всеми возможностями ТКЗ-3000, имеет простой в понимании графический интерфейс, встроенную справку по работе с программой. Схема создается в собственном графическом редакторе из набора готовых графических элементов, параметры которых вносятся прямо во всплывающие окна. Также программа предлагает выбрать элементы схемы из введенной в программу базы генераторов, двигателей,

трансформаторов, проводов, кабелей и других элементов. При этом в трансформаторах можно быстро менять группы соединения обмоток и способов заземления из нейтралей. Программа самостоятельно определяет нумерацию узлов, вычисляет все сопротивления, проводимости и ЭДС. Программа вычисляет все виды коротких замыканий, показывает все симметричные составляющие тока КЗ и остаточного напряжения не только в точке КЗ, но в любом элементе схемы, в любой период времени после повреждения.

Расчеты токов КЗ проводим в этой программе.

6. Параметры элементов расчетной схемы

Используя справочную литературу, информационные промышленные порталы интернета, заводские паспорта оборудования, а также информацию, полученную от центральной службы РЗА ООО «Энергонефть-Томск», представим параметры элементов схемы в объеме, необходимом для внесения в программу «ТоКо».

Энергосистемы:

Энергосистема, примыкающая к шинам ПС-110 «Двуреченская» со стороны Северных электрических сетей (со стороны ПС-110 «Катыльгинская»):

Максимальный режим: $S_{KCmax} = 230$ МВА; $U_c = 115$ кВ; $X_0/X_1 = 2,29$;

Минимальный режим: $S_{KCmin} = 144,7$ МВА; $U_c = 115$ кВ; $X_0/X_1 = 2,33$;

Энергосистема, примыкающая к шинам ПС-110 «Лугинецкая» со стороны юга:

Максимальный режим: $S_{KCmax} = 374$ МВА; $U_c = 115$ кВ; $X_0/X_1 = 2,41$;

Минимальный режим: $S_{KCmin} = 210$ МВА; $U_c = 115$ кВ; $X_0/X_1 = 2,44$;

Генераторы:

Генераторы всех ГТЭС схемы одинаковые: ТК-6 ХК «Привод»:

Таблица 1. Параметры генераторов

$U_{\text{ном}}$, кВ	$P_{\text{ном}}$, МВт	$\cos\phi_{\text{ном}}$, о.е.	X''_d , о.е.	X_2 , о.е.	T_a , с
6,3	6	0,8	0,1488	0,1815	0,0986

Где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная активная мощность;

$\cos\phi_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент мощности;

X''_d – сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси;

X_2 – индуктивное сопротивление обратной последовательности;

T_a – постоянная времени апериодической составляющей при трёхфазном КЗ.

Электродвигатели:

Асинхронные: В схеме используются различные типы взрывозащищенных электродвигателей от разных производителей и их индивидуальные характеристики при равной мощности отличаются незначительно. К тому же отсутствует возможность узнать паспортные данные на электродвигатели иностранного производства, которые установлены на газодожимных компрессорах ГТЭС, насосов УФНС. Поэтому для таких двигателей используем справочные данные близких по мощности отечественных электродвигателей марки ВАО.

Таблица 2. Параметры асинхронных электродвигателей.

$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, кВ	$\cos\phi_{\text{ном}}$, о.е.	η , %	$I_{\text{п}}$, о.е.	$n_{\text{ном}}$, об/мин
250	6	0,88	94,2	6	2980
280	6	0,88	94	6	2980
630	6	0,9	94,5	6	2970
710	6	0,9	94,5	6,5	2970
800	6	0,9	95	6,5	2970
814	6	0,9	95	6,5	2970

Где η – коэффициент полезного действия;

$I_{\text{п}}$ – кратность пускового тока;

$n_{\text{ном}}$ – номинальная частота вращения.

Синхронные: В схеме используется один тип электродвигателя: СТД-1600

Таблица 3. Параметры синхронных электродвигателей.

$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$\cos\phi_{\text{ном}}, \text{о.е.}$	$X''_d, \text{о.е.}$	$X_2, \text{о.е.}$	$T_a, \text{с}$
1600	6,1	0,865	0,13	0,16	0,059

Токоограничивающие реакторы:

Таблица 4. Параметры токоограничивающих реакторов.

Место расположения	Тип	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$X_p, \text{Ом}$	$\Delta P, \text{кВт}$
СВ ГРУ ГТЭС "Игольская-1"	РТСТ-1600-0,35	1600	6	0,35	12,6
Ввод ГРУ ГТЭС "Игольская-2"	РТСТ-1600-0,78	1600	6	0,78	19,1
СВ ГРУ ГТЭС "Игольская-2"	РТСТ-1000-0,78	1000	6	0,78	12,5

Где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток реактора;

X_p – индуктивное сопротивление реактора;

ΔP – потери активной мощности.

Шунтирующие реакторы и батареи статических конденсаторов:

На ПС-110 «Игольская», «Двуреченская» установлены одинаковые системы компенсации реактивной мощности.

Таблица 5. Параметры шунтирующих реакторов и батарей статических конденсаторов.

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$S_{\text{ном}}, \text{МВА}$	$\Delta P, \text{кВт}$
ШР (РТУ-25000/110)	110	25	120
БСК	110	-25	-

При этом в программе «ТоКо» БСК представляем реактором с отрицательной мощностью.

Двухобмоточные трансформаторы:

В схеме используются двухобмоточные трансформаторы двух типов с высшим напряжением 35 кВ: ТМН-6300/35 и ТДНС-10000/35.

Таблица 6. Параметры двухобмоточных трансформаторов.

Тип	$S_{\text{ном}}, \text{МВА}$	Группа соединений	$U_{\text{номВН}}, \text{кВ}$	$U_{\text{номНН}}, \text{кВ}$	$U_k, \%$	$\Delta P_k, \text{кВт}$
ТМН-6300/35	6,3	Y/Δ	35	6,3	7,5	46,5

ТДНС-10000/35	10	Y/Δ	36,75	6,3	8	19,1
---------------	----	-----	-------	-----	---	------

Где $U_{номВН}, U_{номНН}$ – номинальные напряжения обмоток ВН и НН

U_k – напряжение короткого замыкания

Трансформаторы с расщепленной обмоткой НН:

Два таких трансформатора установлены на ОРУ-35 ГТЭС «Игольская-1»

Таблица 7. Параметры трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения.

Тип	$S_{ном}$, МВА	Группа соед.	$U_{номВН}$, кВ	$U_{номНН}$, кВ	U_k , %	$U_{кН-Н}$, %	ΔP_k , кВт
ТРДНС-25000/35	25	Y/Δ	36,75	6,3-6,3	10,5	30	115

Трехобмоточные трансформаторы:

В схеме используются трехобмоточные трансформаторы двух типов с ВН 110 кВ: ТДТН-25000/110 и ТДТН-40000/110.

Таблица 8. Параметры трехобмоточных трансформаторов.

Тип	$S_{ном}$, МВА	Группа соединений	$U_{номВН}$, кВ	$U_{кВ-С}$, %	ΔP_k , кВт
			$U_{номСН}$, кВ	$U_{кВ-Н}$, %	
			$U_{номНН}$, кВ	$U_{кС-Н}$, %	
ТДТН- 25000/110	25	Y-0/ Y/Δ	115	10,5	140
			38,5	17,5	
			6,6	6,5	
ТДТН- 40000/110	40	Y-0/ Y/Δ	115	10,5	200
			38,5	17,5	
			6,6	6,5	

Линии электропередач:

Таблица 8. Параметры воздушных и кабельных линий.

Начало	Конец	Дисп.Наим- е	$U_{раб}$, кВ	Кол- во цепей	Марка провода	L, км
Воздушные линии 110 кВ						
ОРУ-110 ПС Двуреченская	Отпайка на ПС Зап-Моисеевская	С-140, С-141	110	2	АС-120	9
Отпайка на ПС Зап-Моисеевская	ПС Зап- Моисеевская					1,4
Отпайка на ПС	Отпайка на ПС					19

Зап-Моисеевская	Крапивинская					
Отпайка на ПС Крапивинская	ПС Крапивинская					0,5
Отпайка на ПС Крапивинская	ОРУ-110 ПСИгольская					69,7
ОРУ-110 ПСИгольская	ОРУ-110 ПСЛугинецкая	С-109, С-110	110	2	АС-120	163,5

Продолжение таблицы 8.

Начало	Конец	Дисп. Наим-е	U _{раб} , кВ	Кол- во цепей	Марка провода	L, км
Воздушные линии 35 кВ						
ОРУ-35 ПС 110 Двуреченская	ОРУ-35 ГТЭС Двуреченская	ЦЛ-3Дв, ЦЛ-4Дв	35	2	АС-240	0,424
ОРУ-35 ГТЭС Двуреченская	ПС-602	ЦЛ-3.1Дв, ЦЛ-4.1Дв	35	2	АС-120	0,29
ОРУ-35 ПС 110 Зап-Моисеевская	ПС-604	ЦЛ-1 3М, ЦЛ-5 3М	35	2	АС-120	2,9
ОРУ-35 ПС 110 Крапивинская	ПС-609	ЦЛ-3 Кр, ЦЛ-6 Кр	35	2	АС-120	17,9
ОРУ-35 ПС 110 Крапивинская	ПС-605	ЦЛ-2 Кр, ЦЛ-5 Кр	35	2	АС-120	0,74
ОРУ-35 ПС 110 Игольская	ОРУ-35 ГТЭС Игольская	ЛС-35-1, ЛС-35-2	35	2	АС-185	0,08
ОРУ-35 ГТЭС Игольская	ПС-303	ЦЛ-8, ЦЛ-9	35	2	АС-120	12,45
ОРУ-35 ГТЭС Игольская	ПС-307	ЦЛ-14, ЦЛ-15	35	2	АС-120	11,275
Токопроводы и кабельные линии 6 кВ						
РУ-6 СГ ГТЭС Двуреченская	АД-250(280) 4 шт		6	1	ПвВ 3х35	0,23
РУ-6 ПС Двуреченская	БРУ-6 БКНС-38		6	2	2хАС- 240	0,6
РУ-6 ПС-604	БРУ-6 БКНС-37		6	2	2хААШВ 3х150	0,32
РУ-6 ПС-609	БРУ-6 БКНС-40		6	2	АС-240	0,4
РУ-6 ПС-609	РУ-6 МФНС		6	2	АС-120	0,5
РУ-6 ПС-605	БРУ-6 БКНС-36		6	2	АС-120	0,5
РУ-6 ПС-605	РУ-6 УПН Крап		6	2	АС-240	0,4
РУ-6 ПС-303	БРУ-6 БКНС-35		6	2	АС-240	0,22
РУ-6 ПС-307	БРУ-6 БКНС-39		6	2	2хСБЛГУ 3х95	0,6
ОРУ-35 ГТЭС Игольская	РУ-6 ГТЭС Игольская-1		6	2	2хАС- 600	0,1
РУ-6 ПС Игольская	РУ-6 ГТЭС Игольская-2		6	2	2хАС- 600	0,1
РУ-6 ПС Игольская	РУ-6 №1		6	2	АС-240	0,7

РУ-6 №1	РУ-6 ЦППН		6	2	A-95	1,0
---------	-----------	--	---	---	------	-----

В соответствии с однолинейной схемой в приложении Б, параметрами элементов схемы, в графическом редакторе программы ТоКо составляем расчетную схему. При этом в схеме отображаем все элементы, отключение элементов будем производить для достижения режимов максимального и минимального токов КЗ. При этом, при внесении данных по секционным связям и трансформаторам 110 кВ, следует обратить внимание, что секционные выключатели в нормальном режиме на ПС-110 «Двуреченская», «Игольская», «Лугинецкая» включены, а нейтрали обмоток высшего напряжения трансформаторов на ПС-110 «Двуреченская», «Игольская» глухо заземлены.

Полученная схема с отображением примерных диалоговых окон параметром элементов схемы представлена в приложении В.

7. Направленная высокочастотная защита

7.1. Назначение и принцип действия

Направленная высокочастотная защита линии состоит из двух полуккомплектов, которые устанавливаются на концах защищаемой линии. Каждый полуккомплект состоит из релейной (панель ПДЭ-2802) и высокочастотную части (приёмопередатчик ПВЗУ-Е).

Защита действует при всех видах КЗ: при несимметричных КЗ - как направленная защита с ВЧ блокировкой, при трёхфазных КЗ - как направленная дистанционная ВЧ защита с блокировкой при качаниях. Защита не срабатывает при внешних КЗ, неполнофазных режимах, реверсе мощности при каскадных отключениях КЗ на параллельной линии, несинхронных включениях и режимах одностороннего включения без КЗ.

Принцип действия защиты основан на косвенном сравнении направления мощности по концам защищаемой линии посредством ВЧ

сигналов, передаваемых по каналу связи, в качестве которого используется одна из фаз защищаемой линии.

При несимметричных повреждениях на линии мощность обратной последовательности будет направлена от места повреждения в сторону ее концов (шин), а при симметричных - мощность прямой последовательности направлена от шин к месту повреждения.

После возникновения КЗ в каждом из полукомплектов защиты вначале выполняется ускоренный пуск ВЧ передатчика. Затем осуществляется останов ВЧ передатчика в полукомплекте, для которого мощность обратной последовательности направлена от линии к шинам в случае несимметричного КЗ или мощность прямой последовательности направлена от шин в линию при симметричном КЗ. При срабатывании соответствующих пусковых или измерительных органов в этом же полукомплекте защиты выполняется пуск на отключение.

В случае повреждения на защищаемой линии в точке К2 (рисунок 3) блокирующие ВЧ сигналы от каждого из полукомплектов отсутствуют, и защита действует на отключение выключателей концов линии. При КЗ вне защищаемой зоны (точка К1) ВЧ передатчик полукомплекта А остаётся запущенным, блокируя тем самым возможное действие на отключение от полукомплекта Б.

В нормальном режиме работы все пусковые (ПО) и измерительные (ИО) органы полукомплектов защиты, установленных по концам линии, находятся в несработанном состоянии, так как их уставки отстраиваются от нагрузочного режима с учётом допустимых небалансов. Выходные цепи защит находятся в несработанном состоянии и ВЧ передатчики полукомплектов не запущены.

С целью непрерывного контроля исправности связи релейной части защиты с приёмопередатчиком она организована так, что при отсутствии ВЧ сигнала на дискретном входе терминала («ВЧ приёмник») формируется

логический сигнал «1», а при его наличии или нарушении указанной связи - сигнал «0».

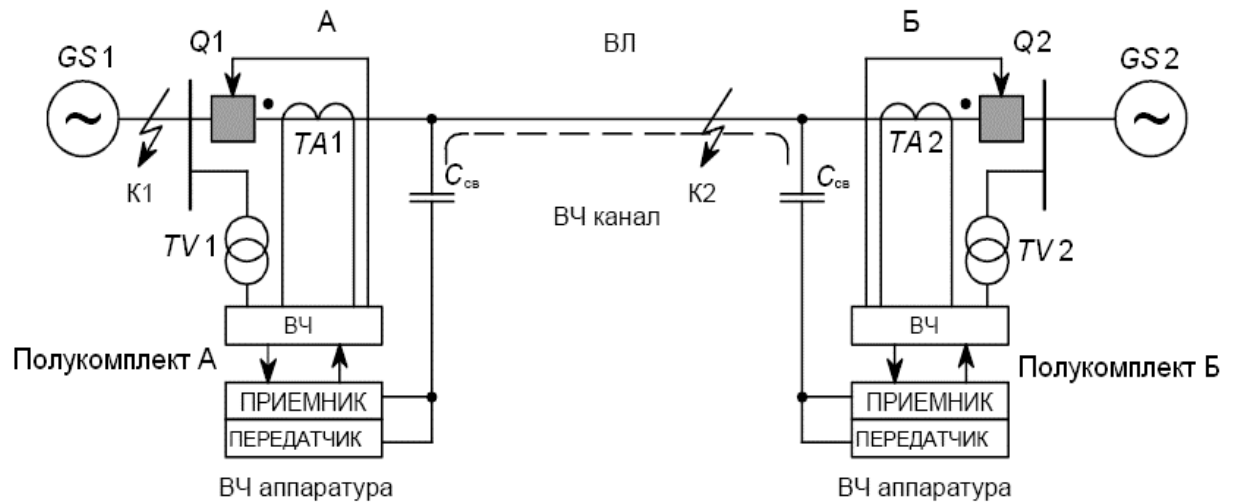


Рисунок 1. Взаимодействие полукомплектов ВЧ защиты.

Таким образом, возможное действие защиты на отключение блокируется как при приёме ВЧ сигнала, так и при неисправности связи с высокочастотной частью защиты, что может привести к ложной работе.

7.2. Пусковые и измерительные органы защиты

Программное обеспечение направленной ВЧ защиты содержит следующие ПО и ИО:

- ПО, реагирующие на ток обратной последовательности, с выходами $I_{2_бл}$ для пуска блокирующего ВЧ сигнала и $I_{2от}$ для пуска на отключение с отдельной регулировкой уставок;
- ПО, реагирующие на напряжение обратной последовательности, с выходами $U_{2бл}$ для пуска блокирующего ВЧ сигнала и $U_{2от}$ для пуска на отключение с отдельной регулировкой уставок;
- ИО направления мощности обратной последовательности $M_{2от}$ с пуском от $I_{2бл}$ и $U_{2бл}$ для действия на отключение и блокировку пуска ВЧ сигнала;

- ИО сопротивления $Z_{от(СA)}$, включенный на линейное напряжение U_{CA} и соответствующие разности фазных токов, для действия на отключение при трехфазных КЗ с блокировкой при качаниях;
 - ИО сопротивления $Z_{бл(СA)}$, включенный на линейное напряжение U_{CA} и соответствующие разности фазных токов, для пуска блокирующего ВЧ сигнала при трехфазных КЗ;
 - ПО, реагирующий на ток обратной последовательности с торможением от модуля первой гармоники тока прямой последовательности $I_{2Тоткл}$, для действия на отключение. Введен для повышения чувствительности защиты по напряжению при питании ВЛ от мощных подстанций;
 - ПО, реагирующий на скорость изменения токов прямой и обратной последовательности $\Delta I_{бл}$ для пуска устройства блокировки при качаниях;
 - ПО, реагирующий на ток обратной последовательности с торможением от модуля первой гармоникитока прямой последовательности $I_{2Тпуск}$, для действия на пуск устройства блокировки при качаниях;
- При наличии на ВЛ ответвления, без установки на нем ВЧ защиты, предусмотрены органы, позволяющий отстроиться от КЗ за трансформатором ответвления:
- ПО тока нулевой последовательности I_0 ;
 - ИО сопротивления с выходами $Z_{доп(AB)}$ и $Z_{доп(BC)}$, включенные на линейные напряжение U_{AB} и U_{BC} и соответствующие разности фазных токов.

Средняя основная погрешность ПО, реагирующих на ток и напряжение, не более 10 % от уставки. Коэффициент возврата ПО $I_{2бл}$, $I_{2от}$, $U_{2бл}$, $U_{2от}$, $I_{2Тоткл}$, $I_{2Тпуск}$ (при отсутствии торможения) не менее 0,9.

Времена срабатывания ПО $I_{2бл}$, $I_{2от}$, $U_{2бл}$, $U_{2от}$, $I_{2Тоткл}$, $I_{2Тпуск}$ (при отсутствии торможения) не превышают 0,025 с при кратности входных воздействующих величин (тока или напряжения обратной последовательности) к соответствующим параметрам срабатывания равной трем.

Времена возврата ПО $I_{2\text{бл}}$, $I_{2\text{от}}$, $I_{2\text{Тоткл}}$, $I_{2\text{Тпуск}}$ (при отсутствии торможения) не превышают 0,06 с при сбросе тока обратной последовательности на входе защиты от $10I_{\text{ср}}$ до нуля.

Времена возврата ПО $U_{2\text{бл}}$, $U_{2\text{от}}$ не превышают 0,04 с при сбросе напряжения обратной последовательности на входе защиты от $10U_{\text{ср}}$ до нуля.

7.3. Расчет параметров срабатывания измерительных органов защиты

Расчет выполняем в соответствии с рекомендациями [2]. Исходя из условия, что линия практически имеет одностороннее питание, и рассчитываемый комплект установлен со стороны, где питание отсутствует, то уставки отключающих органов можно не производить. Но, т.к. данная защита является основной, то считаю необходимым учитывать возможность подачи питания от ПС-110 кВ «Катыльгинская» от энергосистемы севера.

Уставка блокирующего реле тока обратной последовательности $I_{2\text{бл}}$ определяется по условию отстройки от тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме и от тока обратной последовательности несимметричного режима по выражению:

$$I_{*2\text{уст.бл}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \cdot (I_{*2\text{нб}} + I_{*2\text{нр}}), \text{ где}$$

$K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,3;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, равен 0,9

$I_{*2\text{нб}}$ – относительное значение тока небаланса, обусловленное погрешностями трансформаторов тока, фильтра тока обратной последовательности, отклонением частоты сети от номинальной, несимметрией в токе;

$I_{*2\text{нр}}$ – относительное значение тока обратной последовательности, обусловленного несимметрией в системе. Т.к. в энергосистеме отсутствуют мощные нагрузки, способные вызвать несимметрию в сети 110 кВ в нормальном режиме работы, принимаем $I_{*2\text{нр}} = 0$.

$$I_{*2нб} = K_{2нбI} \cdot \frac{I_{раб.мах.п}}{I_{ном.п}} = 0,028 \cdot \frac{390}{600} = 0,0182 \text{ о.е.}, \text{ где}$$

$K_{2нбI}$ —коэффициент небаланса по току. Согласно рекомендаций [2; стр.11], принимаем равным 0,028;

$I_{раб.мах.п}$ — первичный максимальный рабочий ток нагрузки. Определим по допустимому длительному току для провода ВЛ АС-120 ([1; табл 1.3.29].

$$I_{допАС-120} = I_{раб.мах.п} = 390 \text{ А.}$$

$I_{ном.п}$ — первичный номинальный ток трансформаторов тока. Трансформаторы тока, встроенные в выключатель имеют коэффициент трансформации 600/5.

$$I_{ном.п} = 600 \text{ А.}$$

$$I_{*2уст.бл} \geq \frac{K_{отс}}{K_{\epsilon}} \cdot (I_{*2нб} + I_{*2нр}) = \frac{1,3}{0,9} \cdot 0,0182 = 0,025 \text{ о.е.}$$

Уставка срабатывания блокирующего реле тока обратной последовательности может быть установлена в диапазоне от 0,025 до 0,2 о.е. с шагом 0,025 о.е. Принимаем $I_{2уст.бл} = 0,025 \text{ о.е.}$

Уставка отключающего органа реле тока обратной последовательности $I_{2уст.от}$ для линий напряжением 110 кВ определяется по выражению:

$$I_{*2уст.от} \geq K_{отс} \cdot K_{ток} \cdot I_{*2уст.бл} \frac{I_{ном.бл}}{I_{ном.от}}, \text{ где}$$

$K_{отс}$ — коэффициент отстройки. Для линии с ответвлениями при отсутствии обходных связей принимается равным 1,7;

$K_{ток}$ — коэффициент токораспределения для токов обратной последовательности. Для линии с двухсторонним питанием равен 1.

$I_{ном.от}$, $I_{ном.бл}$ — первичные номинальные токи трансформаторов тока защиты, соответственно, рассматриваемого полуккомплекта и с которым производится согласование. Трансформаторы тока, встроенные в выключатель на ПС-110 «Игольская» имеют коэффициент трансформации 600/5.

$$I_{*2уст.от} \geq 1,7 \cdot 1 \cdot 0,025 \cdot \frac{600}{600} = 0,0425 \text{ о.е.}$$

Уставка срабатывания отключающего реле тока обратной последовательности может быть установлена в диапазоне от 0,05 до 0,4 о.е. с шагом 0,05 о.е. Принимаем $I_{*2уст.от} = 0,05$ о.е.

Уставка блокирующего реле напряжения обратной последовательности $U_{2бл}$ определяется по условию отстройки от напряжения небаланса от напряжения обратной последовательности несимметричного режима по выражению:

$$U_{2уст.бл} \geq \frac{K_{отс}}{K_{\epsilon}} \cdot (U_{2нб.в} + U_{2нр.в}), \text{ где}$$

$K_{отс}$ и K_{ϵ} принимаются равными 1,3 и 0,9 соответственно;

$U_{2нб.в}$ – приведенное ко вторичной стороне трансформаторов напряжения напряжение небаланса, обусловленное погрешностями трансформаторов напряжения, фильтра напряжения обратной последовательности, несимметрией напряжения;

$U_{2нр.в}$ – приведенное ко вторичной стороне трансформаторов напряжения напряжение обратной последовательности, обусловленное наличием источников несимметрии в сети. Аналогично $I_{2нр}$ принимаем $U_{2нр.в} = 0$.

Вторичное напряжение небаланса $U_{2нб.в}$ ориентировочно может быть определено по выражению:

$$U_{2нр.в} = K_{2нб.U} \cdot \frac{U_{\Phi.ср.ном.п}}{K_U} = 0,0213 \cdot \frac{110000}{1100 \cdot \sqrt{3}} = 1,23 \text{ В, где}$$

$K_{2нб.U}$ – коэффициент небаланса по напряжению. Согласно рекомендаций [2; стр.18], принимаем равным 0,0213;

$U_{\Phi.ср.ном.п}$ – первичное номинальное фазное напряжение сети;

K_U – коэффициент трансформации трансформаторов напряжения. Равен $110000/100 = 1100$;

$$U_{2уст.бл} \geq \frac{K_{отс}}{K_{\epsilon}} \cdot (U_{2нб.в} + U_{2нр.в}) = \frac{1,3}{0,9} \cdot 1,23 = 1,78 \text{ В}$$

Уставка срабатывания блокирующего реле напряжения обратной последовательности может быть установлена в диапазоне от 0,5 до 2,5 В с шагом 0,5 В. Принимаем $U_{2уст.бл} = 2,0$ В.

Уставка отключающего реле напряжения обратной последовательности $U_{2уст.от}$ определяется по условию согласования по чувствительности с блокирующими реле напряжения обратной последовательности

$$U_{2уст.от} \geq K_{отс} \cdot U_{2уст.бл}, \text{ где}$$

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаем равным 1,7

$$U_{2уст.от} \geq 1,7 \cdot 2,0 = 3,4 \text{ В}$$

Уставка срабатывания отключающего реле напряжения обратной последовательности может быть установлена в диапазоне от 1,5 до 5 В с шагом 0,5 В. Принимаем $U_{2уст.от} = 3,5$ В.

Определим чувствительность отключающих реле по току и напряжению обратной последовательности.

Для этого создаем такой режим работы сети и моделируем повреждение, чтобы ток и напряжение в измерительных органах защиты были минимальными. При выполнении расчетов различных минимальных режимов при питании сети по нормальной схеме (с юга), ток и напряжение обратной последовательности получились выше, чем при аварийном режиме, когда ВЛ-110 С-109, С-110 отключены на ПС-110 «Игольская», выключатели ВЛ-110 С-97, С-98 на ПС-110 «Двуреченская» включены (питание с севера, вся генерация и двигательная нагрузка в энергорайоне отключена), С-141 – в ремонте. Самыми минимальными значениями тока и напряжения обратной последовательности в этом режиме обладает двухфазное КЗ на землю на линии перед ПС-110 «Игольская». Скриншот расчетного режима представлен в приложении Г1.

$$U_2^{1.1} = 8,973 \text{ кВ } I_2^{1.1} = 98 \text{ А}$$

$$K_{qU} = \frac{U_2^{1.1}}{U_{2уст.от} \cdot K_U} = \frac{8973}{3,5 \cdot 1100} = 2,33 > 2$$

$$K_{qI} = \frac{I_2^{1.1}}{I_{2уст.от} \cdot K_I} = \frac{98}{0,05 \cdot 600} = 3,26 > 2$$

Чувствительность отключающих органов по току и напряжению обратной последовательности достаточная даже при питании линии с севера.

Первичное сопротивление срабатывания блокирующего реле сопротивления $Z_{бл}$ выбирается по условию отстройки от вектора минимального сопротивления нагрузки в месте установки полуккомплекта $Z_{нагр.расч}$ в максимальном нагрузочном режиме по выражению:

$$Z_{ср.бл.п} \leq \frac{Z_{нагр.расч}}{2 \cdot K_{отс} \cdot K_{\epsilon} \cdot Z_{*см}} \cdot \left[\frac{(Z_{*см} + 1) \cdot \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр}) - \sqrt{(Z_{*см} + 1)^2 \cdot \cos^2(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр}) - 4 \cdot Z_{*см} \cdot [\cos^2(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр}) + \frac{\sin^2(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр})}{\epsilon^2}}}{\epsilon^2} \right]$$

где

$$Z_{нагр.расч} = \frac{0,9 \cdot U_{раб}}{\sqrt{3} \cdot I_{раб.мах}} = \frac{0,9 \cdot 115000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 272 \text{ Ом}$$

$U_{раб}$ – рабочее напряжение в месте установки защиты, принимаем равным 115 кВ;

$I_{раб.мах}$ – максимальное значение первичного рабочего тока в защищаемой линии в расчетном нагрузочном режиме, направленный в шины подстанции.

Принимаем равным 140% от суммы номинальных мощностей трансформаторов на ПС-110 «Двуреченская», «Новый Васюган».

$$I_{раб.мах} = 1,4 \cdot \frac{S_{ТрДВ} + S_{ТрНВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{рабТР}} = 1,4 \cdot \frac{25 + 6,3}{\sqrt{3} \cdot 115} = 220 \text{ А}$$

$\varphi_{нагр}$ – угол вектора расчетного сопротивления нагрузки. Принимаем коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi_{нагр} = 0,9$, тогда $\varphi_{нагр} = 180 + 25,8^\circ$.

$\varphi_{м.ч}$ – угол максимальной чувствительности блокирующего реле. Эта величина для ПДЭС-2802 находится в диапазоне от 235° до 255° . Принимаем 245° .

ϵ – соотношение осей (эксцентриситет). Принимается 0,7;

Z_{*cm} – смещение характеристики срабатывания (в относительных единицах по отношению к уставке срабатывания). Принимается равным -0,15 о.е.;

K_b – коэффициент возврата, принимается равным 1,05;

$K_{отс}$ – коэффициент, принимается равным 1,25.

$$Z_{cp.бл.н} \leq \frac{272}{2 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot (-0,15)} \cdot \left[\frac{(-0,15+1) \cdot \cos(245-205,8) - \sqrt{(-0,15+1)^2 \cdot \cos^2(245-205,8) - 4 \cdot (-0,15) \cdot [\cos^2(245-205,8) + \frac{\sin^2(245-25,8)}{0,7^2}]}}{0,7^2} \right] = 382 \text{ Ом}$$

Приведем первичное сопротивление к вторичному:

$$Z_{cp.бл} = Z_{cp.бл.н} \cdot \frac{n_{ТГ}}{n_{ТН}} = 382 \cdot \frac{600}{1100} = 208 \text{ Ом}$$

Т.к. диапазон регулирования уставки $Z_{бл}$ составляет от 15 до 350 Ом, то принимаем уставку $Z_{cp.бл} = 208 \text{ Ом}$.

Первичное сопротивление срабатывания отключающего реле сопротивления $Z_{от}$ выбирается по условиям:

- отстройки от вектора минимального сопротивления нагрузки в месте установки полуконспекта $Z_{нагр.расч}$ в максимальном нагрузочном режиме по выражению:

$$Z_{cp.от.н} \leq \frac{Z_{нагр.расч}}{K_{отс} \cdot K_b \cdot \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр})} \cdot \left[\cos^2(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр}) + \frac{\sin^2(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр})}{\varepsilon^2} \right] =$$

$$= \frac{272}{1,25 \cdot 0,9 \cdot \cos(39,2)} \cdot \left[\cos^2(39,2) + \frac{\sin^2(39,2)}{0,7^2} \right] = 440 \text{ Ом}$$

$\varphi_{м.ч}$ – угол максимальной чувствительности отключающего реле, равен 65° .

$\varphi_{нагр}$ – угол вектора расчетного сопротивления нагрузки, равен $25,8^\circ$.

- согласования по чувствительности с блокирующим реле сопротивления $Z_{бл}$ полуконспекта, установленного на противоположном конце двухконцевой линии по выражению:

$$Z_{cp.от.н} \leq K_{отс1} \cdot (Z_{л} + K_{отс2} \cdot Z_{cp.бл.н}), \text{ где}$$

$$K_{отс1} = 0,85, K_{отс2} = 0,8$$

$Z_{л}$ – сопротивление защищаемой линии.

$$Z_{л} = (R_{y\partial AC120} + jX_{y\partial AC120}) \cdot L_{л} = (0,249 + j0,427) \cdot 97,7 = \\ = 24,33 + j41,718 = 48,29 \text{ Ом}$$

$$Z_{cp.om.n} \leq 0,85 \cdot (48,29 + 0,8 \cdot 382) = 300 \text{ Ом}$$

- по условию отстройки от КЗ за трансформатором на отпайке от линии, на которой полукompлект защиты не устанавливается по выражению:

$$Z_{cp.om.n} \leq K_{отс} \cdot (Z_{лI} + \frac{Z_{лIII} + K'_{отс} \cdot Z_{mp}}{K_{ток}}), \text{ где}$$

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 0,85

$Z_{лI}$ – полное сопротивление от места установки полукompлекта до отпайки

Отстройка от КЗ на стороне СН трансформатора ПС-110 «Зап-Моисеевская»:

$$Z_{лI} = (R_{y\partial AC120} + jX_{y\partial AC120}) \cdot L_{л(Дб-ЗМ)} = (0,249 + j0,427) \cdot 9 = 4,45 \text{ Ом}$$

$Z_{лIII}$ – полное сопротивление от отпайки до трансформатора на ПС-110 «Зап-Моисеевская».

$$Z_{лI} = (R_{y\partial AC120} + jX_{y\partial AC120}) \cdot L_{л(отп-ЗМ)} = (0,249 + j0,427) \cdot 1,4 = 0,69 \text{ Ом}$$

$Z_{тр}$ – минимальное сопротивление трансформатора, т.е.

Расчетное суммарное сопротивление обмоток ВН и СН трансформатора ТДТН-25000/110, приведенное к высшей стороне на номинальном напряжении составляет $Z_{тр.ном} = (R_T + j(X_{вн} + X_{сн})) = 2,96 + j56,87 \text{ Ом}$.
Регулирование напряжения РПН – $\pm 9 \times 1,77 \%$ или 16%.

Сопротивление трансформатора зависит от U^2 , тогда

$$Z_{тр.мин} = (R_T + j(X_{вн} \cdot (1 - 0,16)^2 + X_{сн})) = 2,96 + j56,87 \cdot 0,71 = 39,9 \text{ Ом}$$

$K_{ток}$ – коэффициент токораспределения при КЗ на шинах СН трансформатора на ПС-110 «Зап-Моисеевская».

Находим такой режим, при котором этот коэффициент максимальный. Такой режим обеспечивается при максимальной подпитке точки КЗ от места установки полукompлекта и минимальной с противоположной стороны.

Расчетный режим: параллельная линия выведена в ремонт, все трансформаторы 110 кВ питаются от рабочей линии.

На БКНС-37, 38 в работе по три СД-1600, на остальных БКНС – по одному; на МФНС - один АД-710; УПН Двуреченская – 2 АД-800; УПН Крапивинская – 2 АД-250; ЦППН Игольская – 1 АД-250; ГТЭС Игольская – в ремонте; на ГТЭС Игольская 2 – 1 АД-810 и оба генератора в работе, все ШР+БСК в работе. Энергосистема юга в минимальном режиме. Скриншот расчетов режима представлен в приложении Г2.

$$K_{ток} = \frac{I_{Д6}^{(3)}}{I_{3М}^{(3)}} = \frac{0,253}{0,623} = 0,406$$

$K'_{отс}$ – приближенный коэффициент, учитывающий различие углов полных сопротивлений линии и трансформатора и наличие эллиптической характеристики реле сопротивления. Принимается равным 0,8.

$$Z_{ср.от.л} \leq 0,85 \cdot (4,45 + \frac{0,69 + 0,8 \cdot 39,9}{0,406}) = 72 \text{ Ом}$$

Отстройка от КЗ на стороне СН трансформатора ПС-110 «Крапивинская»:

$$Z_{лI} = (R_{y\partial AC120} + jX_{y\partial AC120}) \cdot L_{л(Д6-Кр)} = (0,249 + j0,427) \cdot (19 + 9) = 13,83 \text{ Ом}$$

$Z_{лIII}$ – полное сопротивление от отпайки до трансформатора на ПС-110 «Крапивинская».

$$Z_{лI} = (R_{y\partial AC120} + jX_{y\partial AC120}) \cdot L_{л(отп-3М)} = (0,249 + j0,427) \cdot 0,5 = 0,22 \text{ Ом}$$

$Z_{тр}$ – минимальное сопротивление трансформатора, т.е.

Расчетное суммарное минимальное сопротивление обмоток ВН и СН трансформатора ТДТН-40000/110

$$Z_{тр.мин} = (R_T + j(X_{ВН} \cdot (1-0,16)^2 + X_{СН})) = 1,653 + j35,542 \cdot 0,71 = 25,29 \text{ Ом}$$

$K_{ток}$ – коэффициент токораспределения при КЗ на шинах СН трансформатора на ПС-110 «Крапивинская»

Рассчитываем режим, аналогичный предыдущему. Скриншот расчетов режима представлен в приложении Г3.

$$K_{ток} = \frac{I_{Д6}^{(3)}}{I_{3М}^{(3)}} = \frac{0,307}{0,774} = 0,397$$

$$Z_{cp.om.n} \leq 0,85 \cdot (13,83 + \frac{0,22 + 0,8 \cdot 25,29}{0,397}) = 56 \text{ Ом}$$

Принимаем наименьшее значение $Z_{cp.ot.n} = 56 \text{ Ом}$

Приведем первичное сопротивление к вторичному:

$$Z_{cp.om} = Z_{cp.om.n} \cdot \frac{n_{TT}}{n_{TH}} = 72 \cdot \frac{600}{1100} = 31 \text{ Ом}$$

Т.к. диапазон регулирования уставки $Z_{от}$ составляет от 7,5 до 175 Ом, то принимаем уставку $Z_{cp.ot} = 31 \text{ Ом}$.

Первичное сопротивление срабатывания дополнительных реле сопротивления $Z_{доп}$ определяется по выражению, аналогичному условию отстройки от КЗ за трансформатором на отпайке от линии, на которой полукompлект защиты не устанавливается. Таким образом, принимаем $Z_{доп} = 31 \text{ Ом}$.

Чувствительность отключающего реле сопротивления:

$$K_{\chi Zom} = \frac{Z_{cp.om.n}}{Z_{з.н}} = \frac{56}{48,29} = 1,15 < 1,5, \text{ где}$$

Чувствительность защиты недостаточная, но больше 1. При действии отключающего органа сопротивления при КЗ на шинах СН за трансформатором на ПС-110 «Крапивинская» может произойти неселективное отключение ВЛ-110, поэтому данный орган защиты рекомендуем вывести из работы.

Чувствительность отключающего реле сопротивления по току точной работы:

$$K_{\chi,mp} = \frac{I_{\min}^{(3)}}{I_{mp}} = \frac{I_{\min}^{(3)}}{0,2 \cdot I_{ном.л}} = \frac{610}{0,2 \cdot 600} = 5,08 > 1,5, \text{ где}$$

$I_{\min}^{(3)}$ - минимальное значение трехфазного КЗ при замыкании в конце линии. Такое значение достигается в режиме, при котором проверялась чувствительность отключающих реле по току и напряжению обратной последовательности.

Уставка реле тока нулевой последовательности I_0 выбирается по условию отстройки от токов, проходящих в нулевом проводе трансформаторов тока при включении линии под напряжение, от апериодических трансформированных бросков намагничивающего тока при включении одной фазы, а также от периодических бросков намагничивающего тока при включении двух фаз и задержки включения третьей фазы. Значение уставки может быть определено по выражению:

$$I_{0уст} = \frac{0,3 \cdot \sum I_{ном.тр}}{K_I} = \frac{0,3 \cdot 390}{600} = 0,195 \text{ А, где}$$

$\sum I_{ном.тр}$ – сумма номинальных токов трансформаторов, подключенных к защищаемой линии в режиме, когда эта сумма максимальна. Здесь возможен режим, когда все трансформаторы на ПС-110 «Зап-Моисеевская», «Крапивинская» будут подключены к защищаемой линии, однако их ток нагрузки будет ограничен допустимым длительным током провода линии.

$I_{допАС-120} = 390 \text{ А}$. Поэтому принимаем $I_{ном.тр} = 390 \text{ А}$

$$K_I = 600/1 = 600.$$

Уставка срабатывания реле тока нулевой последовательности может быть установлена из диапазона от 0,05 до 0,8 ступенчато. Принимаем $I_{0уст.от} = 0,2 \text{ о.е.}$

Чувствительность отключающего реле тока нулевой последовательности проверяем в режиме, аналогичном режиму проверки чувствительности органов обратной последовательности (приложение Г4)

$$K_{чл0} = \frac{3 \cdot I_{\min}^{(1)}}{I_{0уст}} = \frac{3 \cdot 24}{0,2 \cdot 600} = 0,6 < 2, \text{ где}$$

Чувствительность недостаточная.

Для выдачи рекомендаций выполним расчет тока однофазного КЗ на шинах ПС-110 «Игольская» в максимальном режиме.

Расчетный режим: питание от энергосисты юга в максимальном режиме, параллельная линия выведена в ремонт, все трансформаторы 110 кВ

питаются от рабочей линии. На всех БКНС в работе по три СД-1600; на МФНС - один АД-710; УПН Двуреченская – 2 АД-800; УПН Крапивинская – 2 АД-800, 2 АД-250; 1 СД-1600 РУ-1; ЦППН Игольская – 1 АД-630, 1 АД-250; на ГТЭС Игольская 1 – 1 АД-710; на ГТЭС Игольская 2 – 1 АД-810. Все генераторы ГТЭС в работе, Все ШР+БСК в работе. Далее в работе именуем такой режим №1. Скриншот расчета режима представлен в приложении Г5.

$$I_{\max}^{(1)} = 51 \text{ A } K_{\text{чЗом}} = \frac{3 \cdot I_{\max}^{(1)}}{I_{0\text{уст}}} = \frac{3 \cdot 51}{0,2 \cdot 600} = 1,28 < 2$$

Даже в максимальном режиме работы реле тока нулевой последовательности с уставкой 0,2 будет недостаточно чувствительна. Поэтому, учитывая нормальный режим работы сети с питанием от энергосистемы юга рекомендуем три варианта:

- вывести данный орган защиты из работы;
- снизить уставку до 0,1 и вводить защиту в работу только после включения линии под напряжение;
- разземлить нейтраль одного из трансформаторов на ПС-110 «Игольская».

Наиболее оптимальным вариантов является вариант снижения уставки до 0,1. Это связано с тем, что существующие нагрузки даже в перспективе не достигнут и половины допустимого тока линии, т.к. в режимах ремонта трансформаторов на ПС-110, линиях С-140, 141 вводятся ограничения мощности потребителей с отключением СД на БКНС с целью поддержания нормального напряжения в сети.

Выбор параметров срабатывания пускового органа схемы блокировки при качаниях отключающего реле сопротивления при симметричных КЗ – пускового реле тока обратной последовательности с торможением $I_{2\text{Тпуск}}$, которое имеет следующую характеристику срабатывания:

$$I_{*2\text{Тср.пуск}} = I_{*2\text{Туст.пуск}} + \frac{K_{\text{торм}}}{100} \cdot (I_{* \text{торм.кач}} - a), \text{ где}$$

$I_{*2\text{Туст.пуск}}$ – уставка реле, соответствующая току срабатывания при отсутствии торможения;

$K_{\text{торм}}$ – коэффициент торможения, %;

a – коэффициент, равный относительному значению тока начала торможения. Принимается равным 1,5.

$I_{* \text{торм. кач}}$ – относительное значение тормозного тока в режиме качаний (за который принимается максимальная разность токов двух фаз или максимальный фазный ток).

$$I_{*2\text{Туст.пуск}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \cdot (I_{*2\text{нб}} + I_{*2\text{нр}}), \text{ где}$$

$$K_{\text{отс}} = 1,3; K_{\text{в}} = 0,9$$

$I_{*2\text{нб}}, I_{*2\text{нр}}$ – относительные значение тока небаланса и тока обратной последовательности, обусловленные несимметрией в токе. Определяются при токе начала торможения, равного $1,5I_{\text{ном}}$. $I_{*2\text{нр}} = 0$.

$$I_{*2\text{нб}} = K_{2\text{нбI}} \cdot \frac{1,5 \cdot I_{\text{раб.мах.н}}}{I_{\text{ном.н}}} = 0,028 \cdot \frac{1,5 \cdot 390}{600} = 0,0273$$

$$I_{*2\text{Туст.пуск}} \geq \frac{1,3}{0,9} \cdot 0,0273 = 0,0375$$

Уставка $I_{*2\text{Туст.пуск}}$ может быть установлена в диапазоне от 0,025 до 0,4 о.е. с шагом 0,025 о.е. Принимаем $I_{*2\text{Туст.пуск}} = 0,05$ о.е.

Коэффициент торможения $K_{\text{торм}}$ определяется по условию отстройки пускового реле тока обратной последовательности с торможением от тока небаланса при качаниях, т.е. при $I_{\text{торм}} = I_{\text{кач}}$

$$K_{\text{торм}} \% = \frac{K_{\text{отс}} \cdot (K_{2\text{нб.кач}} \cdot I_{* \text{кач}} + I_{*2\text{нр.кач}}) - I_{*2\text{Туст.пуск}}}{I_{* \text{кач}} \cdot a} \cdot 100, \text{ где}$$

$$K_{\text{отс}} = 1,3;$$

$K_{2\text{нб.кач}}$ – коэффициент небаланса при качаниях. Согласно рекомендаций [2; стр.24] принимаем равным 0,054.

$I_{*2\text{нр.кач}}$, $I_{*кач}$ – выраженные в относительных единицах значения несимметрии в токе при наличии источников несимметрии в режиме качаний и тока качаний, соответственно. Принимаем $I_{кач}=10I_{ном}$, $I_{*2\text{нр.кач}}=0$

$$K_{\text{торм}} \% = \frac{1,3 \cdot 0,054 \cdot 10 - 0,05}{10 \cdot 1,5} \cdot 100 = 4,3\%$$

$K_{\text{торм}}$ может принимать значения: 0, 7,5, 10, 15%. Принимаем $K_{\text{торм}} = 7,5\%$.

Характеристика срабатывания отключающего реле тока обратной последовательности с торможением аналогична характеристике пускового реле тока обратной последовательности с торможением

$$I_{*2\text{Тер.от}} = I_{*2\text{Туст.от}} + \frac{K_{\text{торм}}}{100} \cdot (I_{*торм.кач} - a), \text{ где}$$

$I_{*2\text{Туст.от}}$ – уставка реле, соответствующая току срабатывания при отсутствии торможения. Выбираем по условиям:

- согласования по чувствительности с $I_{*2\text{уст.от}}$. Для двухконцевой линии $I_{*2\text{Туст.от}} \geq I_{*2\text{уст.от}} = 0,05 \text{ о.е.}$;
- согласования с первичным напряжением срабатывания блокирующего реле напряжения для линии с двухсторонним питанием и обходной связью (параллельной линией):

$$I_{*2\text{Туст.от}} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_p \cdot \frac{U_{2\text{уст.бл}} \cdot K_U}{Z_L} \cdot \frac{1}{I_{ном.л}}, \text{ где}$$

K_p – коэффициент несимметричного режима, учитывающий возможность возникновения разрыва в одной или двух фазах на параллельной линии. Принимается равным 1,1.

$$I_{*2\text{Туст.от}} \geq 1,3 \cdot 1,1 \cdot \frac{2,5 \cdot 1100}{48,29} \cdot \frac{1}{600} = 0,104$$

Уставка $I_{*2\text{Туст.от}}$ может быть установлена в диапазоне от 0,1 до 1,6 о.е. с шагом 0,1 о.е. Принимаем $I_{*2\text{Туст.от}} = 0,1 \text{ о.е.}$

Коэффициент торможения $K_{\text{торм}}$ определяется по условию отстройки отключающего реле тока обратной последовательности с торможением от тока небаланса при качаниях, т.е. при $I_{\text{торм}} = I_{кач}$

$$K_{\text{торм}} \% = \frac{K_{\text{отс}} \cdot (K_{2\text{нб.кач}} \cdot I_{*кач} + I_{*2\text{нр.кач}}) - I_{*2\text{уст.от}}}{I_{*кач} \cdot a} \cdot 100$$

Условия аналогичны расчету $K_{\text{торм}}$ пускового органа.

$$K_{\text{торм}} \% = \frac{1,3 \cdot 0,054 \cdot 10 - 0,1}{10 \cdot 1,5} \cdot 100 = 4\%$$

$K_{\text{торм}}$ может принимать значения: 0, 7,5, 10, 15%. Принимаем уставку $K_{\text{торм}} = 7,5\%$.

8. Защиты в составе ШДЭ-2802

8.1. Максимальная токовая защита без выдержки времени - токовая отсечка

Уставка токовой отсечки выбирается из условия отстройки от тока трехфазного КЗ на шинах ПС-110 «Игольская» в максимальном режиме.

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{мах}}^{(3)} K_{\text{отс}} = 1,3$$

Определим такой режим работы сети, при котором протекание тока КЗ через выключатель ВЛ-110 С-140 (С-141) на ПС-110 «Двуреченская» будет максимальным. Здесь и в дальнейшем рассчитываем только режимы питания сетевого района с юга. Расчетный режим - Режим №1.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г6.

$$I_{\text{мах}}^{(3)} = 371 \text{ А } I_{\text{сз}} \geq 1,3 \cdot 371 = 481 \text{ А}$$

Чувствительность защиты проверяем в минимальном режиме при двухфазном КЗ у шин ПС-110 «Двуреченская»

Расчетный режим: На всех БКНС в работе по одному СД-1600; на МФНС - один АД-710; УПН Двуреченская – 1 АД-250; УПН Крапивинская – 1 АД-800, 1 АД-250; ЦППН Игольская – 1 АД-250; на ГТЭС Игольская 1 – 1 АД-710; на ГТЭС Игольская 2 – 1 АД-810. Генераторы ГТЭС «Двуреченская» выведены в ремонт, на ГТЭС «Игольская-1» - 2 генератора, ГТЭС

«Игольская-2» - 1 генератор. Все ШР+БСК отключены. Далее этот режим именуем режим №2.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г7.

$$I_{min}^{(2)} = 526 \text{ А}$$

При наличии основной ВЧ чувствительной защиты коэффициент чувствительности может быть принят равным 1,2

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{min}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{526}{481} = 1,1 < 1,2$$

Чувствительность защиты недостаточна, но больше 1. Оставляем защиту в работе и допускаем, что защита может быть выведена как малоэффективная или включаться в работу только при пробном включении линии на холостой ход со стороны ПС-110 «Двуреченская».

$$\text{Уставка защиты на вторичном токе: } I_{\text{сз.вт}} = \frac{I_{\text{сз}}}{n_{\text{ТТ}}} = \frac{481}{600} = 0,802 \text{ А}$$

8.2. Трехступенчатая дистанционная защита

8.2.1. Расчет уставки I ступени ДЗ

Отстройка от КЗ на шинах ПС-110 «Игольская» с учетом подпитки точки КЗ от промежуточных подстанций:

$$Z_{\text{Icp.n}} \leq K_{\text{отс}} \cdot \frac{(Z_{\text{Дв-ЗМ}} + \frac{Z_{\text{ЗМ-Кр}}}{K_{\text{ток1}}} + \frac{Z_{\text{Кр-И2}}}{K_{\text{ток2}}})}{\cos(\varphi_{\text{мч}} - \varphi_{\text{л}})}, \text{ где}$$

$$K_{\text{отс}} = 0,87$$

$$Z_{\text{л(Дв-ЗМ)}} = (0,249 + j0,427) \cdot 9 = (2,241 + j3,843) = 4,45e^{j60}, \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{л(ЗМ-Кр)}} = (0,249 + j0,427) \cdot 19 = (4,731 + j8,113) = 9,39e^{j60}$$

$$Z_{\text{л(Кр-И2)}} = (0,249 + j0,427) \cdot 69,7 = (17,355 + j29,761) = 34,45e^{j60}$$

$\varphi_{\text{мч}} = 75^0$ – угол максимальной чувствительности реле сопротивления I ступени;

$\varphi_L = 60^\circ$ - угол между активной и реактивной составляющими сопротивления линии.

Определим коэффициенты токораспределения $K_{ток1} = I_{к(ДВ-ЗМ)} / I_{к(ЗМ-Кр)}$, $K_{ток2} = I_{к(ДВ-ЗМ)} / I_{к(Кр-ИГ)}$. Задаем такой режим сети, чтобы при КЗ в конце линии эти коэффициенты были максимальными. Если отключить все двигательные нагрузки ПС-110 «Зап-Моисеевская», «Крапивинская», то они будут равны 1.

$$Z_{Icp.n} \leq 0,87 \cdot \frac{(4,45 + 9,39 + 34,45)}{\cos(75 - 60)} = 43,5 \text{ Ом}$$

Принимаем $Z_{Icp.n} = 43,5 \text{ Ом}$

Приведем первичное сопротивление к вторичному:

$$Z_{Icp} = Z_{Icp.n} \cdot \frac{n_{TT}}{n_{TH}} = 43,5 \cdot \frac{600}{1100} = 23,7 \text{ Ом}$$

Т.к. диапазон регулирования уставки Z_{Icp} составляет от 1,25 до 100 Ом ступенями, кратными 1,25, 2,5 и 5 Ом. Принимаем уставку $Z_{Icp} = 1,25 \cdot 19 = 23,75 \text{ Ом}$. Ступень защиты действует без выдержки времени.

8.2.2. Расчет уставки II ступени ДЗ.

Отстройка от КЗ на стороне 35 кВ трансформаторов на ПС-110 «Игольская»:

$$Z_{IIcp.n} \leq K_{отс} \cdot \frac{(Z_{л(ДВ-ИЗ)} + \frac{Z_{трИЗ}}{K_{ток}})}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_{л-т})}$$

$$Z_{л(ДВ-ИЗ)} = 24,327 + j41,717 = 48,29e^{j60}, \text{ Ом}$$

$$Z_{тр.мин} = 2,96 + j40,378 \text{ Ом} - \text{Сопротивление трансформатора ПС-110}$$

«Игольская» на низшей отпайке РПН.

$\varphi_{л-т}$ - угол между активной и реактивной составляющей суммарного сопротивления линии и трансформатора.

$\varphi_{мч} = 75^\circ$ - угол максимальной чувствительности реле сопротивления II ступени;

$K_{ток}$ - коэффициент токораспределения – отношение тока подпитки точки от линии к току КЗ через трансформатор.

Задаем такой режим сети, чтобы при КЗ за трансформатором ПС-110 «Игольская» этот коэффициент был максимальным. Используем режим №1, создаем минимальный режим со стороны энергосистемы юга, отключаем ШР+БСК на ПС-110 «Игольская». Скриншот расчета режима представлен в приложении Г8.

$$K_{ток} = \frac{I_{Д6}^{(3)}}{I_{ТрИ2}^{(3)}} = \frac{0,135}{0,682} = 0,2$$

$$Z_{Исп.н} \leq 0,87 \cdot \frac{(24,327 + j41,717 + \frac{2,96 + j40,378}{0,2})}{\cos(75 - \varphi_{л-м})} =$$

$$= 0,87 \cdot \frac{246,73e^{j81}}{\cos(75 - 81)} = 216 \text{ Ом}$$

- по условию согласования с первой ступенью защиты линии С-109, С-110:

$$Z_{Исп.н} \leq K_{отс} \cdot \frac{(Z_{л(Д6-И2)} + \frac{0,78Z_{л(И2-Луг)}}{K_{ток}})}{\cos(\varphi_{мч} - \varphi_{л})}, \text{ где}$$

$$Z_{л(И2-Луг)} = (0,249 + j0,427) \cdot 163,5 = (40,712 + j69,815) = 80,82e^{j60}, \text{ Ом}$$

$K_{ток}$ - коэффициент токораспределения – отношение тока КЗ по расчетной линии к току КЗ по смежной линии при КЗ в конце смежной линии.

Задаем такой режим сети, чтобы при КЗ на шинах ПС-110 «Лугинецкая» этот коэффициент был максимальным. Используем схему режима №1 с изменениями: ГТЭС «Игольская-1» - в ремонте, на БКНС-35, 39 по одному СД-1600, все СД-1600 РУ-1 отключены, РУ ЦППН – 1 АД-250. Скриншот расчета режима представлен в приложении Г9.

$$K_{ток} = \frac{I_{Д6}^{(3)}}{I_{Луг}^{(3)}} = \frac{0,241}{0,324} = 0,744$$

$$Z_{\text{Исп.н}} \leq 0,87 \cdot \frac{(48,29 + \frac{0,78 \cdot 80,82}{0,744})}{\cos(75 - 60)} = 119,8 \text{ Ом}$$

Принимаем $Z_{\text{Исп.н}} = 119,8 \text{ Ом}$

Чувствительность II ступени защиты проверяем по КЗ на шинах ПС-110 «Игольская»:

$$K_{\text{ток}} = \frac{Z_{\text{Исп.н}}}{Z_{\text{л(Дб-Иг)}}} = \frac{119,8}{48,29} = 2,5 > 1,25$$

Чувствительность II ступени защиты достаточная.

Приведем первичное сопротивление к вторичному:

$$Z_{\text{Исп}} = Z_{\text{Исп.н}} \cdot \frac{n_{\text{ТТ}}}{n_{\text{ТН}}} = 119,8 \cdot \frac{600}{1100} = 65 \text{ Ом}$$

Т.к. диапазон регулирования уставки $Z_{\text{Исп}}$ составляет от 1,25 до 100 Ом ступенями, кратными 1,25, 2,5 и 5 Ом. Принимаем уставку $Z_{\text{Исп}} = 5 \cdot 13 = 65 \text{ Ом}$. Ступень защиты действует с выдержкой времени, равной времени ступени селективности $\Delta t_{\text{ИспДЗ}} = 0,5 \text{ с}$.

8.2.2. Расчет уставки III ступени ДЗ.

Отстройка от нагрузочного режима:

$$Z_{\text{Исп.н}} = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.макс}} \cdot K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{в}} \cdot \cos(\varphi_{\text{МЧ}} - \varphi_{\text{нагр}})} \text{ Ом}$$

$U_{\text{раб.мин}}$ – минимальное рабочее напряжение в месте установки защиты, принимаем равным 110 кВ;

$I_{\text{раб.мах}}$ – максимальное значение первичного рабочего тока в защищаемой линии. Принимаем равным допустимому току провода 390 А.

$K_{\text{отс}}$ – коэффициент надежности. Принимаем равным 1,3.

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата. Принимаем равным 1,05.

$\varphi_{\text{нагр}}$ – угол вектора расчетного сопротивления нагрузки. Принимаем коэффициент мощности нагрузки равным $\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,9$, тогда $\varphi_{\text{нагр}} = 25,8^\circ$.

$\varphi_{мч} = 75^0$ – угол максимальной чувствительности реле сопротивления III ступени.

$$Z_{IIIcp.n} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 390 \cdot 1,3 \cdot 1,05 \cdot \cos(75 - 25,8)} = 182,7 \text{ Ом}$$

Чувствительность III ступени защиты проверяем по КЗ на шинах ПС-110 «Лугинецкая» (обеспечение резервирования защит линий С-109, С-110):

$$K_{ток} = \frac{Z_{IIIcp.n}}{Z_{л(Дв-Иг)} + Z_{л(Иг-Луг)}} = \frac{182,7}{48,29 + 80,82} = 1,42 > 1,25$$

Чувствительность III ступени защиты достаточная.

Приведем первичное сопротивление к вторичному:

$$Z_{IIcp} = Z_{IIIcp.n} \cdot \frac{n_{TT}}{n_{TH}} = 182,7 \cdot \frac{600}{1100} = 99,65 \text{ Ом}$$

Т.к. диапазон регулирования уставки Z_{Icp} составляет от 2,5 до 400 Ом ступенями, кратными 2,5, 5 и 10 Ом. Принимаем уставку $Z_{Icp} = 5 \cdot 20 = 100 \text{ Ом}$. Ступень защиты действует с выдержкой времени, равной времени ступени селективности $\Delta t_{IIcpДЗ} = \Delta t_{IIcpДЗ} + 0,5 = 1,0 \text{ с}$.

8.3. Четырехступенчатая токовая защита нулевой последовательности

8.3.1. Расчет уставки I ступени СТЗНП

Отстройка от тока нулевой последовательности однофазного КЗ на шинах ПС-110 «Игольская» в максимальном режиме.

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot 3 \cdot I_{0max}^{(1)} K_{отс} = 1,3$$

Расчетный режим – режим №1 расчета уставки токовой отсечки, только нейтрали трансформаторов на ПС-110 «Игольская» разземляем.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г10.

$$I_{0max}^{(1)} = 184 \text{ А } I_{сз} \geq 1,3 \cdot 3 \cdot 184 = 718 \text{ А}$$

Отстройка от тока нулевой последовательности однофазного КЗ за выключателем параллельной линии при её каскадном отключении при ее отключении со стороны ПС-110 «Двуреченская».

Расчетный режим – режим №1, восстановлено питание ВЛ-110 С-141 со стороны ПС-110 «Игольская», работа трансформаторов ПС-110 «Крапивинская», «Зап-Моисеевская» - по нормальной схеме.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г11.

$I_{0max}^{(1)} = 72 \text{ А}$ Ток КЗ меньше, чем в предыдущем режиме.

Чувствительность защиты проверяем в минимальном режиме при однофазном КЗ у шин ПС-110 «Двуреченская»

Расчетный режим – режим №2.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г12.

$I_{0min}^{(1)} = 386 \text{ А}$

$$K_{\psi} = \frac{3 \cdot I_{min}^{(1)}}{I_{сз}} = \frac{3 \cdot 386}{718} = 1,6 > 1,3$$

Чувствительность защиты достаточна. Принимаем уставку срабатывания I ступени СТЗНП $I_{сз}^I = 718 \text{ А}$

Уставка защиты на вторичном токе: $I_{уст}^I = \frac{I_{сз}^I}{n_{ТТ}} = \frac{718}{600} = 1,2 \text{ А}$

Величина уставки входит в диапазон токов срабатывания токовых ИО (от 0,35 до 25 А).

Время срабатывания выбираем из условия отстройки от времени срабатывания основных защит трансформаторов на подстанциях 110 кВ в зоне действия защиты, например, на выводах 110 кВ трансформаторов.

Принимаем $t_{сз}^I = 0,4 \text{ с}$

8.3.2. Расчет уставки II ступени СТЗНП.

Согласование с I ступенью СТЗНП параллельной цепи при её каскадном отключении со стороны ПС-110 «Двуреченская». Отстройка от

тока однофазного КЗ на ВЛ-110 С-141 у шин ПС-110 «Двуреченская» с отключенным выключателем на ПС-110 «Двуреченская».

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot 3 \cdot I_{0max}^{(1)} K_{отс} = 1,1$$

Режим № 1, на ПС-110 «Игольская» разземлены оба трансформатора.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г13.

$$I_{0max}^{(1)} = 23 \text{ А } I_{сз} \geq 1,1 \cdot 3 \cdot 23 = 75,9 \text{ А}$$

Согласование с I ступенью СТЗНП смежной линии. Отстройка от тока однофазного КЗ на ВЛ-110 С-110 на 1/3 длины от ПС-110 «Игольская».

Режим №1, на ПС-110 «Игольская» разземлены оба трансформатора, С-141 в ремонте.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г14.

$$I_{0max}^{(1)} = 54 \text{ А } I_{сз} \geq 1,1 \cdot 3 \cdot 54 = 178,2 \text{ А}$$

Чувствительность защиты проверяем в минимальном режиме при однофазном КЗ в конце защищаемой линии при её каскадном отключении с противоположной стороны.

Режим № 2. Отключена ВЛ-110 С-140 со стороны ПС-110 «Игольская».

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г15.

$$I_{0min}^{(1)} = 101 \text{ А}$$

$$K_{ч} = \frac{3 \cdot I_{min}^{(1)}}{I_{сз}} = \frac{3 \cdot 101}{178,2} = 1,7 > 1,3$$

Чувствительность защиты достаточна. Принимаем уставку срабатывания II ступени СТЗНП $I_{сз}^{II} = 178,2 \text{ А}$

$$\text{Уставка защиты на вторичном токе: } I_{уст}^{II} = \frac{I_{сз}^{II}}{n_{ТТ}} = \frac{178,2}{600} = 0,297 \text{ А}$$

Величина уставки входит в диапазон токов срабатывания токовых ИО (от 0,15 до 5 А).

Время срабатывания выбираем из условия отстройки от времени срабатывания I ступени. Принимаем $t_{сз}^{II} = t_{сз}^I + \Delta t = 0,4 + 0,5 = 0,9 \text{ с}$

8.3.3. Расчет уставки III ступени СТЗНП.

Отстройка от внешнего КЗ в конце зоны действия второй ступени защиты смежной ЛЭП.

Режим №1, на ПС-110 «Игольская» разземлены оба трансформатора, С-141 в ремонте.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г16.

$$I_{0max}^{(1)} = 45 \text{ А } I_{сз} \geq 1,1 \cdot 3 \cdot 45 = 148,5 \text{ А}$$

Отстройка от внешнего КЗ на землю в конце зоны действия или за зоной действия второй ступени защиты ЛЭП, параллельной данной, при ее каскадном отключении.

Режим №1, на ПС-110 «Игольская» разземлены оба трансформатора, С-141 отключена на ПС-110 «Двуреченская».

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г17.

$$I_{0max}^{(1)} = 33 \text{ А } I_{сз} \geq 1,1 \cdot 3 \cdot 33 = 108,9 \text{ А}$$

Чувствительность защиты проверяем в минимальном режиме при однофазном КЗ в конце защищаемой линии.

Режим №2.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г18.

$$I_{0min}^{(1)} = 34 \text{ А.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3 \cdot I_{min}^{(1)}}{I_{сз}} = \frac{3 \cdot 34}{148,5} = 0,67 < 1,3$$

Чувствительность защиты недостаточна. Для увеличения чувствительности рекомендуется один из трансформаторов на ПС-110 «Игольская» разземлить. Принимаем уставку срабатывания III ступени СТЗНП $I_{сз}^{III} = 148,5 \text{ А}$

$$\text{Уставка защиты на вторичном токе: } I_{уст}^{III} = \frac{I_{сз}^{III}}{n_{ТТ}} = \frac{148,5}{600} = 0,25 \text{ А}$$

Величина уставки входит в диапазон токов срабатывания токовых ИО (от 0,1 до 6 А).

Время срабатывания выбираем из условия отстройки от времени срабатывания III ступени. Принимаем $t_{сз}^{III} = t_{сз}^{II} + \Delta t = 0,9 + 0,5 = 1,4 \text{ с}$

8.3.4. Расчет уставки IV ступени СТЗНП.

Отстройка от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при трехфазном КЗ за трансформатором. КЗ на стороне СН трансформатора ПС-110 «Зап-Моисеевская».

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot K_{пер} \cdot K_{нб} \cdot I_{к}^{(3)}$$

$K_{нб}$ – коэффициент отстройки, принимаем равным 1,3

$K_{нб}$ – коэффициент небаланса, принимаем равным 0,1

$K_{пер}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимаем равным 1,5.

Режим №1. ВЛ-110 С-141 – в ремонте.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г19.

$$I_{max}^{(3)} = 212 \text{ А}$$

$$I_{сз} \geq 1,3 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot 212 = 41,34 \text{ А}$$

Чувствительность защиты проверяем в минимальном режиме при однофазном КЗ в конце резервируемой линии.

Режим №2.

Скриншот расчета режима представлен в приложении Г20.

$$I_{0min}^{(1)} = 17 \text{ А}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3 \cdot I_{\text{min}}^{(1)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{3 \cdot 17}{41,34} = 1,23$$

Чувствительность защиты достаточна. Принимаем уставку срабатывания VI ступени СТЗНП $I_{\text{сз}}^{\text{IV}} = 41,34 \text{ А}$

$$\text{Уставка защиты на вторичном токе: } I_{\text{уст}}^{\text{III}} = \frac{I_{\text{сз}}^{\text{III}}}{n_{\text{ТТ}}} = \frac{41,34}{600} = 0,07 \text{ А}$$

Величина уставки входит в диапазон токов срабатывания токовых ИО. Время срабатывания выбираем из условия отстройки от времени срабатывания III ступени. Принимаем $t_{\text{сз}}^{\text{IV}} = t_{\text{сз}}^{\text{III}} + \Delta t = 1,4 + 0,5 = 1,9 \text{ с}$

9. Заключение по расчету уставок РЗА ВЛ-110 кВ ПС-110 «Двуреченская» - ПС-110 «Игольская».

В ходе расчетов уставок основной защиты – высокочастотной защиты на базе ПДЭ-2802, и дополнительных защит – токовой отсечки, трех ступеней дистанционной защиты, четырех ступеней токовой защиты нулевой последовательности на базе ШДЭ-2802 выявлено следующее:

- высокочастотная защита, обладающая множеством измерительных органов и структурой построения защиты по принципу сравнения сигналов в начале и конце линии, обеспечивает защиту линии при всех видах КЗ и обрывах на ней.

- токовые нулевой последовательности и дистанционные многоступенчатые защиты с разной степенью чувствительности также обеспечивают защиту линии при всех видах повреждений с резервированием защит смежных элементов энергосистемы.

Расчет токов короткого замыкания выполнялся в программе ТоКо, которая проста в использовании, обладает интуитивно понятным интерфейсом и требует минимума подготовительных и вычислительных работ для подготовки расчетной схемы.

10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

10.1 Введение

В первой части данного раздела определим затраты на выполнение проекта релейной защиты и автоматики ВЛ-110 кВ от ПС-110 «Двуреченская» до ПС-110 «Игольская» со стороны ПС-110 «Двуреченская», рассчитаем себестоимость, общую стоимость проекта. Итоги расчётов стоимости проекта представим в смете затрат.

Во второй части раздела ставится цель определить экономическую эффективность установки устройств РЗА. Экономическую эффективность рассчитаем по оценке вероятности ущербов от возникновения однофазного короткого замыкания на исследуемой ВЛ-110 кВ при отсутствии релейной защиты и при ее наличии.

10.2 Планирование работ по проектированию и определение трудоемкости проектных работ

Для расчета основной заработной платы сотрудников отдела проектирования составляем график выполнения проектных работ (см. приложение Д). Для оценки объёма работ и трудоёмкости выполнения проекта, составляем перечень основных этапов работ, которые должны быть выполнены для подготовки проекта. Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{о.ж.}$ применим вариант, основанный на использовании двух оценок: t_{max} , t_{min} . [4]:

$$t_{о.ж.} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}$$

					ФЮРА.13.03.02.021 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		М.А. Будилин			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руков.		В.А. Корнев					57	91
Консультант		А.А. Фигурко				ИШЭ НИ ТПУ гр. 3-5А3А2		
Н.контр.		В.А. Корнев						

где t_{min} – кратчайшая продолжительность данной работы;

t_{max} – самая длительная продолжительность работы.

При составлении графика работ считаем, что длительность одного рабочего дня $t_{рд}$ составляет 8 часов и на каждый час работы отводится 10 мин на перерывы в работе, т.е. эффективное время работы в день составит:

$$t_{эф} = 50 \text{ мин} \cdot 8 \text{ часов} / 60 \text{ мин} = 6,67 \text{ часа}$$

Тогда длительность выполнения этапа работ в днях можно определить по формуле:

$$T_i = \frac{t_{ож}}{6,67}$$

По графику работ определим трудозатраты для каждого работника.

Таблица 9. Трудозатраты на выполнение проектных работ.

Работник	Кол-во дней
Руководитель	6
Ведущий инженер	12
Инженер	63

10.3 Расчет затрат на проектирование

Определим затраты, за счёт которых образуется себестоимость проекта.

К таким затратам можно отнести:

1. Оплата труда (заработная плата разработчикам проекта);
2. Отчисления на социальные нужды (отчисления во внебюджетные фонды);
3. Материальные затраты (приобретение расходных материалов, по большей части канцелярские принадлежности);
4. Амортизация основных фондов (износ мебели, оргтехники);
5. Прочие затраты;
6. Накладные расходы.

10.3.1 Расчет заработной платы

Расчёт заработной платы:

$$Зп = \frac{О \cdot k_1 \cdot k_2}{21} \cdot X$$

где: О – оклад;

k_1 - коэффициент за отпуск (1,16 - для руководителя, 1,1 – для ведущего инженера, 1,08 – для инженера);

k_2 - районный коэффициент (1,3);

21 - количество рабочих дней в месяце;

X - количество рабочих дней затраченных на проект (таблица 9).

Для руководителя: Оклад – 25000 руб.

$$Зп_{Рук} = \frac{25000 \cdot 1,16 \cdot 1,3}{21} \cdot 6 = 10771,4 \text{ руб}$$

Для ведущего инженера: Оклад – 20000 руб.

$$Зп_{Вед.инж} = \frac{20000 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{21} \cdot 12 = 16342,9 \text{ руб}$$

Для инженера: Оклад – 18000 руб.

$$Зп_{Инж} = \frac{18000 \cdot 1,08 \cdot 1,3}{21} \cdot 63 = 75816 \text{ руб}$$

Итого фонд заработной платы:

$$ФЗП = \sum Зп = 10771,4 + 16342,9 + 75816 = 102930,3 \text{ руб.}$$

10.3.2 Расчёт отчислений во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30% от ФЗП.

Сумма начислений на социальные нужды составляет:

$$И_{сн} = \sum Зп \cdot 0,3 = 102930,3 \cdot 0,3 = 30879,1 \text{ руб.}$$

10.3.3 Материальные затраты

К материальным затратам или расходным материалам относятся: бумага, картриджи для принтера, плоттера, канцелярские принадлежности, носители информации и др.

Таблица 10. Материальные затраты.

Материал	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб	Итого, руб
Печатная бумага А4	Пачка	0,5	170	85
Печатная бумага А3	Пачка	0,05	350	17,5
Бумага А0 (ватман)	шт	2	100	200
CD-R 650 Мб	шт.	1	50	50
Канц. товары	набор	3	600	1800
				2152,5

10.3.4 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления образуются за счёт износа имеющихся основных средств производства. Амортизационные отчисления считаем по следующей формуле:

$$I_{AM} = \frac{T_{и}}{T} \cdot H_A \cdot \Phi_{п}$$

где $\Phi_{п}$ - первоначальная стоимость оборудования; H_A - норма амортизации; $T_{и}$ - количество дней использования оборудования; T – количество календарных дней в году.

По графику выполнения проектных работ общая продолжительность проектирования составляет $T_{и} = 77$ дней

Таблица 11. Амортизационные отчисления

Наименование	Количество	$\Phi_{п}$, руб	H_A , %	$I_{ам}$, руб
Компьютер	3	60000	20	7595
Принтер (МФУ)	1	25000	10	527
Брошюратор	1	8000	10	169
Светильник настольный	3	3000	10	190
Стол	4	8000	10	675
Стул	3	4000	10	253
Итого $I_{ам}$				9409

Амортизационные затраты составляют $I_{ам} = 9409$ рубля.

10.3.5 Прочие расходы

Прочие неучтенные прямые затраты включают в себя все расходы связанные с не предусмотренными в предыдущих статьях, платежи по страхованию, оплата услуг связи, затраты на ремонт и прочее. Принимаем размер прочих затрат как 12% от суммы всех ранее рассчитанных расходов.

$$\begin{aligned} I_{пр} &= 0,12 \cdot (I_{фзп} + I_{сн} + I_{ам} + I_{мз}) = \\ &= 0,12 \cdot (102930,3 + 30879,1 + 9409 + 2152,5) = 17444,5 \text{ руб} \end{aligned}$$

10.3.6 Накладные расходы

Принимаем 16% от ФЗП и включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, административные затраты, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты.

$$I_{накл} = 0,16 \cdot I_{фзп} = 0,16 \cdot 102930,3 = 16468,8 \text{ руб.}$$

Себестоимость проекта:

$$I = \sum I = 102930,3 + 30879,1 + 9409 + 2152,5 + 17444,5 + 16468,8 = 179284,2 \text{ руб}$$

10.3.7 Составление сметы затрат на проектирование

Принимаем рентабельность 20%, тогда прибыль:

$$Pr = 0,2 \cdot I = 0,2 \cdot 179284,2 = 35856,8 \text{ руб}$$

Стоимость проекта:

$$C_{пр} = Pr + I = 35856,8 + 179284,2 = 214568,4 \text{ руб}$$

Смета затрат на проектирование представлена в таблице 12

Таблица 12. Смета затрат

Вид расходов	Обозначение	Сумма, р.
Заработная плата	$I_{фзп}$	102930,3
Отчисления в социальные фонды	$I_{сн}$	30879,1
Материальные затраты	$I_{м}$	2152,5
Амортизация	$I_{ам}$	9409
Прочие расходы	$I_{пр}$	17444,5
Накладные расходы	$I_{накл}$	16468,4
Себестоимость проекта	I	179284,2
Прибыль	$Пр$	35856,8
Стоимость проекта	$Ц_{пр}$	214568,4

10.4 Оценка экономической эффективности от установки устройств РЗА на ВЛ-110 ПС-110 «Двуреченская» - ПС-110 «Игольская»

10.4.1 Введение, постановка цели и методов её достижения

В соответствии с ПУЭ, не допускается эксплуатация электроустановок без устройств их защиты от повреждений. Любая электроустановка и потребитель электрической энергии имеет в своем составе такое устройство, будь то простой автоматический выключатель или плавкая вставка, или самый сложный дорогостоящий электронный или микропроцессорный комплекс с разветвленной сетью связей противоаварийной автоматики крупных региональных высоковольтных энергосистем. Конечно, ПУЭ регламентирует необходимый объем защит для каждого типа электроустановок, но может получиться и так, что стоимость защитного комплекса окажется экономически нецелесообразной. Так, нет смысла устраивать микроэлектронную защиту мачтового трансформатора напряжением 10 кВ малой мощности, когда стоимость его замены будет ниже стоимости этого комплекса. В настоящем разделе работы нам предстоит определить экономическую эффективность использования защит ВЛ-110 кВ на базе ШДЭ-2802 и ПДЭ-2802.

При этом, пользуясь статистическими данными об отказах и авариях на ВЛ-110 кВ, определим вероятность возникновения аварии на ВЛ-110 за год, оценим материальный ущерб от действия тока короткого замыкания, и, зная материальные затраты на ввод в работу устройств защиты, определим время окупаемости этих устройств.

10.4.2. Оценка вероятности повреждения ВЛ-110 кВ

Для оценки эксплуатационной надежности воздушных линий применяются следующие показатели надежности: частота отказов и время вынужденного простоя. Частота отказов характеризует среднее количество аварийных отключений в год, а время вынужденного простоя обозначает период времени, за который аварийно отключившийся элемент может быть вновь включен в работу.

Для ВЛ-110 кВ удельная частота отказов на 100 км составляет $\omega_{уд} = 1,0$ 1/год, а время восстановления $T_v = 14$ часов. Длина исследуемой ВЛ-110 $L = 97,7$ км. Таким образом, частота отказов для ВЛ-110 кВ ПС «Двуреченская» - ПС «Игольская» составит $\omega = \omega_{уд} \cdot L/100 = 1,0 \cdot 97,7/100 = 0,977$ 1/год. Таким образом, аварийное отключение исследуемой линии происходит в среднем один раз в год. Так как исследуемая линия двухцепная, время восстановления не оказывает влияние на длительность перерыва электроснабжения потребителей, питающихся от данной линии.

10.4.3. Анализ развития аварии при отсутствии комплектов защиты ВЛ-110 кВ

Представим такую ситуацию, что по каким-то причинам только на исследуемой ВЛ-110 не установили комплекты защит. В этом случае защита линии будет осуществляться резервирующими ступенями защит параллельной и смежных линий. При этом, исходя из уставок по времени резервирующих ступеней, отключение повреждения на линии произойдет по

истечении 2 – 3 секунд после его возникновения. Однако, исходя из конфигурации сетевого района, расчетов токов КЗ в п.8. настоящей работы, токи КЗ не превышают длительно допустимых величин, и развития повреждения не произойдет. Таким образом, объем повреждений и материального ущерба элементам конструкции линии не будет зависеть от времени отключения повреждения.

Для проведения дальнейшего анализа требуется знать особенности потребителей, питающихся от исследуемой ВЛ-110. Следует отметить, что обе ВЛ-110 ПС «Двуреченская» - ПС «Игольская» нормально работают в параллельном режиме. Основной нагрузкой в данном сетевом районе являются объекты нефтедобычи: насосные установки перекачки нефти, нагнетания воды в пласт, установки погружных насосов добычи нефти. Все эти потребители оборудованы собственными защитами от понижения сетевого напряжения (70-80% $U_{ном}$), а станции управления погружными насосами – дополнительно защитами от повышения сетевого напряжения (110% $U_{ном}$). При этом, при несанкционированном отключении погружных насосов добычи нефти введение их в рабочий режим занимает продолжительное время (от 2 до 6 часов), а иногда кратковременного броска напряжения достаточно для пробоя изоляции насоса, что ведет к дорогостоящему ремонту погружного оборудования скважины.

Повреждение на линии, отключается основной защитой или первыми ступенями СТЗНП или ДЗ практически мгновенно, а электроснабжение потребителей продолжается по параллельной цепи ВЛ-110. Посадка напряжения в точке КЗ не успевает достичь критических величин и узловые напряжения в нагрузочных узлах изменятся незначительно. При этом более 80% потребителей останутся в работе. При длительном воздействии возмущения от повреждения на линии приведет к отключению части нагрузок защитами минимального напряжения – отключатся мощные насосы нагнетания воды в пласт, насосы перекачки нефти, удаленные скважинные погружные насосы. Это приведет к скачкообразному росту узловых

напряжений и оставшиеся скважинные насосы отключатся по повышенному напряжению. Также, возможно, отключатся и генераторы ГТЭС «Игольская-1, 2», «Двуреченская» по перегрузке тока ротора при попытке восстановить узловые напряжения.

В соответствии с вышеизложенным, можно оценивать ущерб по четырем направлениям:

- недоотпуск электрической энергии потребителям от сети (ущерб ООО «Энергонефть-Томск», ОАО «ТРК»);
- недовыработка мощности генераторами ГТЭС (ущерб ЗАО «Энерго Сервис»;
- сокращение отпуска товарной нефти (ущерб ОАО «Томскнефть ВНК»);
- ремонт вышедших из строя скважин добычи нефти (ущерб ОАО «Томскнефть ВНК»).

10.4.4. Расчет ущерба от недоотпуска электрической энергии

Общая среднегодовая нагрузка потребителей, питающихся от сетевой электроэнергии ПС-110 «Игольская», «Крапивинская», «Зап. Моисеевская», «Двуреченская»:

$$P_{\text{потр}} = 60 \text{ МВт}$$

Расчетная нагрузка потребителей для оценки разницы ущерба при наличии и отсутствии комплектов защит ВЛ-110, с учетом отключения 20% мощности потребителей при наличии комплектов защит:

$$P_{\text{расч}} = 0,8 \cdot P_{\text{потр}} = 0,8 \cdot 60 = 48 \text{ МВт}$$

Расчетное время включения нагрузок потребителей: $t_{\text{вкл}} = 2$ часа

Стоимость электроэнергии для потребителей ОАО «Томскнефть ВНК»:

$$\text{Ц}_{\text{Э}} = 3,5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$$

Недоотпуск электрической энергии потребителям:

$$Y_{\text{Э}} = P_{\text{расч}} \cdot t_{\text{вкл}} \cdot \text{Ц}_{\text{Э}} = 48000 \cdot 2 \cdot 3,5 = 336 \text{ тыс.р.}$$

10.4.5. Расчет ущерба от недовыработки мощности ГТЭС

Общая среднегодовая суммарная нагрузка генераторов ГТЭС «Игольская-1, 2», «Двуреченская»:

$$P_{\text{ген}} = 38 \text{ МВт}$$

Среднее расчетное время включения генераторов в сеть после аварийного отключения: $t_{\text{вкл.ген}} = 2,5$ часа

Стоимость реализации 1 кВт·ч по договору между ЗАО «Энерго Сервис» и ОАО «Томскнефть»: $\text{Ц}_{\text{ген}} = 3,5$ руб/кВт·ч

Недовыработка электрической энергии генераторами ГТЭС:

$$Y_{\text{ген}} = P_{\text{ген}} \cdot t_{\text{вкл}} \cdot \text{Ц}_{\text{ген}} = 38000 \cdot 2,5 \cdot 3,5 = 332,5 \text{ тыс.р.}$$

10.4.6. Расчет ущерба от сокращения отпуска товарной нефти

Среднесуточный отпуск товарной нефти в магистральный нефтепровод Крапивинской и Игольской групп нефтяных месторождений:

$$H_{\text{д}} = 8300 \text{ тн/сут}$$

Принимаем среднее время запуска и вывода на рабочий режим погружного оборудования скважин: $t_{\text{зап.скв}} = 3$ часа

Внутренняя стоимость товарной нефти для ОАО «Томскнефть» (примерно):

$$\text{Ц}_{\text{н}} = 1000 \text{ руб/тн}$$

Сокращение отпуска товарной нефти:

$$Y_{\text{н}} = H_{\text{д}} \cdot t_{\text{зап.скв}} \cdot \text{Ц}_{\text{н}} / 24 = 8300 \cdot 3 \cdot 1000 / 24 = 1037,5 \text{ тыс.р.}$$

10.4.7. Расчет ущерба от выхода из строя нефтяных скважин

Этот параметр можно оценить только ориентировочно, т.к. он зависит от многих параметров: качества использованного погружного кабеля,

новизны работающего насоса или качества отремонтированного, параметров зоны перфорации скважины. По словам эксплуатирующего персонала, любое внеплановое отключение приводит к выходу из строя как минимум одной-двух скважин, ремонт одной скважины обходится в 250 тыс. руб.

Принимаем $U_{\text{рем}} = 250$ тыс.руб

10.4.8. Расчет затрат на приобретение, монтаж, наладку комплектов защит ПДЭ-2802, ШДЭ-2802.

Защита одной цепи ВЛ-110 кВ ПС «Двуреченская» - ПС «Игольская» обеспечивается панелями ПДЭ-2802 и шкафами ШДЭ-2802. С каждой стороны линии установлено по одному комплекту.

Рыночная стоимость панели ВЧЗ ПДЭ-2802 – $C_{\text{пдэ}} = 188,6$ тыс. р.;

Рыночная стоимость шкафа ШДЭ-2802 – $C_{\text{шдэ}} = 349$ тыс. р.

Таким образом, расходы на приобретение комплектов защит составят:

$$C_{\text{компл}} = 2 \cdot (C_{\text{пдэ}} + C_{\text{шдэ}}) = 2 \cdot (188,6 + 349) = 1075,2 \text{ тыс.р}$$

Данные панели и шкафы, как микроэлектронные устройства, готовые к эксплуатации практически сразу после монтажа, не требуют длительной и сложной наладки, выполняется правильность работы функциональных блоков, вводятся и проверяется правильность срабатывания уставок, монтаж заключается в установке и подключении питающих, контрольных и исполнительных вторичных цепей. Принимаем стоимость этих работ равными 30% стоимости оборудования.

$$C_{\text{монт/нал}} = 0,3 \cdot C_{\text{компл}} = 0,3 \cdot 1075,2 = 322,6 \text{ тыс.р}$$

10.4.9. Определение срока окупаемости

Как видим, ущерб от отсутствия комплектов защит сравним со стоимостью приобретения, монтажа и наладки этих устройств РЗА, поэтому срок окупаемости можно оценить по формуле простого отношения затрат на

приобретение, монтаж и наладку оборудования РЗА к величине суммарного ущерба при отсутствии данных комплектов:

$$T_{\text{ок}} = (\Pi_{\text{компл}} + \Pi_{\text{монт/нал}}) / \omega \cdot (Y_{\text{э}} + Y_{\text{ген}} + Y_{\text{н}} + Y_{\text{рем}}) = \\ = (1075,2 + 322,6) / 0,977 \cdot (336 + 332,5 + 1037,5 + 250) = 0,731 \text{ года}$$

Таким образом, даже в условиях отсутствия серьезных повреждений конструкций повреждаемого оборудования токами КЗ, установка устройств РЗА окупается за счет снижения ущербов, создаваемых длительным КЗ для сетевых, энергогенерирующих предприятий, а также для потребителей нефтяной промышленности. К тому же следует отметить, что настоящим расчетом не рассмотрены многие юридические вопросы, связанные с выдвижением претензий и штрафных санкций из-за внепланового отключения электроэнергии по вине энергоснабжающей организации.

11. Социальная ответственность

11.1 Введение

В данной дипломной работе рассматривается проектирование релейной защиты линейных выключателей С-140, С-141 ПС 110/35/6кВ «Двуреченская». Вторичные цепи устройств РЗА расположены как на территории ОРУ-110 кВ, так и в ОПУ (оперативный пункт управления подстанцией). Поэтому рабочим местом для инженера РЗА, а также для инженера-проектировщика, обеспечивающего авторский контроль за исполнением проекта, является фактически вся территория подстанции. Таким образом, на рабочем месте расположено следующее оборудование: токопроводы напряжением 110 кВ, цепи питания и защиты напряжением до 1000 В, маломасляные выключатели 110 кВ, масляные силовые трансформаторы, измерительные трансформаторы, помещение ОПУ. Для правильной организации работ по борьбе с травматизмом, профессиональными и общими заболеваниями, обусловленными данным рабочим местом и вышеперечисленным оборудованием, рассмотрены вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных и опасных производственных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, мероприятия по противопожарной профилактике, рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и источники их возникновения. Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

					ФЮРА.13.03.02.021 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		М.А. Будилин			Социальная ответственность	Лит.	Лист
Руков.		В.А. Корнев					Листов
Консультант		А.Г. Дашковский					69
						ИШЭ НИ ТПУ гр. 3-5А3А2	
Н.контр.		В.А. Корнев					
							91

11.2 Техногенная безопасность

11.2.1 Анализ опасных и вредных факторов на производстве

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на рабочего в определенных условиях может привести к заболеванию или снижению трудоспособности.

Вредными факторами, по ГОСТ 12.0.003-74, на подстанции являются:

- вредное воздействие климатических условий (подстанция находится в районе, приближенном условиям крайнего севера) ;
- электромагнитные излучения (высокое напряжение токоведущих частей);
- повышенный шум (шум от работающего оборудования);
- плохая освещенность.

К опасным производственным факторам относят факторы, воздействие которых на работающего приводят к травме.

На подстанции 110/10 кВ «Двуреченская» имеются или могут быть при определенных условиях следующие опасные факторы, по ГОСТ 12.0.003-74:

- возможность поражения электрическим током (открытые токоведущие части);
- пожар (наличие открытого огня при проведении огневых работ, короткое замыкание с возгоранием оборудования и другие причины);
- падение с высоты (при выполнении работ на порталах, крышка трансформатора и т.д.);
- вращающиеся механизмы (вентиляторы охлаждения трансформатора).

11.2.2 Анализ опасности поражения электрическим током

Основной опасностью для персонала подстанции является воздействие на работающих интенсивного электрического поля и возможность поражения электрическим током.

В процессе эксплуатации распределительных устройств оперативный и ремонтный персонал производит определенную работу в различных помещениях, которые классифицируются по степени опасности поражения людей электрическим током на:

- помещения без повышенной опасности;
- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения.

Помещения без повышенной опасности, характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность.

Помещения с повышенной опасностью, характеризуются наличием в них одного или нескольких следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости или токопроводящей пыли, токопроводящих полов, высокой температуры, возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, к технологическим аппаратам с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования с другой.

Особо опасные помещения, характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной среды, одновременно двух и более условий повышенной опасности.

Осмотр электрооборудования, находящегося под напряжением, сопряжен с опасностью поражения электрическим током. Возникает это при случайном прикосновении к незащищенным токоведущим частям или приближение к ним на расстояние, когда возможно перекрытие воздушного промежутка.

Согласно [7. табл.1.1] электроустановках выше 1000В при осмотре не допускается входить в помещения, камеры, не оборудованные ограждениями или барьерами, препятствующими приближению к токоведущим частям на расстояние менее указанных в таблице 13.

Таблица 13. Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряжение, кВ		Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стопоров, грузозахватных приспособлений и грузов, м
До 1	На ВЛ	0,6	1,0
	В остальных электроустановках	Не нормируется (без прикосновения)	1,0
1-35		0,6	1,0
60*, 110		1,0	1,5
150		1,5	2,0
220		2,0	2,5
330		2,5	3,5
400*, 500		3,5	4,5
750		5,0	6,0
800*		3,5	4,5
1150		8,0	10,0

* – Постоянный ток

При эксплуатации действующих электроустановок важную роль в обеспечении безопасности персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления.

Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, подразделяют все электрозащитные средства на четыре группы: изолирующие, ограждающие, экранирующие, предохранительные.

В электроустановках выше 1000 В к основным изолирующим средствам относятся: изолирующие штанги, изолирующие и измерительные клещи, указатели напряжения.

К дополнительным изолирующим средствам относятся: диэлектрические перчатки, боты, ковры, изолирующие подставки.

К ограждающим электрозащитным средствам относятся: временные переносные ограждения, переносные заземления и предупредительные плакаты.

Экранирующие средства - это индивидуальные экранирующие комплекты, переносимые экранирующие устройства и экранирующие тканевые изделия (зонты, плакаты).

К предохранительным средствам защиты относятся: защитные очки, специальные рукавицы, защитные каски, предохранительные монтерские пояса, страховочные канаты, монтерские когти, лестницы.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках, согласно [7, п. 2.1.1], являются:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевод на другое рабочее место, окончания работы.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ при подготовке рабочего места со снятием напряжения согласно [7 п. 3] являются следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

11.2.3 Анализ опасности падения с высоты

Причины падения работников с высоты:

- а) технические – отсутствие ограждений, предохранительных поясов, недостаточная прочность и устойчивость лесов, настилов, лестниц;
- б) технологические – недостатки в проектах производства работ, неправильная технология ведения работ;
- в) психологические – потеря самообладания, нарушение координации движений, неосторожные действия, небрежное выполнение своей работы;
- г) метеорологические – сильный ветер, низкая и высокая температура воздуха, дождь, снег, туман, гололёд.

Для исключения падения работников с высоты должны соблюдаться требования правил по охране труда при работе на высоте ПОТ РМ-012-2000.

У работников РЗА подстанции нет рабочих мест, расположенных на высоте.

11.2.4. Вращающиеся механизмы

Ограждают все потенциально опасные вращающиеся или движущиеся части машин, механизмов и оборудования (кроме тех, которые нельзя оградить с учетом их функционального назначения).

Защитные ограждения, приспособления и устройства должны исключать возможность соприкосновения работника с движущимися частями машины, выпадение или вылет обрабатываемых деталей (материалов), а также частей рабочих органов при их поломках, попадание в работающих частичек обрабатываемого материала, возможность травмирования при установке и смене рабочих органов, инструментов.

Внутренние поверхности защитных ограждений и посадочные места для них окрашивают в красный цвет, сигнализирующий об опасности в случае их открывания, а на наружной поверхности наносят предупреждающий знак. Для удержания ограждений при съеме и установке

их снабжают рукоятками, скобами и другими устройствами, не допускающими самопроизвольного открывания во время работы. Ограждения должны отвечать эстетическим требованиям, быть компактными, пропорциональными, без выступающих крепежных деталей и острых углов.[23]

На подстанции вращающиеся части имеют вентиляторы охлаждения радиаторов силовых трансформаторов. Эти вентиляторы установлены в защитных кожухах и исключают прикосновение работников.

11.2.5. Производственная санитария

11.2.5.1. Вредное воздействие климатических условий

Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений регламентируются в соответствии [14], микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- а) Температура воздуха t , °C;
- б) Температура поверхностей $t_{\text{пов}}$, °C;
- в) Относительная влажность φ , %;
- г) Скорость движения воздуха v , м / с;
- д) Интенсивность теплового излучения I , Вт/м².

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах приведены в таблице 14 , допустимые в таблице 15.

Таблица 14. Оптимальные величины показателя микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, t , °C	Температура поверхности, t , °C	Относительная влажность воздуха, φ , %	Скорость движения воздуха, v , м/с
Холодный	IIa	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa	20-22	19-23	60-40	0,2

Таблица 15. Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, t , °C		Температура поверхности, t , °C	Относительная влажность воздуха, φ , %	Скорость движения воздуха, v , м/с	
		Диапазон ниже оптимальных значений	Диапазон выше оптимальных значений			Диапазон ниже оптимальных значений	Диапазон выше оптимальных значений
Холодный	IIa	19-21	18-22	60-40	15-75	0,1	0,3
Теплый	IIa	20-22	19-23	60-40	15-75	0,1	0,4

В случае отклонения от оптимальных величин микроклимата у работающих наблюдаются признаки снижения работоспособности, вялость, головокружение, озноб. При длительной работе на солнце возможен тепловой или солнечный удар, общий перегрев тела, ожоги кожного покрова. При работе в холодную погоду возможны обморожения конечностей и дыхательных путей. В целях минимизации воздействия этих факторов персонал должен работать в спецодежде, соответствующей сезону, соблюдать регламентированные перерывы в работе. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяют следующие основные мероприятия: механизацию и автоматизацию технологических процессов, устройство систем вентиляции и отопления. Кроме того, важное значение имеет правильная организация труда и отдыха работников, выполняющих трудоёмкие работы или работы на открытом воздухе. Для этих категорий работников устраивают специальные места отдыха в помещениях с нормальной температурой, оснащенных системой обогрева, вентиляции и снабженных питьевой водой.

11.2.5.2. Защита от электромагнитных излучений

Открытые распределительные устройства, коммутационные аппараты напряжением 330 - 1150 кВ являются источниками электромагнитных полей (ЭМП) промышленной частоты 50 Гц.

В соответствии с [14 п.1.3.4], и с учетом требований [15 п.2.2], различают следующие виды воздействий:

- непосредственное (биологическое) воздействие, проявляющееся при длительном и систематическом пребывании в электрическом поле, напряженность которого превышает допустимые значения;
- воздействие электрических разрядов (импульсного тока) возникающих при прикосновении человека к заземленным частям оборудования и конструкциям;
- воздействие тока, проходящего через человека, находящегося в контакте с изолированным от земли объектами - крупногабаритными предметами, машинами и механизмов (ток стекания).

Длительное воздействие таких полей выражается субъективными расстройствами в виде жалоб невротического характера, головной боли в височной и затылочной области, ощущение вялости, расстройства сна, ухудшение памяти, раздражительности, апатии, депрессии, боли в области сердца, а также функциональными нарушениями центральной нервной системы, сердечнососудистой системы, в виде изменения состава периферической крови.

В соответствии с [15] - для персонала, обслуживающего электроустановки и находящиеся в зоне создаваемого ими электромагнитных полей устанавливаются предельно допустимые уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в ЭМ указаны в Таблице 15.

Таблица 16. Допустимые уровни напряженности ЭМП.

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимая продолжительность пребывания человека без средств защиты в течении суток в ЭМП, мин	Примечание
До 5 включительно	Без ограничений	Нормативы действительны при условии,

Свыше 5 до 10включительно	180	что остальное время суток человек находится в местах, где электрическое поле отсутствует или не превышает 5 кВ/м и исключена возможность воздействия электрических разрядов.
Свыше 10 до 15включительно	90	
Свыше 15 до 20включительно	10	
Свыше 20 до 25включительно	5	

Так как на исследуемом объекте высшее напряжение электроустановок - 110 кВ, то персоналу допускается длительное нахождение на объекте без использования специальных средств защиты.

11.2.5.3. Защита от производственного шума

Интенсивное шумовое воздействие на организм человека неблагоприятно влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно – сосудистой системе и появлению шумовой патологии, среди многообразных проявлений которой ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха по типу кохлеарного неврита.

В производственных условиях источниками шума являются работающие механизмы и машины.

Основные мероприятия по борьбе с шумом:

- устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике;
- ослабление шума на путях передачи;
- непосредственная защита работающих.

Одним из наиболее простых технических средств борьбы с шумом на путях передачи является звукоизолирующий кожух. Значительный эффект снижения шума от оборудования дает применение акустических экранов, отгораживающих шумный механизм от рабочего места или зоны обслуживания машины. Применение звукопоглощающих облицовок для отделки потолка и стен шумных помещений приводит к изменению спектра шума в сторону более низких частот, что даже при относительно небольшом снижении уровня существенно улучшает условия труда.

Предусмотрены средства индивидуальной защиты – беруши, каски с наушниками.

На подстанции отсутствует оборудование, шум от которого необходимо было бы купировать или защищаться от него средствами защиты.

11.2.5.4 Освещение

Освещение рабочего места– важнейший фактор создания нормальных условий труда. Возникает необходимость освещения как естественного, так и искусственного света.

С целью создания оптимальных условий для персонала принят ряд нормативных документов, определяющие требования к освещению рабочих мест –«СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение» Естественное и искусственное освещение», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий», отраслевые документы по искусственному освещению.

Естественное освещение

Обеспечение освещённости от естественного света связано с устройством проёмов для пропускания света. Конструктивно проёмы могут быть различными по исполнению и по местонахождению, поэтому и характер естественного освещения имеет свои особенности и определяется в процессе проектирования.

Искусственное освещение

На производстве различаются следующие виды искусственного освещения:

- рабочее освещение применяется для освещения рабочих мест;
- аварийное освещение применяется при выходе из строя основного рабочего освещения;

- дежурное освещение применяется в нерабочее время для освещения производственных помещений;
- охранное освещение используется в виде фонарей красного цвета. Применяется для обозначения опасных мест в помещении или в зоне предприятия;
- эвакуационное освещение используется для освещения аварийных выходов галерей, переходов и лестничных маршей. Назначение - эвакуация людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения.

Для создания необходимого уровня освещенности на подстанции выполнено следующее:

- В ОПУ – имеются широкие оконные проемы, люминесцентные светильники обеспечивают необходимый уровень освещения при недостаточном естественном;
- на территории подстанции установлены прожекторные мачты с галогенными и светодиодными прожекторами.
- работники обеспечены индивидуальными источниками света – оперативными фонарями

11.3 Экологическая безопасность

Электроэнергетика оказывает заметное воздействие на окружающую природную среду, загрязняя атмосферу, землю, воду вредными выбросами дымовых газов и сточными водами электростанций, сброса большого количества теплоты, расходуя значительное количество водных и земельных ресурсов, подвергая биосферу неблагоприятному воздействию радиации, связанной с эксплуатацией атомных станций, электромагнитных полей линий электропередачи.

В дипломной работе проектируемый объект сооружается для передачи и распределения электроэнергии на напряжение 110/35/10 кВ.

Указанный технологический процесс является безотходным и не сопровождается вредными выбросами в окружающую природную среду (как воздушную, так и водную).

Но имеется потенциальная опасность загрязнения окружающей среды трансформаторным маслом, которое является ядовитым как для человека, так и для окружающей среды, и в больших количествах (несколько тонн) имеется в силовых трансформаторах подстанции и выключателях (200 л). Для исключения таких случаев, силовые трансформаторы устанавливаются в герметичных ваннах, способных принять в себя весь объём масла, находящийся в данном силовом трансформаторе. Для минимизации вредных испарений от трансформаторного масла ванна заполняется мелким щебнем. Аварийно сливаемое масло из ванны попадает в специальную заглубленную емкость, расположенную в непосредственной близости с подстанцией, но вне её территории, по трубопроводу слива с примитивным решетчатым фильтром для предотвращения засорения. Обслуживающему подстанцию персоналу предписано ежегодно, после таяния снегов, опорожнять эту емкость для обеспечения её проектной вместимости.

Отходы, образующиеся при эксплуатации электротехнического оборудования, должны сортироваться по классам опасности.

Особое внимание следует уделять утилизации люминисцентных и газонаполненных ламп т.к. они, из-за содержания в них ртути и её соединений, относятся к первому классу опасности (чрезвычайно опасное, токсичное химическое вещество). Лампы складываются отдельно от всех отходов и упаковываются в коробки или ящики с обеспечением их целостности при транспортировке, сдаются на специализированное предприятие для переработки.

Также следует относиться и к отработанным аккумуляторам и батарейкам. Из-за содержания в них свинца, кислот и щелочей, они относятся во второму классу опасности (возможно кислотное или свинцовое

отравление окружающей среды) и их следует хранить отдельно и далее сдавать на переработку.

К третьему классу опасности можно отнести, отработанные масла, смазки и фильтры. Такие отходы лишь частично могут быть обезврежены воздействием природных процессов и их накопление приносит вред окружающей среде. Такие отходы также должны складироваться в отдельных контейнерах или емкостях и утилизироваться на специальных предприятиях.

К четвертому классу опасности можно отнести промасленную ветошь как нефтесодержащий отход. Для их хранения на территории цеха устанавливается специальный контейнер, при наполнении которого ветошь вывозят на полигон, который может представлять собой шламонакопитель, где под действием естественных процессов разложения, этот отход обезвреживается.

Остальные отходы можно отнести к пятому классу – неопасные или малоопасные отходы. Они накапливаются на соответствующих местах хранения и вывозятся на полигон твердых бытовых отходов. При этом следует поступать рационально и разделять отходы для их вторичного использования. Так вторичному использованию подлежат: цветные и черные металлы, стекло, бумага и картон, пластик.

11.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация- это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Необходимо предупреждение чрезвычайных ситуаций - комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально

возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь в случае их возникновения.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций - это аварийно-спасательные и другие неотложные работы, проводимые при возникновении чрезвычайных ситуаций и направленные на спасение жизни и сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь, а также на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для них опасных факторов.

Чрезвычайные ситуации классифицируются по следующим основным признакам:

1. По сфере возникновения (технологические, природные, экологические, социально-политические и т.д.).
2. По ведомственной принадлежности (в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и т.д.).
3. По масштабу возможных последствий (глобальные, региональные, местные).
4. По масштабу и уровням привлекаемых для ликвидации последствий сил, средств и органов управления.
5. По сложности обстановки и тяжести последствий.
6. По характеру лежащих в ее основе явлений и процессов.

Техногенные чрезвычайные ситуации, свойственные исследуемой подстанции: пожары, взрывы, внезапные выбросы масла и газомасляной смеси. В случае возгорания трансформатора опасность состоит в том, что при аварии внутри трансформатора в баке создается давление, способное и при возгорании и последующем взрыве выбросить горящее масло на значительное расстояние, что может привести к поражению персонала подстанции, находящегося на близком расстоянии от места взрыва.

Природные чрезвычайные ситуации. Район расположения подстанции – васюганские болота, сейсмической активности нет, подстанция окружена со всех сторон влагонасыщенными болотами, поэтому опасны природные явления в месте расположения подстанции:

- сильные дожди и ливни - 50 мм осадков и более за 12 часов и менее;
- снегопад - 150 мм и более за 12 часов и менее;
- гололед и ветер - скорость при порывах 25 м/сек и более;
- отложение льда и снега на проводах ЛЭП - 20 мм и более;
- значительное понижение и резкие перепады температур воздуха.

Стихийные бедствия могут вызвать разрушения, нанести материальный ущерб, внезапно нарушить нормальную жизнедеятельность людей.

2. Природные лесные и торфяные пожары - крупные (25 Га и более) не контролируемые пожары на прилегающих к территории объекта энергетики площадях, а также на территории самого объекта.

11.4.2 Противопожарные мероприятия и пожарная защита

Пожарная безопасность ВЛ обеспечивается несгораемостью конструкций опор, их заземлением и автоматическим отключением ВЛ от токов короткого замыкания.

Маслоприемные устройства под трансформаторами и реактором, маслоотводы должны содержаться в исправном состоянии для исключения при аварии растекания масла и попадания его в кабельные каналы и другие сооружения.

В пределах бортовых ограждений маслоприемника гравийная засыпка должна содержаться в чистом состоянии.

Территория подстанции должна периодически расчищаться от поросли.

Средства пожаротушения:

Для быстрой локализации очагов возгорания служат ручные огнетушители, которые широко применяются на подстанции. Типы огнетушителей: ГОСТ 12.4.009-83, СНиП 31-03-2001, согласно МЮ РФ 27.06.2003г., № 4838, устанавливаются в количестве:

1 огнетушитель порошковый ОП — 10,

2 огнетушитель порошковый ОП — 20;

На территории подстанции также установлены пожарные щиты (4 шт), укомплектованные сухим песком, багром, топором, лопатой, ведром.

В непосредственной близости от подстанции расположена ГТЭС «Двуреченская», от противопожарного кольца которой можно подать воду для тушения пожара на территории подстанции или вблизи её охранного периметра.

Мероприятия по пожарной профилактике:

Организационные: включают в себя противопожарный инструктаж рабочих и служащих, издание приказов по пожарной безопасности и т.д.;

Технические: - соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании помещений, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения и правильное размещение оборудования;

Мероприятия режимного характера: запрещение курения в неустановленных местах, производства огневых работ в помещении.

Т.к. подстанция не является объектом массового пребывания, и в ее помещениях (ОПУ, КРУН-6 кВ, Операторная) одновременно находится не более 10 человек (Оперативная смена – 2 человека), то в плане эвакуации нет необходимости [].

11.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны:

- основное и вспомогательное оборудование должно обеспечивать: удобство его обслуживания, наладки и ремонта, безопасность эксплуатации и ремонта, удобство и легкость управления и т.д.
- технологическая оснастка должна соответствовать требованиям технологии производства по своему составу и количеству.
- организационная оснастка призвана обеспечивать эффективное выполнение работником своих обязанностей.
- средства освещения необходимо обеспечить достаточный уровень общего освещения.
- создание оптимального микроклимата в помещениях который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей.

Обеспечение безопасности производства регламентируется следующими законами и нормами:

- Федеральный Закон (ред. от 10.07.2012)"Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
- Федеральный закон (ред. от 28.12.2013 N 426) “Специальной оценке условий труда”
- Федеральный закон (ред. 30.12.2009г № 384-ФЗ) ” Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”
- Правовые вопросы безопасности труда. Правовые и организационные аспекты обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях. Контроль за состоянием условий труда на предприятиях. Инструкции по безопасности труда для профессий с учетом специфики работы.
- Организационные мероприятия обеспечивающие безопасность работ в электроустановках регламентированы ПОТ РМ – 016 – 2013.

Предприятие, эксплуатирующее данную подстанцию, обеспечивает работникам, в рамках трудового законодательства и заключенного между работниками и администрацией коллективного договора:

- надлежащий по трудовому законодательству график работы или дежурства;
- соответствующую квалификации работника оплату труда с дополнительными выплатами;
- обеспечение ежегодным оплачиваемым отпуском, с оплатой льготного проезда к месту проведения отпуска;
- страхование работника в случае получения травм и профессиональных заболеваний при выполнении должностных обязанностей. Размер страховой выплаты зависит от тяжести травмы или группы инвалидности;
- других социальных выплат, направленных на стимуляцию работника.

Таким образом, в данном разделе рассмотрены социальные вопросы организации безопасности при выполняемых работах, в том числе обязанности работодателя по страхованию работников от несчастных случаев

12. Заключение

В данной работе произведен расчет уставок релейных защит воздушной линии 110 кВ ПС-110 «Двуреченская» - ПС-110 «Игольская» для комплекта, уставовленного на выключатели ПС-110 «Двуреченская». В качестве устройств защит использованы широко распространенные и многолетней эксплуатацией подтвердившие свою надежность панель основной защиты высокочастотной защиты ПДЭ-2802 и шкаф токовых и дистанционных защит ШДЭ-2802. Особенностью расчета токов КЗ для расчета уставок и проверки чувствительности защит является то, что подстанция очень удалена от источников мощности, а имеющиеся газотурбинные электростанции с небольшой мощностью генерации, множество крупной двигательной нагрузки не обеспечивают высоких токов короткого замыкания. В связи с этой особенностью некоторые токовые защиты обладают недостаточной чувствительностью. Однако основная высокочастотная защита, обладающая абсолютной селективностью и чувствительными измерительными органами, обеспечивает защиту линии на всей ее протяженности с отстройкой от внешних КЗ на отпайках промежуточных подстанций.

Независимо от того, что установка устройств РЗА обязательна по ПУЭ, был произведен расчет экономической эффективности от их использования с учетом наличия защит смежных элементов энергосистемы. Даже несмотря на то, что токи КЗ не повреждают элементы линии, потери от недоотпуска электрической энергии, потери от остановки нефтяного фонда скважин, остановки ГТЭС в сумме дают результат по времени окупаемости установки устройств РЗА меньше года. В части работы по социальной ответственности рассмотрены вопросы промышленной безопасности, санитарии и охраны труда, пожарной безопасности и возможных чрезвычайных ситуаций на подстанции.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго. - М.: «Энергоиздат», 1985. - 648 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110-330 кВ. М., «Энергия», 1972. – 112 с
3. Панель высокочастотной направленной защиты ПДЭ 2802/Я.С.Гельфанд, Н.А. Дони, А.И. Левиуш и др, - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 128 с.
4. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: изд. ТПУ, 2012. – 42 с
5. В. И. Готман. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. – Томск: изд. ТПУ, 2013. – 117 с
6. Копьев В.Н. Релейная защита. Проектирование: Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2012. – 100 с.
7. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения. Учебное пособие. -Томск; Изд.ТПУ, 2001.-132 с.
8. А.М.Федосеев, М.А.Федосеев. Релейная защита электроэнергетических систем: Учебник для вузов.- 2-е изд., М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528с.
9. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, 2002
10. Грибов, В.Д. Экономика организации (предприятия).: учеб. пособие/ В.Д. Грибов, В.П. Грузинов, В.А. Кузьменко.

					ФЮРА.13.03.02.021 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		М.А. Будилин			Список используемых источников			Лит.	Лист	Листов	
Руков.		В.А. Корнев								89	91
								ИШЭ НИ ТПУ гр. 3-5А3А2			
Н.контр.		В.А. Корнев									

11. Неклепаев, Б.Н., Крючков, И.П. Электрическая часть станций подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: «Энергоатомиздат», 1989. – 608 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
13. Электротехнический справочник. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии (Под общей редакцией проф. МЭИ: В.Г.Герасимова и др.). - 8-е изд., - М.:Издательство МЭИ, 2002.- 964 с.
14. СанПиН 2.2.4.548-96 – Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.
15. ГОСТ 12.1.002 – 84 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. М.: Издательство стандартов, ПЕРЕИЗДАНИЕ 1999. – 26с.
16. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение»
Естественное и искусственное освещение.
17. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
18. НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности"(утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314).
19. ГОСТ 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
20. РД 34.03.201-97. Правила безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2003, - 456 с.

21. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 143с.

22. Басова Т.Ф., Борисов Е.И., Бологова В.В. Экономика и управление энергетическими предприятиями. Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 432с., ил.

23. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: МинздравРоссии, 1997.

24. Басова Т.Ф., Борисов Е.И., Бологова В.В. Экономика и управление энергетическими предприятиями. Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 432с., ил.

25. ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Экологический менеджмент.