

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Проектирование релейной защиты линии 220 кВ подстанция «Зилово» – подстанция
«Холбон» Забайкальской энергосистемы

УДК 621.316.925.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A7A	Спиридонов Ярослав Андреевич		

Руководитель ВКР/консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н.		
ассистент	Гречушников В.В.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Результаты освоения ООП

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

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	<i>электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.</i>	требования профессиональных стандартов 20.003, Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.003, Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P12	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.003, Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

В.В. Шестакова

« » 2021 г.

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5A7A	Спиридонов Ярослав Андреевич

Тема работы:

Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Зилово» – подстанция «Холбон» Забайкальской энергосистемы
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i>	Электрическая схема Забайкальской энергосистемы. База данных ПК АРМ СРЗА Забайкальской энергосистемы. Исследуемая линия – линия 220 кВ ПС Зилово – ПС Холбон.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Работа заключается в расчете параметров релейных защит, а именно: — выборе измерительных трансформаторов; — расчете уставок срабатывания дистанционной защиты; — расчете уставок срабатывания ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности; — расчете уставок срабатывания ступенчатой токовой защиты;
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Электрическая схема Забайкальской энергосистемы; Характеристики срабатывания ДЗ.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.01.2021
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н.		30.01.2021
ассистент	Гречушников В.В.	-		30.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7А	Спиридонов Ярослав Андреевич		31.01.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
5A7A	Спиридонову Ярослав Андреевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на специальное оборудование, а также стоимость материальных ресурсов учитываются в соответствии со среднерыночным уровнем цен г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 30% надбавки; 20% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT-анализа
3. Календарный план-график проведения НИ
4. График Гантта
5. Расчет бюджета затрат НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.	30.01.2021	

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A7A	Спиридонов Ярослав Андреевич	31.01.2021	

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.2021
--	-------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2021	Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений	20
28.02.2021	Расчет дистанционной защиты	20
15.03.2021	Расчет токовой ступенчатой защиты	20
30.04.2021	Расчет ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности	20
15.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
25.05.2021	Социальная ответственность	10
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н.		30.01.2021

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Гречушников В.В.	-		30.01.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		30.01.2021

РЕФЕРАТ

Данная выпускная квалификационная работа на тему «Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция «Зилово» – подстанция «Холбон» Забайкальской энергосистемы» содержит 100 страниц, 13 рисунков, 23 таблицы, 19 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: Релейная защита, дистанционная защита, токовая отсечка, уставка срабатывания, коэффициент чувствительности, ТЗНП, линия электропередачи, короткое замыкание.

Объект исследования: Линия электропередачи 220 кВ ПС Зилово – ПС Холбон Забайкальской энергосистемы.

В ходе работы были проведены расчеты электрических величин при помощи вычислительных программных комплексов, а также расчеты параметров по соответствующим выражениям. Полученными результатами данных расчетов являются значения уставок срабатывания и их коэффициентов чувствительности. Релейная защита и автоматика была выполнена с помощью шкафа типа ШЭ 2607 на микропроцессорной аппаратуре производителя фирмы НПП «ЭКРА». Все рассчитанные защиты соответствуют основным требованиям, предъявляемым к релейной защите и автоматике.

Область применения: результаты данной работы могут быть использованы для непосредственной установки защит и задания их параметров.

Обозначения и сокращения

АПВ – автоматическое повторное включение

ДЗ – дистанционная защита

ИО – измерительный орган

КЗ – короткое замыкание

ЛЭП – линия электропередачи

МТЗ – максимальная токовая защита

НПП – научно-производственное предприятие

ОАПВ – однофазное автоматическое повторное включение

ПВК – программно-вычислительный комплекс

ППБ – правила пожарной безопасности

ПС – подстанция

ПУЭ – правила устройства электроустановок

РЗ – релейная защита

СанПиН – санитарные правила и нормы

ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности

ТН – трансформатор напряжения

ТО – токовая отсечка

ТТ – трансформатор тока

ЭЭС – электроэнергетическая система

Содержание

Введение.....	12
1 Проектирование релейной защиты подстанции «Зилово 220/110 кВ»	14
1.1 Характеристика защищаемого объекта	14
1.2 Выбор и обоснование устанавливаемых защит	14
1.3 Выбор аппаратной реализации релейной защиты	15
1.4 Выбор устройств релейной защиты	16
1.5 Выбор измерительных трансформаторов	17
2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.....	20
2.1 Дистанционная защита	20
2.1.1 Принцип действия.....	20
2.1.2 Первая ступень первой периферии	23
2.1.3 Проверка чувствительности первой ступени первой периферии.....	26
2.1.4 Первая ступень параллельной линии первой периферии.....	26
2.1.5 Согласование второй ступени с первой ступенью параллельной линии первой периферии	28
2.1.6 Первая ступень второй периферии	29
2.1.7 Вторая ступень первой периферии	30
2.1.8 Согласование второй ступени первой периферии с первой ступенью второй периферии	32
2.1.9 Проверка чувствительности второй ступени.....	34
2.1.10 Третья ступень первой периферии.....	36
2.1.11 Проверка чувствительности третьей ступени первой периферии.....	37
2.2 Токовая ступенчатая защита	41
2.2.1 Принцип действия.....	41
2.2.2 Первая ступень первой периферии	42
2.2.3 Первая ступень второй периферии	42
2.2.4 Первая ступень параллельной линии	43
2.2.5 Чувствительность первой ступени первой периферии	43
2.2.6 Вторая ступень первой периферии	44

2.2.7 Проверка чувствительности второй ступени первой периферии.....	44
2.2.8 Согласование второй ступени первой периферии с первой ступенью второй периферии	45
2.2.9 Согласование второй ступени первой периферии с первой ступенью параллельной линией	45
2.2.10 Третья ступень первой периферии.....	45
2.2.11 Проверка чувствительности третьей ступени.....	46
2.3 Токовая ступенчатая защита нулевой последовательности	47
2.3.1 Принцип действия.....	47
2.3.2 Первая ступень первой периферии	50
2.3.3 Проверка чувствительности первой ступени первой периферии.....	51
2.3.4 Вторая ступень первой периферии	51
2.3.5 Проверка чувствительности второй ступени.....	53
2.3.6 Третья ступень первой периферии.....	54
2.3.7 Проверка чувствительности третьей ступени	57
2.3.8 Четвертая ступень первой периферии	58
2.3.9 Проверка чувствительности четвертой ступени	58
2.3.10 Итоговая таблица параметров.....	60
2.4 Заключение по главе «Расчет параметров релейной защиты»	60
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ	62
3.1 Анализ конкурентоспособности.....	62
3.3 Планирование научно-технического исследования	67
3.4 Определение трудоемкости выполнения работ	68
3.5 Разработка графика проведения научного исследования.....	69
3.6 Определение бюджета проекта.....	72
3.7 Ресурсоэффективность	77
3.8 Заключение по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	77

Введение

Электроэнергетическая система - это совокупность объектов электроэнергетики и принимающих энергию электроустановок потребителей, связанных общим режимом работы в уникальном технологическом процессе производства, передачи и потребления электрической энергии.

В ходе эксплуатации ЭЭС могут возникнуть ненормальные режимы работы электрооборудования, которые обычно приводят к отклонению величин напряжения, тока и частоты от допустимых значений. При повышении напряжения и тока возникает опасность повреждения электрооборудования и линий электропередач, снижение частоты и напряжения грозит нарушением нормальной работы потребителей и устойчивости ЭЭС.

Таким образом, ненормальные режимы работы могут являться причиной возникновения повреждений в энергосистеме, что нарушает нормальную работу электрической энергосистемы и потребителей электроэнергии.

Для обеспечения нормальной работы ЭЭС и потребителей электроэнергией необходимо обеспечить максимально быстрое выявление и локализацию места повреждения, что даст возможность восстановить нормальные условия работы и предотвратит разрушение на месте повреждения. Можно избежать опасных последствий ненормальных режимов, если своевременно выявить отклонение от нормального режима и предпринять необходимые меры по его устранению (снизить напряжение при его повышении, уменьшить ток при его нарастании и др.).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что существует необходимость создания и применения устройств автоматики, которые выполняют указанные операции и защищают ЭЭС от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов.

Из всех типов устройств автоматики особенно выделяется релейная защита, работающая в режиме глубоких возмущающих воздействий и скачкообразных изменений электрических параметров.

Релейная защита - это комплекс автоматических устройств, осуществляющих непрерывный контроль состояния элементов энергосистемы, а также реагирующих на возникновение повреждений и ненормальных режимов. В зависимости от характера нарушения релейная защита отключает электрооборудование, если возникает опасность его повреждения или же сигнализирует оперативному персоналу, который принимает меры по устранению ненормального режима работы.

Основными требованиями релейной защиты являются: селективность, скорость, надежность (аппаратная и функциональная), резервирование, чувствительность. Наряду с вышеуказанными требованиями при проектировании и выборе релейной защиты учитываются следующие факторы:

- в целях повышения функциональной надежности не учитываются маловероятные режимы работы системы и маловероятные виды повреждений, если это приводит к заметному усложнению защиты;
- выбор конкретного типа защиты производится с учетом экономической эффективности, которая включает в себя абсолютную стоимость, затраты на установку и запуск, затраты на эксплуатацию, возможные потери в результате недовыработки промышленной продукции и снижения их качества в случае нарушения срабатывания защиты.

Целью данной работы является проектирование релейной защиты ПС «Зилово 220 кВ» Забайкальской энергосистемы.

Для достижения поставленной цели и сокращения объема расчетов вручную, являющихся трудоемкими и требующих больших затрат времени, выполнение данной работы будет основано на использовании программно-вычислительного комплекса «АРМ СРЗА».

1 Проектирование релейной защиты подстанции «Зилово 220/110 кВ»

1.1 Характеристика защищаемого объекта

В данной работе производится выбор устройств релейной защиты воздушной линии 220 кВ ПС Холбон – ПС Зилово Забайкальской ЭЭС. Расчет производим для комплекта, установленного на подстанции Зилово.

Объем производства электроэнергии на 2018 год составляет 7176.3 млн кВт*ч. В состав генерирующих мощностей энергосистемы входит 6 тепловых электрических станций и ГРЭС. Установленная мощность Забайкальской системы составляет 1596.3 МВт. Наиболее крупными объектами генерации являются: «Харанорская» ГРЭС установленной мощностью 665 МВт, станция промышленного предприятия ТЭЦ ППГХО («Краснокаменская ТЭЦ», филиал АО «ОТЭК») мощностью 410 МВт и «Читинская ТЭЦ-1» мощностью 452.8 МВт. В нашем проекте рассматриваются ПС «Холбон» мощностью 256,3 МВт [1].

Упрощенная схема энергорайона приведена в Приложении 1. Электрическая схема замещения района представлена в Приложении 2.

В качестве исходных данных используются параметры объектов, взятые из базы данных программного комплекса «АРМ СРЗА».

1.2 Выбор и обоснование устанавливаемых защит

Для ВЛ 110-220 кВ на параллельных линиях, имеющих питание с двух или более сторон, а также на питающем конце параллельных линий с односторонним питанием должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих повреждений и аномальных режимов работы:

Соответственно, согласно [2], на рассматриваемых линиях, которая имеет питание с двух или более сторон, для защиты от многофазных замыканий должна быть применена дистанционная защита (преимущественно

трехступенчатая), используемая в качестве основной (только на линиях 110-220 кВ).

В качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую ступенчатую без выдержки времени. Для данной линии в качестве резервной принимаем токовую ступенчатую защиту. Первая ступень является токовой отсечкой без выдержки времени, вторая ступень – токовой отсечкой с выдержкой времени, третья ступень – максимальная токовая защита.

От замыканий на землю должна быть предусмотрена, как правило, ступенчатая токовая защита нулевой последовательности.

1.3 Выбор аппаратной реализации релейной защиты

В настоящее время микропроцессорные устройства – главное направление реализации релейной защиты. Помимо главной функции аварийного отключения ЭС, микропроцессорные устройства еще имеют и дополнительные функции применимые к устройствам релейной защиты других типов (электрохимические, микроэлектронные реле) по нахождению аварийных ситуаций. В других устройствах используют дополнительные режимы защиты, например, такие, как функция дальнего резервирования отказов выключателей и защит. Данные функции не могут быть выполнены на устройствах релейной защиты на электрохимической или же аналоговой базе.

К достоинствам микропроцессорных устройств можно отнести:

- Многофункциональность;
- Точность снятия показаний;
- Компактность;
- Удобство фиксации неисправностей и настройки защиты.

К недостаткам относится применение микроконтроллера – более высокая стоимость и не ремонтпригодность (когда реле выходит из строя легче его сразу заменить на новый).

Кроме того, в отсутствии единого стандарта на аппаратуру, микропроцессорные устройства различных разработчиков не могут дополнить или заменить друг друга.

Анализируя достоинства и недостатки микропроцессорных устройств, принимаем решение о реализации РЗА на микропроцессорных терминалах.

1.4 Выбор устройств релейной защиты

Для защиты автотрансформатора принимаем микропроцессорные шкафы защиты производства ООО НПП «ЭКРА»: ШЭ2607 042 и ШЭ2607 072.

Указанная компания существует на рынке более 20 лет и стала поставщиком качественной и надежной продукции по достаточно низкой цене. ООО НПП «ЭКРА» - надежный партнер производственных, промышленных и торговых предприятий по всей России и за рубежом.

Согласно руководству по эксплуатации [5] шкаф типа ШЭ2607 042 предназначен для защиты автотрансформатора с высоким напряжением 220 кВ и состоит из двух комплектов. Первый комплект обеспечивает функции основных защит автотрансформатора и включает в себя:

- дифференциальную токовую защиту автотрансформатора;
- максимальную токовую защиту АТ с пуском по напряжению;
- защиту от перегрузки (ЗП).

Кроме того, первый комплект обеспечивает прием сигналов от

- сигнальной и отключающей ступеней газовой защиты АТ;
- газовой защиты РПН АТ;
- датчиков повышения температуры масла;
- понижения и повышения уровня масла, отсечного клапана.

Второй комплект обеспечивает прием сигналов от отключающих ступеней газовых защит АТ, РПН АТ и действует на отключение АТ через промежуточные реле.

Шкаф типа ШЭ2607 072 предназначен в качестве резервной защиты одной стороны АТ с высшим напряжением 110–220 кВ. Содержит комплект, реализующий функции ДЗ, ТНЗНП, МТЗ и ТО.

В данной работе для воздушной линии 110 кВ выбираем микропроцессорное устройство релейной защиты производства НПП «ЭКРА». Шкаф типа ШЭ2607 016 содержит комплект, реализующий следующие функции:

- дистанционной защиты;
- токовой защиты нулевой последовательности;
- токовой отсечки;
- максимальной токовой защиты;
- автоматической разгрузки при перегрузках по току;
- автоматического повторного включения;
- устройства резервирования отказа выключателей
- автоматики управления линейным или обходным выключателем.

1.5 Выбор измерительных трансформаторов

Трансформаторы тока выбираются [3]:

– по напряжению установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

– по току:

$$I_{ном} \leq I_{Iном}$$

$$I_{max} \leq I_{Iном}$$

Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей.

– по конструкции и классу точности;

– по электродинамической стойкости:

$$i_y \leq \sqrt{2} \cdot k_{эд} \cdot I_{ном}$$

$$i_y \leq i_{дин}$$

Где

i_y – ударный ток короткого замыкания по расчету;

$k_{эд}$ – кратность электродинамической стойкости по каталогу;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока;

$i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости.

Электродинамическая стойкость шинных трансформаторов тока зависит от устойчивости самих сборных шин распределительного устройства, в результате чего такие трансформаторы не проверяются по этому условию.

– по термической стойкости:

$$B_k \leq (k_t \cdot I_{ном})^2 \cdot t_{тер}$$

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$$

Где

B_k – тепловой импульс по расчету;

k_t – кратность термической стойкости по каталогу;

$I_{тер}$ – ток термической стойкости;

$t_{тер}$ – время термической стойкости.

– по вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}$$

Где

Z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2ном}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Выбираем трансформатор тока ТФЗМ220-1 по каталожным данным [3].

Параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры трансформатора тока

Тип	Напряжение $U_{ном}$, кВ	Номинальный ток, кА		Варианты исполнения по вторичным обмоткам	Ток стойкости, кА		Номинальная нагрузка, Ом, в классе,
		Перв. $I_{ном}$	Втор. $I_{ном}$		Эл.дин $i_{дин}$	Терм $I_{тер}$	
ТФЗМ220Б-1	220	300-600	5	0,5/10P/10P/10p	27-54	(10-20)/3	220

Трансформаторы напряжения выбираются [3]:

– по напряжению установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

– по классу точности;

– по вторичной нагрузке:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$$

Где

$S_{ном}$ – номинальная мощность в выбранном классе точности с учетом того, что для однофазных трансформаторов, соединенных звездой, следует принимать полную суммарную мощность трех фаз, а для трансформаторов, соединенных по схеме разомкнутого треугольника, – удвоенную мощность трансформатора;

$S_{2\Sigma}$ – нагрузка всех измерительных приборов и реле присоединенных к трансформатору напряжения.

Для упрощенного расчета нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}}\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}\right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (10)$$

Если вторичная нагрузка превышает номинальную мощность в выбранном классе точности, то устанавливается второй трансформатор напряжения и часть приборов подключают к нему.

Выбираем трансформатор напряжения НКФ-110-83У1 по каталожным данным [3]. Параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры трансформатора напряжения

Тип	Номинальное напряжение обмотки			Номинальная мощность, В·А		
	Перв., кВ	Осн. втор., В	Доп., В	0.5	1	3
НКФ-220-58У1	200 /√3	100/√3	100	600	600	100

2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

2.1 Дистанционная защита

2.1.1 Принцип действия

Дистанционная защита состоит из следующих элементов:

- Пусковой орган – служит для запуска защиты при коротком замыкании. Выполняется на реле полного сопротивления;
- Дистанционный орган – оценивает удаленность короткого замыкания;
- Орган выдержки времени;

- Блокировка, действующая при повреждении цепей напряжения, питающих защиту;
- Блокировка, действующая при колебаниях, воспринимающиеся пусковыми реле и реле сопротивления как короткое замыкание.

Принцип действия дистанционной защиты основан на отслеживании изменения сопротивления. В нормальном режиме параметры напряжения на шинах и тока в линии близки к номинальным:

$$U_{л} = U_{норм}$$

$$I_{л} = I_{норм}$$

$$z_{н} = \frac{U_{норм}}{I_{норм}}$$

При возникновении короткого замыкания напряжение на шинах снижается, а ток в линии повышается, при этом контролируемое сопротивление снижается:

$$z_{к} = \frac{U_{к}}{I_{к}} < z_{н}$$

В свою очередь:

$$z_{к} = z_0 \cdot l_{к}$$

Где

z_0 – сопротивление 1 км линии; длина линии. $l_{к}$ –

Таким образом, отслеживая изменение сопротивления, можно определить факт возникновения короткого замыкания и оценить удаленность точки короткого замыкания.

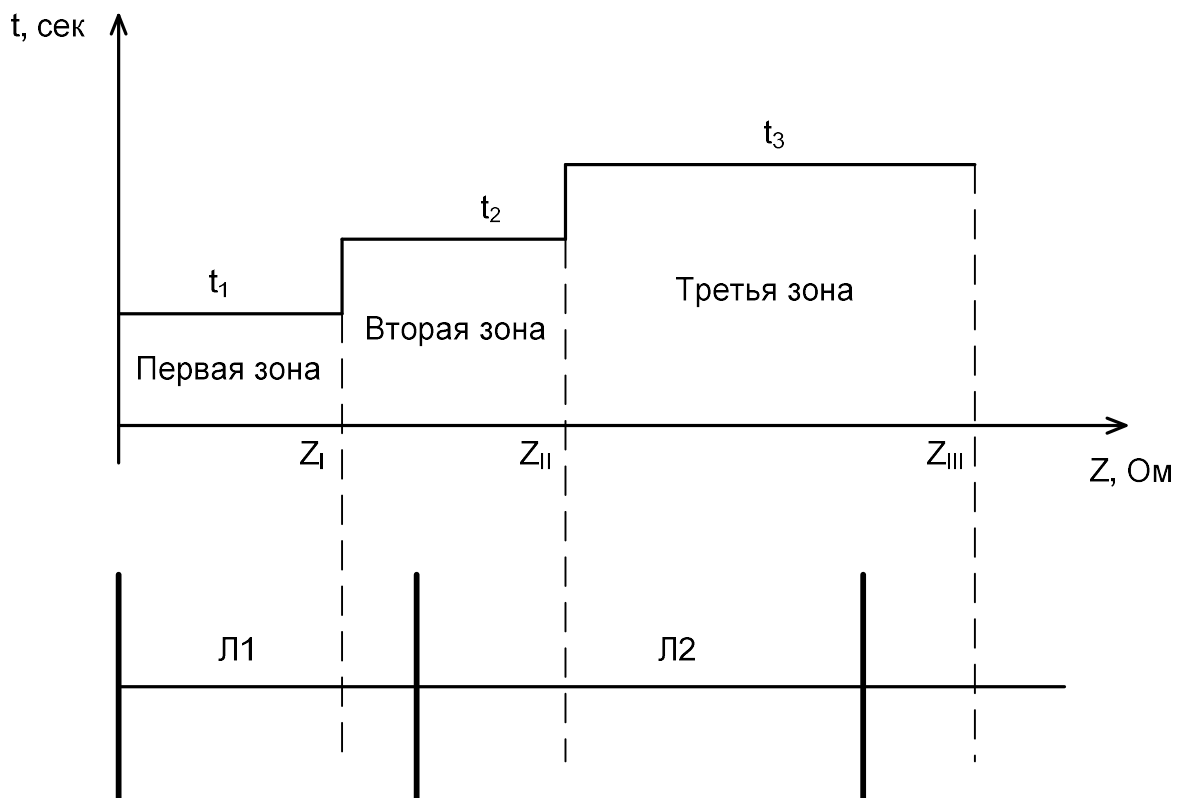


Рисунок 1 – Зависимость выдержек времени дистанционной защиты

Дистанционная защита обычно выполняется в три ступени. Первая ступень рассчитана для срабатывания при коротких замыканиях в защищаемой линии, то есть рабочее сопротивление защиты должно быть ниже сопротивления линии.

$$z_{сз} \leq z_{л}$$

Следует учитывать, что первая ступень обычно охватывает 85 % длины защищаемой линии. В случае коротких замыканий в зоне действия первой ступени защита срабатывает без выдержки времени.

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с}$$

Вторая ступень необходима для надежной защиты всей линии. Ее зона действия находится на смежной линии, а, чтобы избежать неселективного срабатывания защиты при коротком замыкании на отходящей линии вводится задержка на срабатывание.

$$t_{сз}^{II} = (0,4 \div 0,5) \text{ с}$$

Третья ступень обеспечивает функции ближнего и дальнего резервирования.

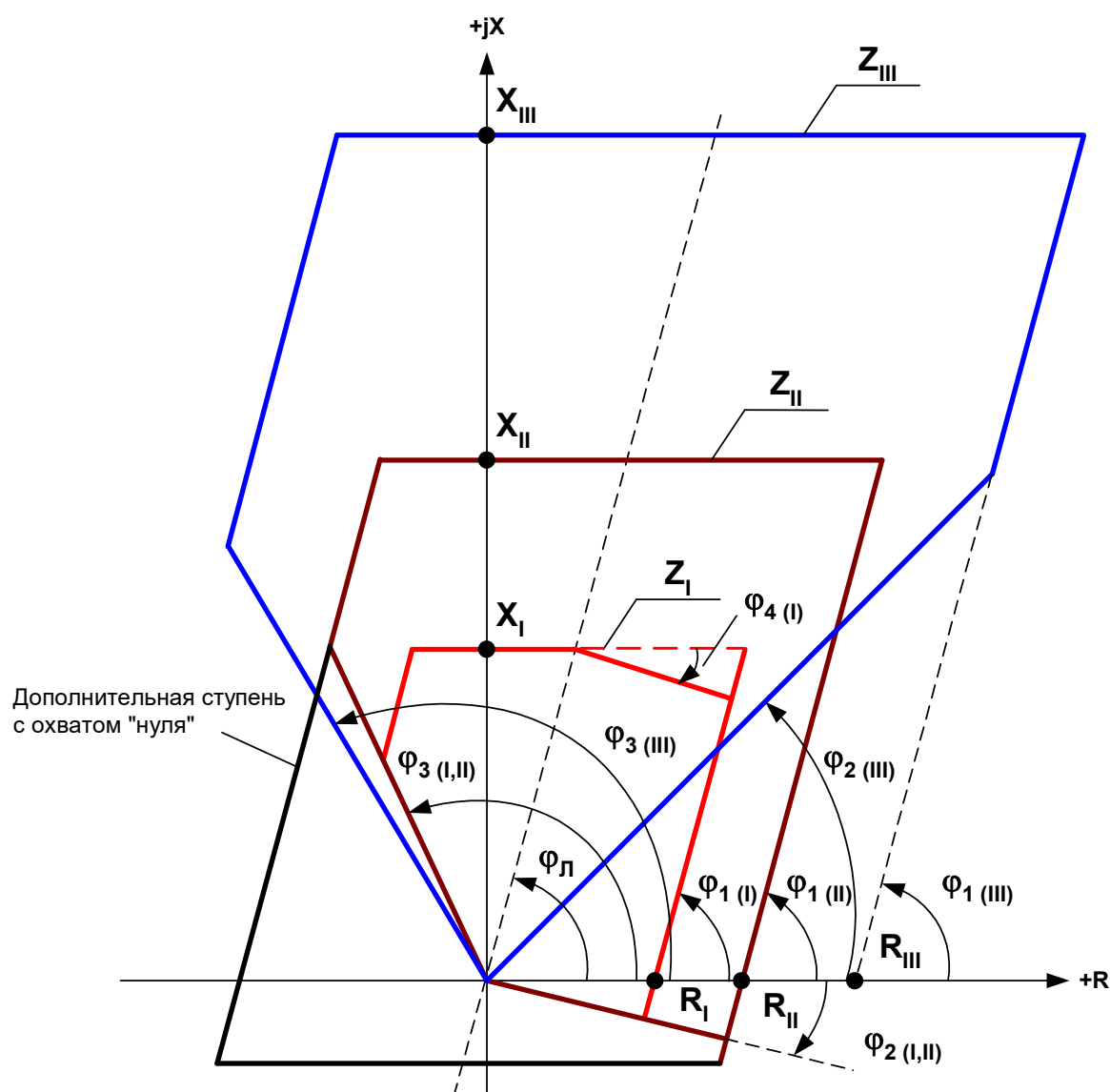


Рисунок 2 – Характеристики срабатывания реле сопротивления дистанционной защиты

2.1.2 Первая ступень первой периферии

Первичное сопротивление срабатывания первой ступени защиты без выдержки времени необходимо отстроить от короткого замыкания на шинах противоположного конца линии, в данном случае следует рассмотреть короткое замыкание на ПС Зилово. [6].

В программе выбирается пункт «Задание для расчета» и заполняем шаблон задания для расчета уставки первой ступени. После заполнения протокола задания выполняется команда «Расчет».

Дата формирования документа для Word: 13.03.2021 19:54:31
 ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА ПС
 Защита 2111 Тип ШЗ2607 Ступень 1
 Ветвь 377-380 КТТ 600/5
 Узел КТН 2200

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	70.5	0.85	ВИД-КЗ ABC		ZCA=86.19 76
	RY	37.8		УЗЕЛ-КЗ 407		
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

где

ЗАЩ=2111 – номер защиты складывается из номера элемента (N=211) и номера комплекта защиты (1);

КТН=220000/100=2200 – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;

КТТ=600/5=120 – коэффициент трансформации трансформатора тока;

JBT=5 – ток на выходе трансформатора тока.

ФМЧ=75 – угол максимальной чувствительности;

Ф2=-15 и Ф3=115 – углы наклона четырехугольной характеристики первой ступени защиты. Углы (в градусах) заданы в соответствии с рекомендациями разработчиков программного комплекса.

Для ВЛ с проводом АС-120 допустимый продолжительный ток равен 390 А [4, стр. 428].

Сопротивление срабатывания дистанционной защиты первой ступени:

$$Z_{сз}^I = 70,5 + j \cdot 37,8 \text{ Ом}$$

Время срабатывания дистанционной защиты первой ступени:

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с}$$

Графические характеристики защит приведены на рисунке 3.

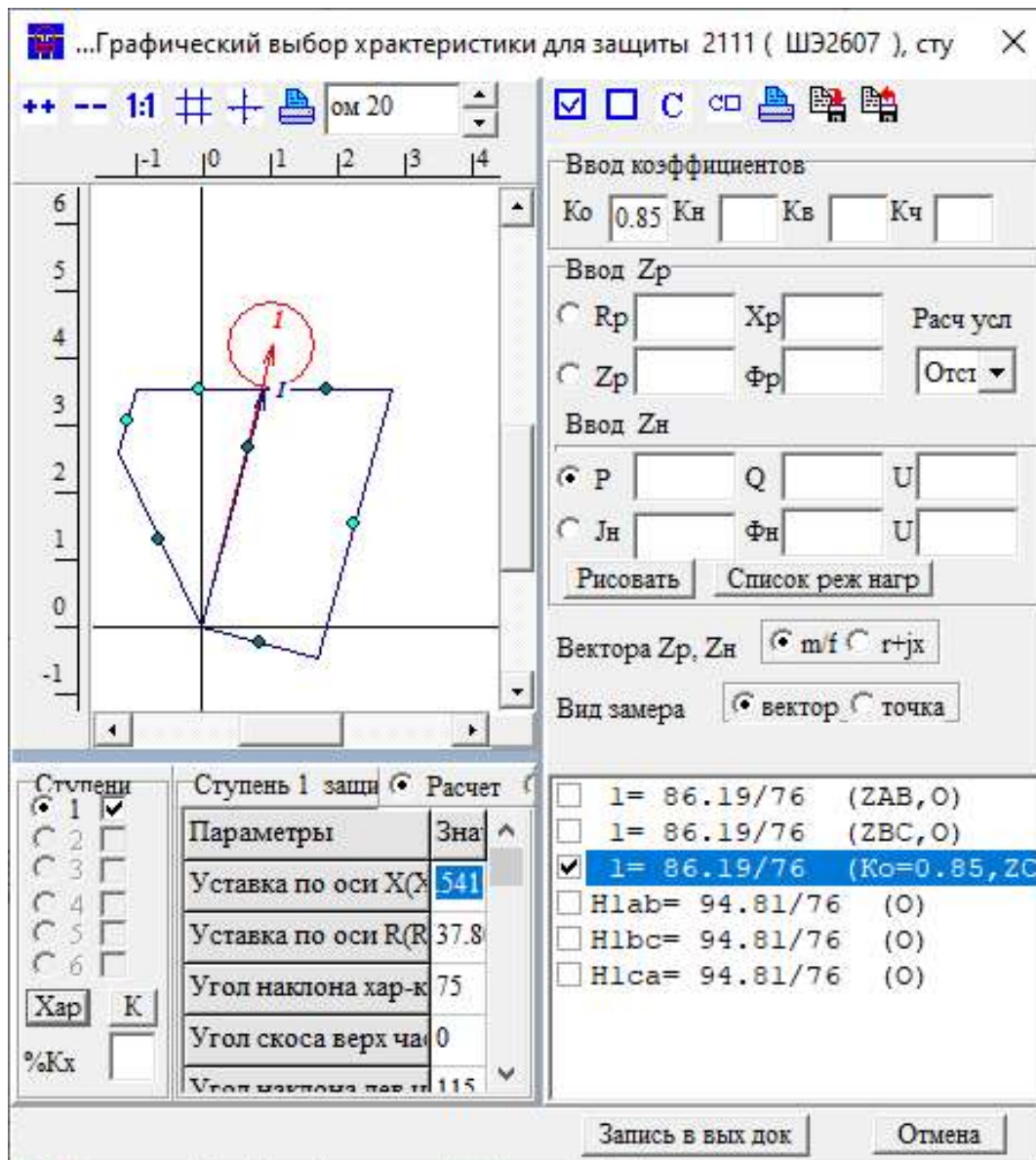


Рисунок 3 – Графическая характеристика реле срабатывания первой ступени дистанционной защиты 2111.

Судя по рисунку выше, характеристика реле срабатывания защиты на основе микропроцессора имеет форму параллелограмма, усеченного сегментами направления мощности, исходящими из начала координат и расположенными в четвертом и во втором квадрантах. Направленность характеристики определяется углами наклона этих сегментов.

При выборе рабочих параметров ступени для дистанционной защиты в соответствии с условием отстройки необходимо оценить положение конца вектора измерения на зажимах реле срабатывания по отношению к характеристике реле срабатывания, определяющаяся программой по типу панели и номеру ступени.

В качестве критерия при отстройке принимается минимальное расстояние между концом вектора и характеристикой. При отстройке вектор замера 1 на зажимах реле срабатывания должен выходить за характеристику на таком расстоянии, чтобы выполнить покрытие всех погрешностей (погрешностей расчета, измерительных трансформаторов, релейного оборудования).

При выполнении расчетов в соответствии с условием отстройки предполагается, что вектор измерения на выводах реле срабатывания имеет вокруг своего конца на комплексной плоскости определенную зону неопределенности, которая в идеализированной форме представлена окружностью. В дальнейшем эту окружность будем называть окружностью погрешностей измерения срабатывания реле.

Радиус этой окружности определяется коэффициентом отстройки. Выбранная по условию отстройки характеристика срабатывания реле не должна пересекать окружность погрешностей, а только касаться ее в одной точке.

2.1.3 Проверка чувствительности первой ступени первой периферии

Чувствительность для первых ступеней дистанционной защиты допускается не проверять согласно [6].

2.1.4 Первая ступень параллельной линии первой периферии

Произведем расчет первой ступени защиты 2121. Она осуществляется на подоби с первой ступеню основной защиты (начало защищаемого объекта защита 2111).

ЭЛ	ВЛ-212 ХОЛБОН-ПРИИСКАЯ	Тип	ШЭ2607	ПС	
Защита	2121	КТТ	600/5	Ступень	1
Ветвь	379-386	КТН	2200		
Узел					

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3 Ф4	70.5 37.8 75 -15 115 0	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 408		ZCA=86.16 76

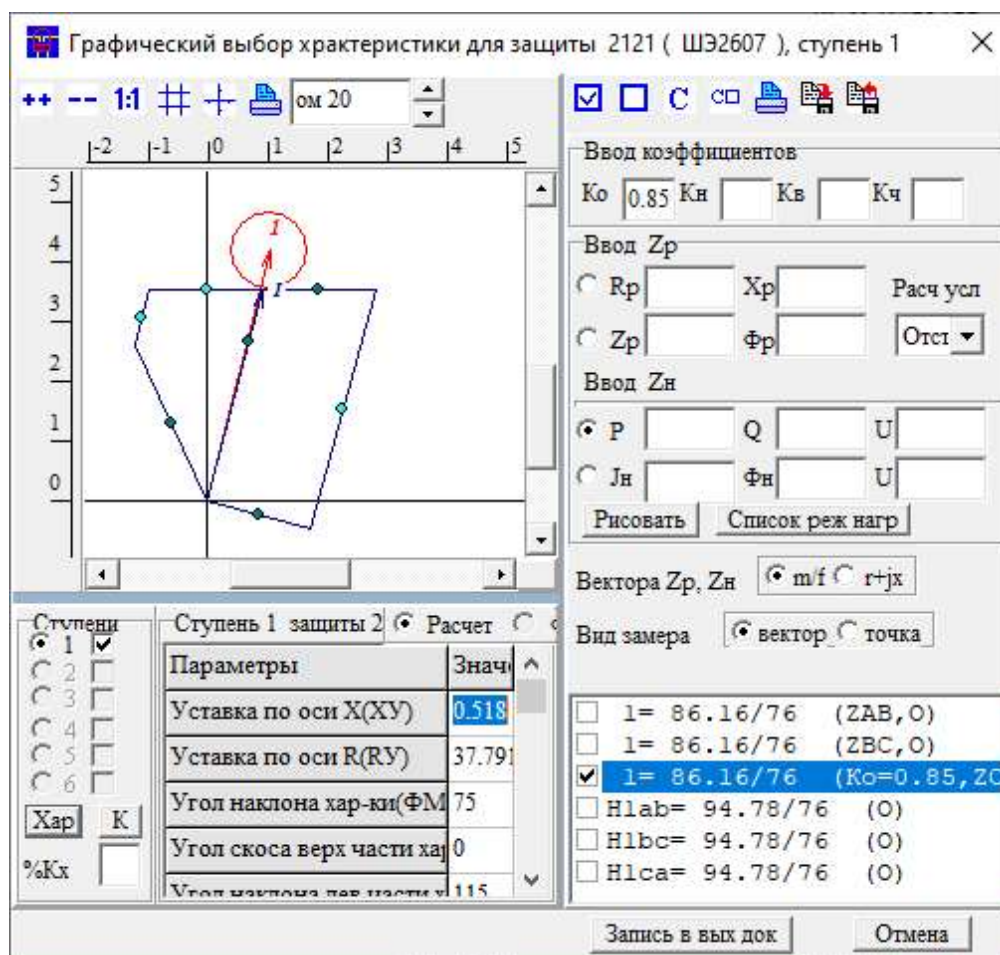


Рисунок 4 – Графическая характеристика реле срабатывания первой ступени параллельной линии дистанционной защиты 2121.

2.1.5 Согласование второй ступени с первой ступенью параллельной линии первой периферии

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3Kh_

Тип ШЭ2607
 КТТ 600/5
 КТН 2200
 ПС
 Ступень 2
 CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ ХУ=10.4 РУ=5.59 Т=0.00 ФМЧ 75 Ф2 -15 Ф3 115 Ф4 0 защита 2121 ШЭ2607 (379-386) ЭЛ:ВЛ-212 ХОЛ БОН-ПРИМСКАЯ	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	157.3 84.3 75 -15 115	0.85	ВИД-КЭ АВС ВЕЕР 212/378 379-386,0.834 (Лотн_лин=0.760)		ZCA=189.14 79 ZAB(B)=9.66 76
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	151.4 81.1 75 -15 115	0.85	ВИД-КЭ АВС ВЕЕР 212/378 386-387,1.000 (Лотн_лин=1.000)		ZCA=182.39 79 ZAB(B)=12.72 76

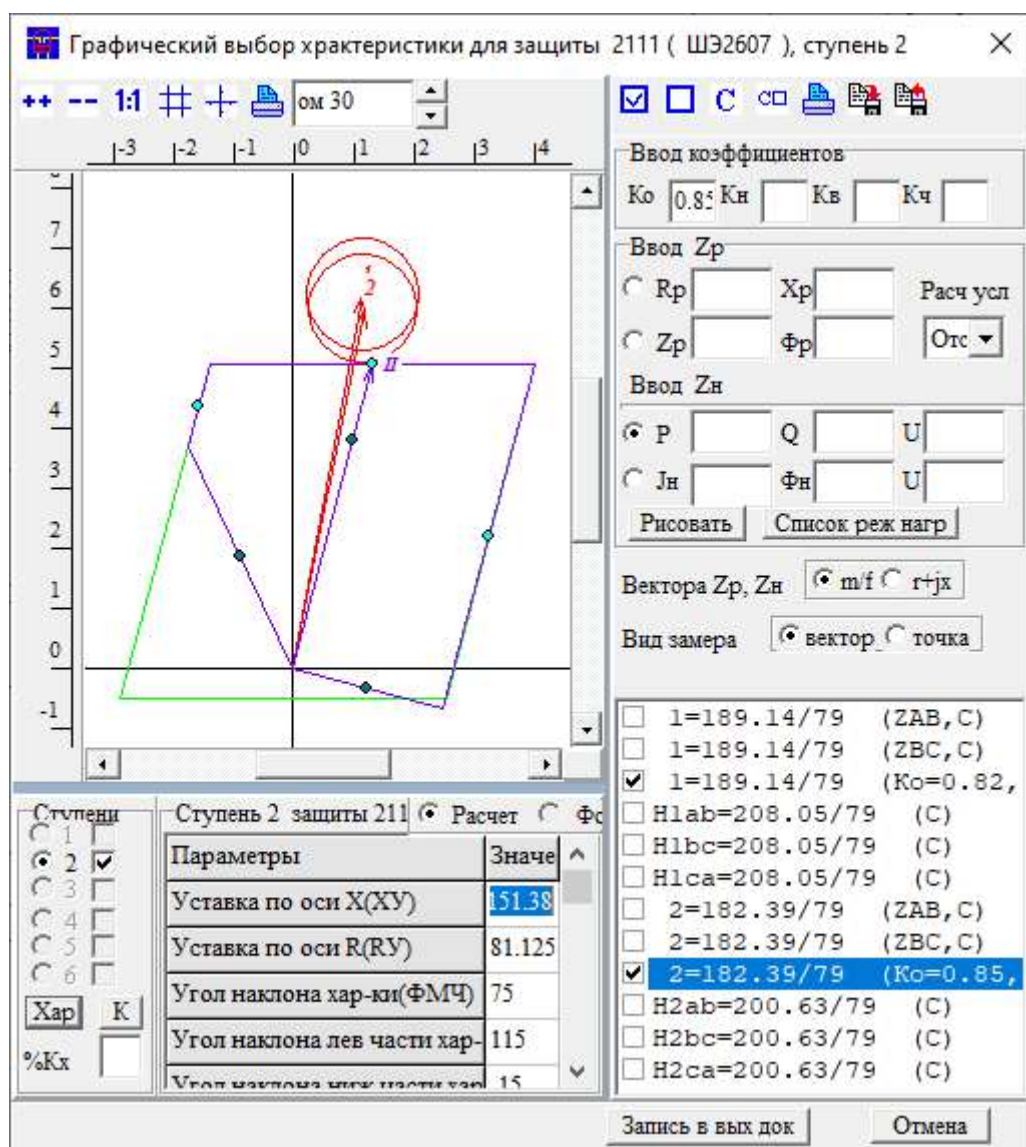


Рисунок 5 – Графическая характеристика согласования защит 2111 и 2121.

2.1.6 Первая ступень второй периферии

Произведем отстройку защиты 2181 ветви 407-410.

ЭЛ	ВЛ-218 ЗИЛОВО -СВЕГА	Тип	ШЭ2607	ПС	
Защита	2181	КТТ	600/5	Ступень	1
Ветвь	407-410	КТН	2200	СЕТЬ:	Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-
Узел					
Kh_i	TG3Kh_				

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	29.5	0.85	ВИД-КЗ ABC		ZCA=36.46 73
	RY	15.8		УЗЕЛ-КЗ 416		
	ФМЧ	75				
	φ2	-15				
	φ3	115				
	φ4	0				

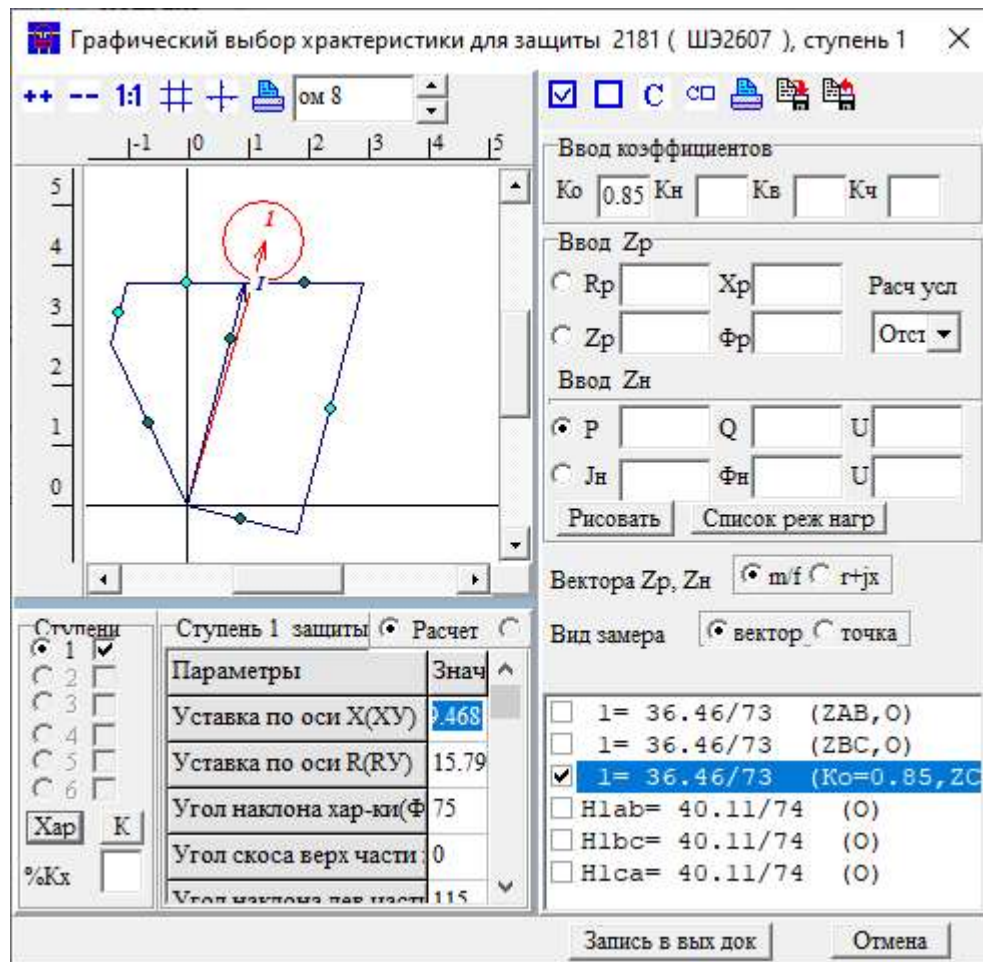


Рисунок 6 – Графическая характеристика реле срабатывания первой ступени второй периферии дистанционной защиты 2181.

Результаты расчетов сводим в таблицу 3, в которой представлены значения сопротивлений срабатывания первых ступеней отходящих линий от ПС Зональная.

Таблица 3 – Результаты расчетов

№ ветви	№ элемента	Значение сопротивления срабатывания	
		XY, Ом	RY, Ом
379-386	2121	70.5	37.8
377-380	2111	151.4	81.1
407-410	2181	29.5	15.8

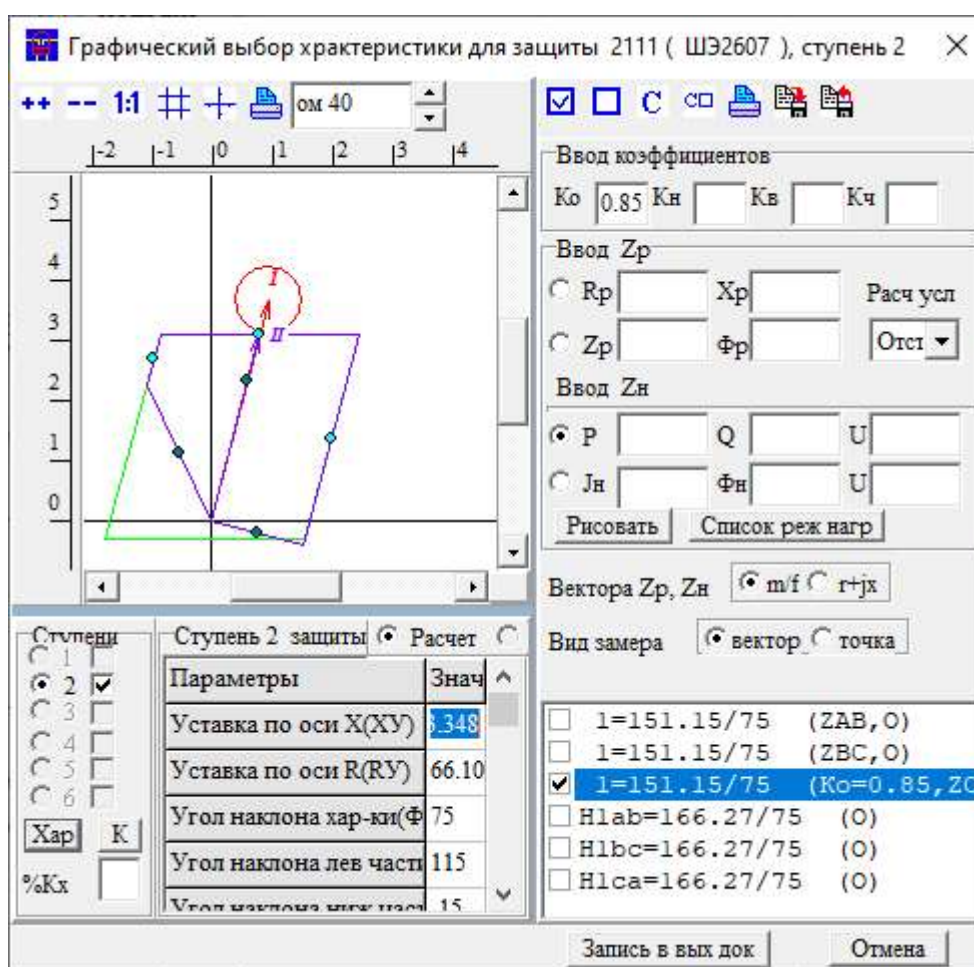
2.1.7 Вторая ступень первой периферии

Первичное сопротивление срабатывания второй степени защиты 391 должно быть:

- отстроено от короткого замыкания на шинах низшего напряжения трансформаторов, отходящих от подстанции;
- согласовано по чувствительности с первой ступенью защит отходящих линий
- согласовано по чувствительности с первой ступенью параллельной линии [6].

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел Kh_i_TG3Kh_
 Тип ШЭ2607
 КТТ 600/5
 КТН 2200
 ПС
 Ступень 2
 СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XУ RУ ФМЧ Ф2 Ф3	123.3 66.1 75 -15 115	0.85	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 416		ZCA=151.15 75



2.1.8 Согласование второй ступени первой периферии с первой ступенью второй периферии

ЭЛ	ВЛ-211	ХОЛБОН-ШАПКА	ПС	
Защита	2111	Тип	ШЭ2607	Ступень 2
Ветвь	377-380	КТИ	600/5	
Узел		КТН	2200	CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-
Kh i	TG3Kh			

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ XU=29.5 RY=15.8 T=0.00 φMЧ 75 φ2 -15 φ3 115 φ4 0 защита 2181 ШЗ2607 (407-410) ЭЛ:ВЛ-218 ЗИЛ ОВО -СВЕГА	XU RY φMЧ φ2 φ3	113.3 60.7 75 -15 115	0.85	ВИД-КЗ ABC ВЕРР 218/407 1269-415,0.791 (Лотн_лин=0.761)		ZCA=138.79 75 ZAB (B)=27.74 73

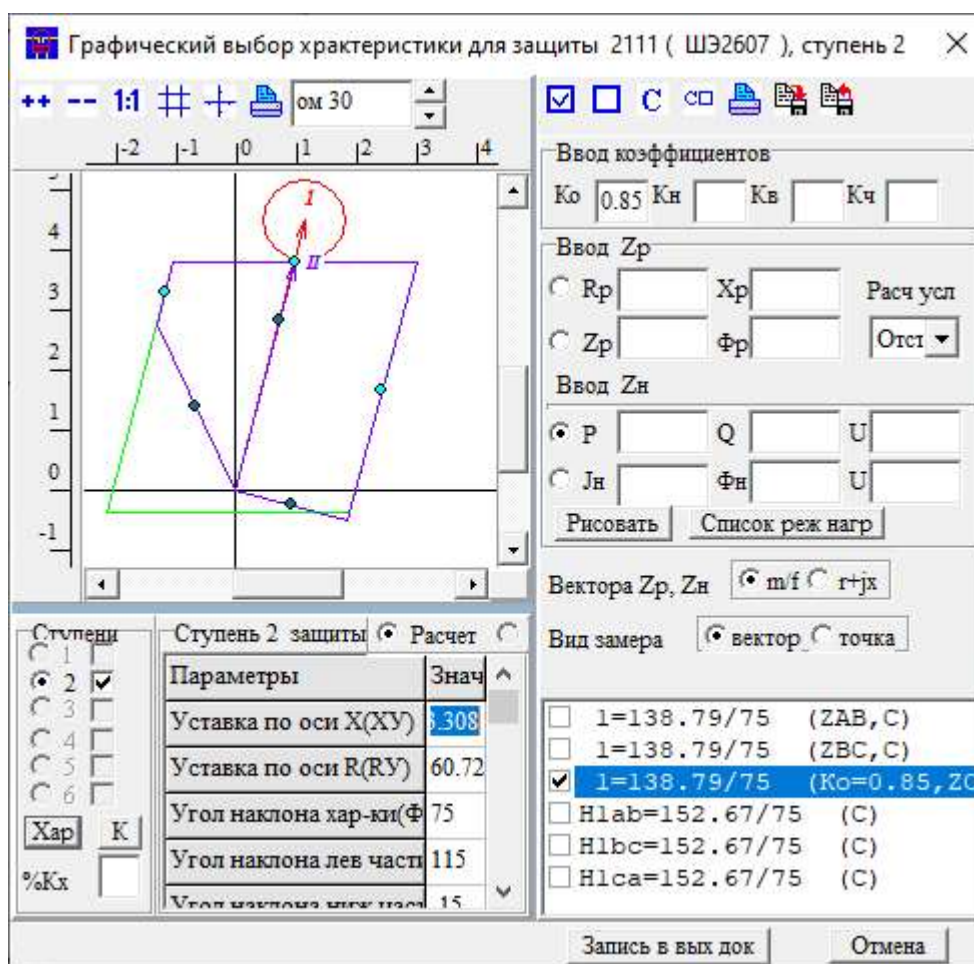


Рисунок 8 – Графическая характеристика согласования защит 2111 и 2181.

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.2 согласования второй ступени защиты 391 с первыми ступенями защит отходящих линий от ПС Зональная.

Таблица 4 – Результаты расчетов

№ ветви	№ ветви согласования	Значение сопротивления срабатывания	
		XY, Ом	RY, Ом
377-380	2111	123.3	66.1
407-410	2181	113.3	60.7

За расчетное принимается меньшее сопротивление срабатывания из всех условий.

Сопротивление срабатывания дистанционной защиты второй ступени:

$$Z_{сз}^{II} = 113,3 + j \cdot 60,7 \text{ Ом}$$

Время срабатывания дистанционной защиты второй ступени:

$$t_{c3}^{II} = 0,5 \text{ c}$$

2.1.9 Проверка чувствительности второй ступени

Чувствительность второй ступени проверяется при трехфазном коротком замыкании в конце линии, на шинах подстанции ЗИЛОВО [6].

Графическая характеристика приведена на рисунке 9

ЭЛ	ВЛ-211	ХОЛБОН-ШАПКА		ПС	
Защита	2111		Тип	ШЭ2607	Ступень 2
Ветвь	377-380		КТТ	600/5	
Узел			КТН	2200	CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-
Kh_i	TG3Kh				

Расч условие	Имя	Знач	K	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	123.3	1.48	ВИД-КЗ ABC		ZBC=86.19 76
	RY	66.1	74.53	УЗЕЛ-КЗ 407		Ip=775 162
	ФМУ	75	KUzp=			
	φ2	-15	1.46			
	φ3	115				
	XBT	6.73				
	RBT	3.61				
	JTP	0.50	12.91			

реализовано с помощью третьей ступени, благодаря выдержке времени каждой из ступеней защит.

2.1.10 Третья ступень первой периферии

Третья ступень дистанционной защиты определяется минимальным сопротивлением в рабочем режиме нагрузки, т.е. в условиях максимального рабочего тока и минимального напряжения [6].

ЭЛ	ВЛ-211 ХОЛВОН-ШАПКА	ПС	
Защита	2111	Тип	ШЗ2607
Ветвь	377-380	СТТ	600/5
Узел		КТН	2200
Kh i	TG3Kh		СЕТb: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезжим	Эл величины
НАГРУЗКА	XU RU ΦMU Φ2 Φ3	196.6 105.3 75 -15 115	1.26		KN=1.20 KBPT=1.05 JH=480 UМИН=200 ΦH=36	ZH=240.56 36

где

КН=1,2 – коэффициент надежности;

КВ=1,05 – коэффициент возврата;

$J_H=480$ – ток нагрузки;

УМИН=200 – минимальное рабочее напряжение;

КСАМ=1 – коэффициент самозапуска.

Для ВЛ с проводом АС-240 допустимый продолжительный ток равен 520 А [5]. Принимаем ток нагрузки равный 80% допустимого тока.

$$I_{нагр} = 520 \cdot 0,8 = 480 \text{ А}$$

Если рассчитана защита, установленная на присоединениях 110 кВ и выше, допускается считать коэффициент самозапуска равным 1 [6].

Сопротивление срабатывания дистанционной защиты третьей ступени:

$$Z_{c3}^{III} = 196,6 + j \cdot 105,3 \text{ Ом}$$

Время срабатывания дистанционной защиты третьей ступени:

$$t_{C3}^{III} = 1 \text{ c}$$

Программа строит графическую характеристику реле срабатывания третьей ступени защиты 391 на комплексной плоскости. Графическая характеристика на рисунке 10.

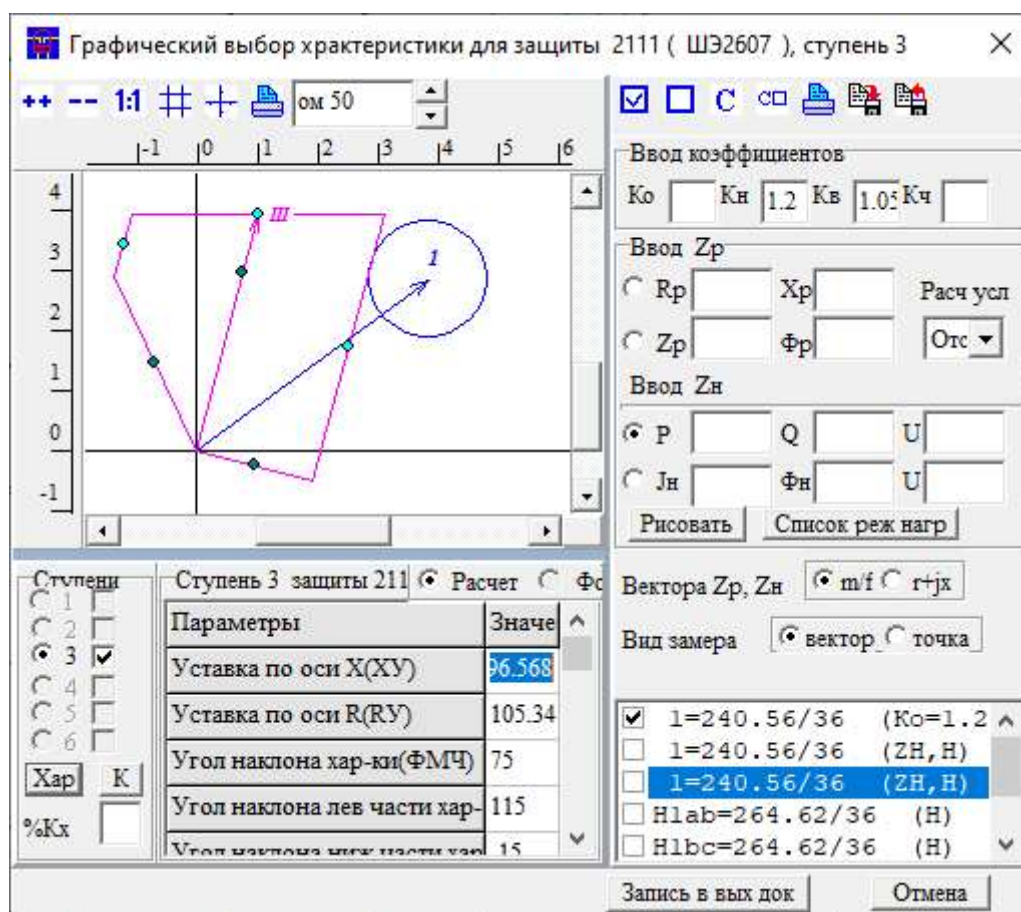


Рисунок 10 – Графическая характеристика реле срабатывания третьей ступени дистанционной защиты 391.

2.1.11 Проверка чувствительности третей ступени первой периферии

Проверяется чувствительность третьей ступени при трехфазном коротком замыкании в режиме ближнего резервирования в конце защищаемой линии, на шинах подстанции ЗИЛОВО.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3Kh_

Тип ШЗ2607
 КТТ 600/5
 КТН 2200
 ПС
 Ступень 3
 CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	196.6	2.36	ВИД-КЗ ABC		ZAB=86.19 76
	RY	105.3	119	УЗЕЛ-КЗ 407		Ip=775 -78
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	φ2	-15	1.64			
	φ3	115				
	XBT	10.7				
	RBT	5.74				
	JTP	0.50	12.91			

В режиме ближнего резервирования коэффициент чувствительности третьей ступени дистанционной защиты:

$$k_y = 1,64 \geq 1,5$$

Полученное значение коэффициента чувствительности соответствует предъявляемым требованиям, характеристика представлена на рисунке 11 [6]. Характеристика коэффициента чувствительности при ближнем резервировании третьей ступени ДЗ показана на рисунке 11.

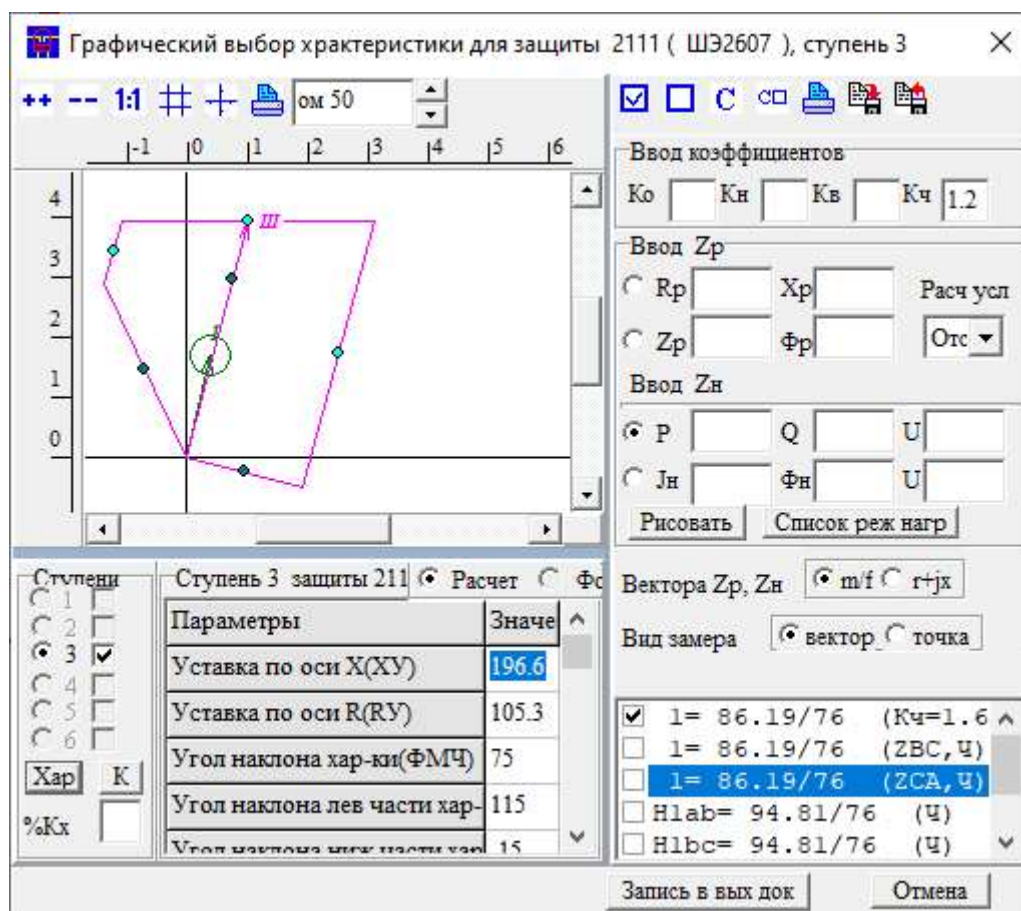


Рисунок 11. –Характеристика коэффициента чувствительности III ступени ДЗ при ближнем резервировании

Проверяется чувствительность третьей ступени при трехфазном коротком замыкании в режиме дальнего резервирования на конце наиболее длинной линии. Характеристика чувствительности третьей ступени в режиме дальнего резервирования показана на рисунке 12.

Создаем короткое замыкание на подстанции Сбега.

```

ЭЛ    ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА          ПС
Защита 2111                        Тип  ШЗ2607          Ступень  3
Ветвь  377-380                    КТТ   600/5
Узел                                     КТН   2200    CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-
Kh_i_TG3Kh_

```

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	196.6	1.35	ВИД-КЗ ABC		ZBC=151.15 75
	RY	105.3	1567	УЗЕЛ-КЗ 416		Ip=540 163
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.33			
	Ф3	115				
	XBT	10.7				
	RBT	5.74				
	JTP	0.50	8.99			

Коэффициент чувствительности третьей ступени дистанционной защиты в режиме дальнего резервирования:

$$k_{\text{ч}} = 1,33 \geq 1,2$$

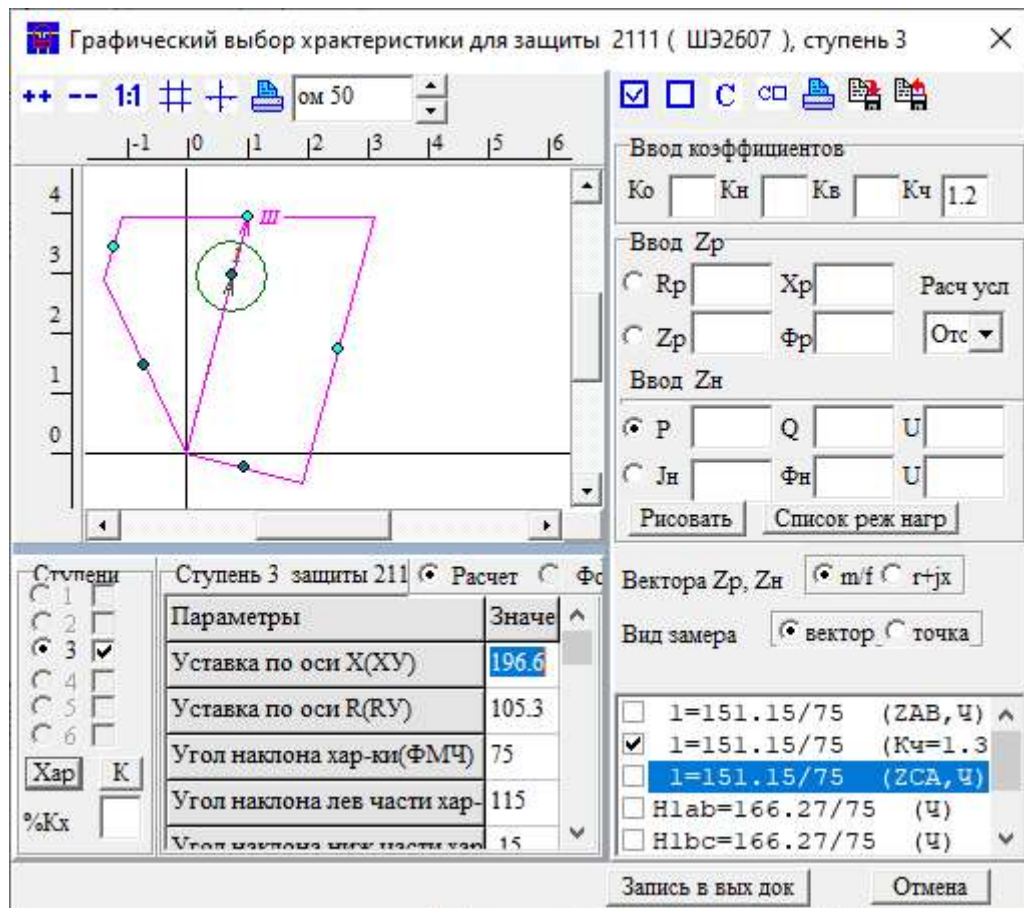


Рисунок 12 –Характеристика коэффициента чувствительности III ступени ДЗ при дальнем резервировании

Полученное значение коэффициента чувствительности соответствует требованиям [6].

Составляем сводную таблицу 5, в которой указаны значения сопротивлений срабатывания всех ступеней дистанционной защиты.

Таблица 5 – Параметры дистанционной защиты

№ ступеней	Сопротивление срабатывания
	$Z_{сз}, \text{Ом}$
I	$70,5 + j \cdot 37,8$
II	$113,3 + j \cdot 60,7$
III	$196,6 + j \cdot 150,3$

2.2 Токовая ступенчатая защита

2.2.1 Принцип действия

Такая защита, как токовая ступенчатая представляет собой комбинацию токовых отсечек и максимальной токовой защиты, которая обеспечивает полную защиту с быстрым срабатыванием. Чаще всего токовые ступенчатые защиты существуют в виде трех ступеней.

Первая ступень – немедленное отключение, защищает начальный участок линии. Вторая ступень – отсечка с выдержкой времени, обеспечивает надежную защиту оставшегося участка линии. Третья ступень – максимальная токовая защита, которая берет на себя функции резервирования в ближнем и дальнем диапазоне.

Токи срабатывания первых ступеней выбираются из условия отстройки токов трехфазных коротких замыканий на шинах противоположных подстанций.

Вторая ступень защиты должна надежно покрывать защищаемую линию. Ее ток срабатывания согласуется с первой ступенью защиты соседней линии. Выдержка времени принята равной $(0,4 \div 0,5)$ с.

Чувствительность второй ступени проверяется по минимальному току двухфазного короткого замыкания на конце линии. Значения коэффициента чувствительности должны быть:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,2$$

Ток срабатывания **третьей ступени** отстраивается от режимов нагрузки, а время выдержки согласуется с защитами отходящих присоединений.

Чувствительность третьей ступени в режиме ближнего резервирования проверяется коротким замыканием на конце защищаемой линии. Для максимальной токовой защиты необходимо, чтобы значение коэффициента чувствительности соответствовало:

$$k_y \geq 1,5$$

Если защита сработает в режиме дальнего резервирования, то чувствительность утверждается по короткому замыканию на конце резервной линии. Значение коэффициента чувствительности должно быть:

$$k_y \geq 1, 2$$

2.2.2 Первая ступень первой периферии

Ток срабатывания первой ступени определяется при трехфазном коротком замыкании на шинах противоположной подстанции. Создаем короткое замыкание на подстанции Зилово.

ЭЛ	ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА	Тип	МФТЗ	ПС	
Защита	2111	КТТ		Степень	1
Ветвь	377-380	КТН			
Узел					
Kh i TG3Kh					СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1074	1.20	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 407		IA=895 -78

Ток срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$I_{C3}^I = 1074 \text{ A}$$

Время срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$t_{C3}^I = 0 \text{ c}$$

2.2.3 Первая ступень второй периферии

Произвели расчет уставки первой ступени отходящей линии для дальнейшего согласования. Короткое замыкание на подстанции Сбега.

ЭЛ ВЛ-218 ЗИЛОВО -СВЕТА
 Защита 2181
 Ветвь 407-410
 Узел
 Kh_i_TG3Kh_

Тип М4ТЗ
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 1
 СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1342	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 416		IA=1118 -76

Ток срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты второй периферии:

$$I_{сз}^I = 1342 \text{ А}$$

Время срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с}$$

2.2.4 Первая ступень параллельной линии

А также произведем отстройку параллельной линии тоже для дальнейшего согласования.

ЭЛ ВЛ-212 ХОЛБОН-ПРИИСКАЯ
 Защита 2121
 Ветвь 379-386
 Узел
 Kh_i_TG3Kh_

Тип М4ТЗ
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 1
 СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1074	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 408		IA=895 -78

Ток срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$I_{сз}^I = 1074 \text{ А}$$

Время срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с}$$

2.2.5 Чувствительность первой ступени первой периферии

Чувствительность определяется при двухфазном коротком замыкании в середине защищаемой линии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3Kh_

Тип МФТЗ
 КТТ
 КТН
 ПС
 Ступень 1
 СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ КСХ РТ	1074 1.73 ABC	1.90	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 390		IB=1764 -168 Ip=3528 -168

Коэффициент чувствительности первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$k_y = 1,9$$

2.2.6 Вторая ступень первой периферии

Рассчитываем вторые ступени защит отходящих линий от ПС Холбон:

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел

Тип МФТЗ
 КТТ
 КТН
 ПС
 Ступень 2

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1074	1.20	ВИД-КЗ ABC УЗЕЛ-КЗ 407		IA=895 -78

Коэффициент чувствительности второй ступени токовой ступенчатой защиты:

$$k_y = 1,2$$

2.2.7 Проверка чувствительности второй ступени первой периферии

Производим двухфазное короткое замыкание на подстанции Шапка.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3K

Тип МФТЗ
 КТТ
 КТН
 ПС
 Ступень 2
 СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ КСХ РТ	1074 1.73 ABC	1.90	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 390		IB=1764 -168 Ip=3528 -168

Коэффициент чувствительности:

$$k_y = 1.9$$

2.2.8 Согласование второй ступени первой периферии с первой ступенью второй периферии

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел
Кн_i_TG3K

Тип МФТЗ
КТТ
КТН

ПС
Ступень 2
СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 1342 T=0.00 защита 2181 МФТЗ (407-410) ЭЛ: ВЛ-218 ЭЛ ОВО -СВЕГА	УСТ	821	1.20	ВИД-КЗ АВС ВЕР 218/407 1269-415,0.671 (Лотн_лин=0.648)		IA=684 -77 IA(B)=1342 -76

2.2.9 Согласование второй ступени первой периферии с первой ступенью параллельной линией

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел
Кн_i_TG3K

Тип МФТЗ
КТТ
КТН

ПС
Ступень 2
СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 1074 T=0.00 защита 2121 МФТЗ (379-386) ЭЛ: ВЛ-212 ХОЛ БОН-ПРИИСКАЯ	УСТ	653	1.20	ВИД-КЗ АВС ВЕР 212/378 379-386,0.834 (Лотн_лин=0.760)		IA=834 -133 IA(B)=1074 -146

Выбирается большую уставку по току.

Ток срабатывания второй ступени токовой ступенчатой защиты:

$$I_{сз}^{II} = 821 \text{ А}$$

Время срабатывания второй ступени токовой ступенчатой защиты:

$$t_{сз}^{II} = 0,5 \text{ с}$$

2.2.10 Третья ступень первой периферии

Ток срабатывания третьей ступени отстраивается от нагрузочных режимов.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел

Тип МФЗ
КТТ
КТН

ПС
Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	720			КН=1.20 КВРТ=0.80 JH=480	

Ток срабатывания третьей ступени токовой ступенчатой защиты:

$$I_{сз}^{III} = 720 \text{ А}$$

Время срабатывания третьей ступени токовой ступенчатой защиты:

$$t_{сз}^{III} = 1 \text{ с}$$

2.2.11 Проверка чувствительности третьей ступени

Проверяется чувствительность по короткому замыканию в режиме ближнего резервирования на конце защищаемой линии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел Кн_1_TG3K

Тип МФЗ
КТТ
КТН

ПС
Ступень 3

СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ КСХ РТ	720 1.73 ABC	1.68	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 407		IB=775 -168 Ip=1550 -168 СЕТЬ: SET-022012R ASCH_S_VL-234_MA K-KH_I_TG3KH_

Коэффициент чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = 1,68 \geq 1,5$$

Данное значение коэффициента чувствительности соответствует установленным требованиям [4].

Проверяется чувствительность по короткому замыканию в режиме дальнего резервирования на конце резервируемой линии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛВОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Кн_1 ТГЗК

Тип МТЗ
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 3
 СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ КСХ РТ	720 1.73 ABC	1.36	ВИД-КЗ ВС УЗЕЛ-КЗ 416		IB=540 -167 Ip=1079 -167

Коэффициент чувствительности:

$$k_q = 1,36 \geq 1,2$$

Найденное значение коэффициента чувствительности соответствует установленным требованиям [4].

После всех проведенных расчетов составим сводную таблицу, в которой указаны виды защит, сопротивления и токи срабатывания каждой из ступеней защит. Данные представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры токовой ступенчатой защиты

№ ступеней	Токи срабатывания
	I _{сз} , А
I	1074
II	821
III	720

2.3 Токовая ступенчатая защита нулевой последовательности

2.3.1 Принцип действия

Защита от замыканий на землю выполняется в виде токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности, которая содержит три или четыре ступени. Которыми в свою очередь являются токовые отсечки с выдержкой и без выдержки времени и максимальные токовые защиты нулевой последовательности. Измерительные органы защиты нулевой последовательности включаются в нулевой провод трансформаторов тока.

При возникновении замыкания на землю защита реагирует на появление тока в нулевом проводе, равному утроенному значению фазных токов:

$$I_0 = 3 \cdot I_{0\phi}$$

Селективность защиты обеспечивается путем введения выдержек времени на срабатывание.

Первой ступенью является токовая отсечка без выдержки времени и обеспечивает быстрое отключение короткого замыкания на начальных участках защищаемой линии. При выборе тока срабатывания первой ступени должны быть учтены следующие условия:

- Защита должна быть отстроена от тока однофазного замыкания на шинах противоположной подстанции;

Ток срабатывания защиты первой ступени определяется по формуле:

$$I_{сз}^I = k_n \cdot 3I_{0расч}$$

Где

$k_n = (1,2 \div 1,5)$ – коэффициент надежности;

$3I_{0расч}$ – ток однофазного короткого замыкания, протекающий через защиту на защищаемой линии, при коротком замыкании на землю в конце действия первой ступени защиты.

Вторая ступень защиты должна надежно охватывать защищаемую линию. Она должна быть согласована с первой ступенью защиты следующей линии:

$$I_{сз}^{II} = k_n \cdot 3I_{0расч}$$

Где

$k_n = 1,1$ – коэффициент надежности;

$3I_{0\text{ расч}}$ – ток однофазного короткого замыкания, протекающий через защиту на защищаемой линии, при коротком замыкании в конце действия первой ступени защиты прилегающей линии.

Чувствительность второй ступени оценивается по току однофазного короткого замыкания на шинах противоположной подстанции. Значение коэффициента чувствительности должно быть:

$$k_{\text{ч}} \geq 1,5$$

Если значение не удовлетворяет нормативным требованиям, то необходимо использовать третью ступень или если ток срабатывания был выбран из условия согласования с первой ступенью защиты следующей линии, то вторую ступень можно рассчитывать, проводя согласование со второй ступенью следующей линии.

Ток срабатывания **третьей ступени** выбирается из условия согласования со второй ступенью следующей линии или с первой ступенью защиты от коротких замыканий на землю трансформатора противоположной подстанции.

Чувствительность для третьей ступени оценивается так же, как и для второй ступени. Если значение коэффициента чувствительности не выполняется, то нужно третью ступень согласовать с третьей ступенью защиты отходящей линии или со второй ступенью защиты от коротких замыканий на землю трансформатора противоположной подстанции.

Четвертая ступень выполняет задачи резервирования. Ток срабатывания четвертой ступени должен отстраиваться от токов небаланса в нулевом проводе трансформатора тока. При трехфазных коротких замыканиях на стороне низшего напряжения трансформаторов, установленных на своей или противоположной подстанции. Для расчета используется следующее выражение:

$$I_{\text{сз}}^{\text{IV}} = k_{\text{н}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{расч}}$$

Где

$k_n = 1,25$ – коэффициент надежности;

$k_{пер} = 1$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме;

$k_{нб} = 0,05$ – принимается, если $I_{расч} = (2 \div 3) \cdot I_{ном}$

$k_{нб} = (0,05 \div 1)$ – при больших значениях.

Пользуются упрощенным выражением для определения тока срабатывания:

$$I_{сз}^{IV} = (0,05 \div 1) \cdot I_{ном}$$

Он должен быть не меньше 60 А [4].

Чувствительность четвертой ступени оценивается по однофазному короткому замыканию в конце зоны дальнего резервирования и его значения должно быть:

$$k_q \geq 1,2$$

2.3.2 Первая ступень первой периферии

Ток срабатывания первой ступени отстраивается от максимального тока нулевой последовательности при коротком замыкании на противоположной подстанции [8]. Моделируем короткое замыкание на ПС Зилово.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел
Kh_i_IG3Kh_

Тип ТЭНП
КТТ
КТН
ПС
Ступень 1
СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	69	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=57 -63 3U0=3.30 -162
	УСТ	83	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=69 114 3U0=3.98 16

Ток срабатывания первой ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$I_{C3}^I = 83 \text{ A}$$

Время срабатывания первой ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$t_{C3}^I = 0 \text{ c}$$

Для исключения ложной работы защиты вводится замедление на срабатывание порядка 0,2 с.

2.3.3 Проверка чувствительности первой ступени первой периферии

ЭЛ	ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА			ПС	
Защита	2111	Тип	ТЭНП	Степень	1
Ветвь	377-380	КТИ			
Узел		КТН			
Kh i	TG3Kh				CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	83	1.69	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=57 -63 3U0=3.30 -162
	УСТ	83	1.83	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=69 -126 3U0=3.98 136

Коэффициент чувствительности первой ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$k_y = 1,83 \leq 1,98$$

2.3.4 Вторая ступень первой периферии

Рассчитаем первые ступени отходящих линий [6].

ЭЛ	ВЛ-218	ЗИЛОВО	-СБЕГА	ПС	
Защита	2181	Тип	ТЭНП	Степень	1
Ветвь	407-410	КТТ			
Узел		КТН			
Kh i	TG3Kh				CETb:Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	K	Повреждение	Подрежим	Зл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	1073	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=641 -74 3U0=21.32 -168
	УСТ	1265	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=786 104 3U0=26.15 10

Первая ступень параллельной линии

ЭЛ ВЛ-212 ХОЛБОН-ПРИИСКАЯ ПС
 Защита 2121 Тип ТЭНП Ступень 1
 Ветвь 379-386 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-
 Kh_i_TG3Kh_

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	79	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 408		3I0=66 -66 3U0=3.30 -162
	УСТ	95	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 408		3I0=80 112 3U0=3.98 16

Результаты расчетов сводим в таблицу 7, в которой указаны значения тока срабатывания первых ступеней отходящих линий от ПС Зональная.

Таблица 7 – Результаты расчетов

№ ветви	№ элемента	Значение тока срабатывания
		I _{сз} , А
377-380	2111	83
407-410	2181	1265

Произведем согласование второй ступени 218 защиты ветви ПС Зилово – ПС Сбега с первой ступенью защиты 211 ветви ПС Холбон – ПС Зилово

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА ПС
 Защита 2111 Тип ТЭНП Ступень 2
 Ветвь 377-380 КТТ
 Узел КТН СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-
 Kh_i_TG3Kh_

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 943 T=0.00 защита 2181 ТЭНП (407-410) ЭЛ: ВЛ-218 ЗИЛ ОВО -СБЕГА	УСТ	25	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕР 218/407 1269-415,0.701 (Лотн_лин=0.676)		3I0=23 -60 3U0=1.32 -158 3I0 (Б)=942 -76 3U0 (Б)=35.35 -171

Произведем согласование второй ступени 218 защиты ветви ПС Холбон – ПС Зилово с первой ступенью защиты 212 ветви ПС Холбон – ПС Зилово

ЭЛ С-3
 Защита 401
 Ветвь GR110-2110
 Узел

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС ЗОНАЛЬНАЯ 110
 Ступень 2

СЕТЬ: tomNet

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 95 T=0.00 защита 2121 ТЭНП (379-386) ЭЛ: ВЛ-212 ХОЛ БОН-ПРИМСКОЯ	УСТ	13	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕРР 212/378 379-386, 0.834 (Лотн_лин=0.760)		3I0=23 -60 3U0=1.32 -158 3I0 (Б)=942 -76 3U0 (Б)=35.35 -171

Отстройка от тока небаланса НП при трехфазном КЗ

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Кн_i_TG3Kh_

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 2

СЕТЬ: Set-022012Rasch_я_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ	56	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 407		IA=895 -78

Из всех условий выбирается большее значение тока срабатывания.

Ток срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$I_{сз}^{II} = 60 \text{ А}$$

Время срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности выбирается на ступень селективности выше первой ступени:

$$t_{сз}^{II} = t_{сз}^I + \Delta t = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с}$$

2.3.5 Проверка чувствительности второй ступени

Чувствительность второй ступени проверяется по току однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии:

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛВОН-ШАЛКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3Kh_

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 2
 СЕТЬ: Set-022012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	60	1.36	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=57 -63 3U0=3.30 -162 СЕТЬ: SET-0222201 2RASCH_S_VL-234_ МАК-КН_I_TG3K
	УСТ	60	1.23	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=69 -126 3U0=3.98 136

Коэффициент чувствительности второй ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$k_y = 1,36 \leq 1,5$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям, при выполнении надежного резервирования. Для надежности произведем расчет третьей ступени.

2.3.6 Третья ступень первой периферии

Третья ступень согласуется с выдержками времени вторых или третьих ступеней предыдущих линий. Выдержки времени нагрузок не учитываются.

Для этого рассчитаем вторые ступени отходящих линий.

Вторая ступень защиты 218 ветви ПС Зигово-ПС Сбега

ЭЛ ВЛ-218 ЗИЛОВО -СБЕГА
 Защита 2181
 Ветвь 407-410
 Узел
 Kh_i_TG3K

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 2
 СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	769	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=641 -74 3U0=21.32 -168
	УСТ	943	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=786 104 3U0=26.15 10

Ток срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$I_{C3}^{II} = 943 \text{ A}$$

Вторая ступень параллельной линии. Защита 212 ветвь ПС Холбон-ПС
Зилово

ЭЛ	ВЛ-212 ХОЛБОН-ПРИМСКОЯ	ПС	
Защита	2121	Тип	ТЭНП
Ветвь	379-386	КТИ	2
Узел		КТН	
Kh i	ТГЗК		СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	79	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 408		3I0=66 -66 3U0=3.30 -162
	УСТ	95	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 408		3I0=80 112 3U0=3.98 16

Ток срабатывания второй ступени токовой защиты параллельной линии нулевой последовательности:

$$I_{c3}^{II} = 95 \text{ A}$$

Произведем согласование третьей ступени 211 защиты ветви ПС Холбон-ПС Зилово со второй ступенью 218 защиты ветви ПС Зилово-ПС Сбега.

ЭЛ	ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА	Тип	ТЭНП	ПС	
Защита	2111	КТТ		Ступень	3
Ветвь	377-380	КТН			
Узел					
Kh i	TG3K				CETb:Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Зл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 943 T=0.00 защита 2181 ТЭНП (407-410) ЭЛ:ВЛ-218 ЗИЛ ОВО -СВЕГА	УСТ	25	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕРР 218/407 1269-415,0.701 (Lотн_лин=0.676)		3I0=23 -60 3U0=1.32 -158 3I0(B)=942 -76 3U0(B)=35.35 -171

Ток срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$I_{C3}^{II} = 25 \text{ A}$$

Произведем согласование третьей ступени 211 защиты ветви ПС Холбон-ПС Зилов со второй ступенью параллельной линии 212 защиты ветви ПС Холбон-ПС Зилов.

ЭЛ	ВЛ-211	ХОЛБОН-ШАПКА	Тип	ТЭНП	ПС	
Защита	2111		КТТ		Степень	3
Ветвь	377-380		КТН			
Узел						
Kh_i	TG3K					
						CETb:Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ с 2 СТУПЕНЬЮ 95 T=0.00 защита 2121 ТЭНП (379-386) ЭЛ:ВЛ-212 ХОЛ ВОН-ПРИИСКАОЯ	УСТ	13	1.10	ВИД-КС А0 ВЕРР 212/378 379-386,0.834 (Лотн_лин=0.760)		3I0=23 -60 3U0=1.32 -158 3I0 (Б)=942 -76 3U0 (Б)=35.35 -171

Ток срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$I_{C3}^{II} = 13 \text{ A}$$

Отстройка от тока небаланса НП при трехфазном КЗ.

ЭЛ	ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА	Тип	ТЭНП	ПС	
Защита	2111	КТТ		Степень	3
Ветвь	377-380	КТН			
Узел					
Kh i	TG3K				CETb:Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезжим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ	895	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 407		IA=895 -78

Ток срабатывания третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$I_{C3}^{III} = 895 \text{ A}$$

Время срабатывания третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности выбирается на ступень селективности выше первой ступени:

$$t_{сз}^{III} = t_{сз}^{II} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с}$$

2.3.7 Проверка чувствительности третей ступени

Чувствительность третей ступени ТЗНП проверяется от КЗ на низкой стороне трансформатора первой периферии и от КЗ на шинах подстанции второй периферии.

КЗ за трансформатором.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел
Kh_i_TG3K

Тип ТЗНП
КТТ
КТН

ПС
Ступень 3

СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	895	1.63	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=57 -63 3U0=3.30 -162
	УСТ	895	1.72	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=69 -126 3U0=3.98 136

КЗ в конце подстанции второй периферии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
Защита 2111
Ветвь 377-380
Узел
Kh_i_TG3K

Тип ТЗНП
КТТ
КТН

ПС
Ступень 3

СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	895	1.53	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=57 -63 3U0=3.30 -162
	УСТ	895	1.58	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=69 -126 3U0=3.98 136

Коэффициент чувствительности третьей ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$k_y = 1,53 \geq 1,5$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям, при условии надежного резервирования четвертой ступенью.

2.3.8 Четвертая ступень первой периферии

Ток срабатывания четвертой ступени должен отстраиваться от токов небаланса в нулевом проводе трансформатора тока при максимально допустимом токе в линии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАЛКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Кн_i_TG3K

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 4
 СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	41			КН=1.20 КВРТ=0.85 КНВ=0.06 JH=480	

Принимаем ток срабатывания четвертой ступени токовой защиты нулевой последовательности А. Однако по техническим условиям минимальное значение уставки срабатывания, которое можно задать в шкафу ШЭ 2607, равно 60 А. Поэтому уставка срабатывания $I_{сз}^{IV} = 41 \text{ В}$ ступени защиты 2111 равна:

$$I_{сз}^{IV} = 60 \text{ А}$$

Выдержка времени четвертой ступени токовой защиты нулевой последовательности определяется по возможности по ступенчатому принципу [8].

2.3.9 Проверка чувствительности четвертой ступени

Чувствительность четвертой ступни ТЭНП проверяется от КЗ на низкой стороне трансформатора первой периферии и от КЗ на шинах подстанции второй периферии.

КЗ на низкой стороне трансформатора первой периферии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3K

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 4
 СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	60	1.39	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=57 -63 3U0=3.30 -162
	УСТ	60	1.68	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 407		3I0=69 -126 3U0=3.98 136

КЗ на шинах подстанции второй периферии.

ЭЛ ВЛ-211 ХОЛБОН-ШАПКА
 Защита 2111
 Ветвь 377-380
 Узел
 Kh_i_TG3K

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС
 Ступень 4
 СЕТЬ: Set-02222012Rasch_s_VL-234_Mak-

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	60	1.28	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=14 -57 3U0=0.80 -155
	УСТ	60	1.43	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 416		3I0=17 -119 3U0=0.98 142

Коэффициент чувствительности четвертой ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$k_{\text{ч}} = 1,28 \geq 1,2$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям [8].

Составляем итоговую таблицу 8, в которой показаны значения токов срабатывания каждой из ступеней токовой защиты нулевой последовательности.

Таблица 8 – Параметры токовой защиты нулевой последовательности

№ ступеней	Токи срабатывания
	I _{сз} , А
I	1265
II	943
III	895
IV	60

2.3.10 Итоговая таблица параметров

После всех расчетов составим общую таблицу, в которой указаны типы защит, сопротивления и токи срабатывания каждой из ступеней защит. Данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Установленные защиты на воздушной линии электропередачи

Тип защиты	Номер ступеней	Параметры срабатывания $Z_{сз}$, Ом $I_{сз}$, А	$K_{ч}$	$t_{срб.}$, с
ДЗ	I	$Z_{сз} = 70,5 + j \cdot 37,8$	-	0
	II	$Z_{сз} = 113,3 + j \cdot 60,7$	$1,46 \geq 1,25$	0,5
	III	$Z_{сз} = 196,6 + j \cdot 150,3$	$1,64 \geq 1,5$	1
СТЗНП	I	$I_{сз} = 1265$	$1,9 \geq 1,5$	0
	II	$I_{сз} = 943$	$1,3 \leq 1,36 \leq 1,5$	0,5
	III	$I_{сз} = 895$	$1,53 \geq 1,5$	1
	IV	$I_{сз} = 60$	$1,28 \geq 1,2$	1,5
ТСЗ	I	$I_{сз} = 1074$	$1,9 \geq 1,2$	0
	II	$I_{сз} = 821$	$1,9 \geq 1,2$	0,5
	III	$I_{сз} = 720$	$1,68 \geq 1,5$ (близ.) $1,36 \geq 1,2$ (дал.)	1

2.4 Заключение по главе «Расчет параметров релейной защиты»

В результате выполнения курсового проектирования релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанция Холбон - подстанция Зилово. Были определены основные и резервные защиты. В качестве основных защит были приняты ступенчатая дистанционная защита и ступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности, в качестве резервной защиты принята токовая ступенчатая.

Также был произведен выбор устройств релейной защиты, в результате было принято микропроцессорное устройство релейной защиты фирмы НПП «ЭКРА» – шкаф защиты линии и автоматики управления выключателем ШЭ2607 016.

Представленные защиты входят в состав ШЭ 2607 016. Установленные типы релейной защиты удовлетворяют требованиям, предъявляемым в ПУЭ, а именно: селективность, быстродействие, чувствительность, надёжность.

В ходе расчета была использована реальная база Забайкальской электроэнергетической системы, по данным которой были определены параметры защищаемой линии и определены объекты первой и второй периферии рассматриваемых защит.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Целью данной работы является определение экономической целесообразности научного исследования «Проектирование релейной защиты и автоматики линии электропередачи 220кВ ПС Зилово – ПС Холбон Забайкальской энергосистемы», для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- проанализировать конкурентные технические решения проекта;
- провести SWOT – анализ;
- выполнить планирование и организацию научно исследования;
- определить бюджет научно-технического исследования;
- определить ресурсоэффективность проекта.

В текущее время этот раздел является одним из значимых в современном проектировании в любых отраслях, т.к. оборудование рассматривается не только исходя из его рабочих характеристик, но и по экономической оценки, выбирается наиболее выгодный вариант.

3.1 Анализ конкурентоспособности

Целесообразно проводить анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 10. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок. Оценка будет происходить по 5-ти бальной шкале, где 5 – наиболее сильная, а 1 – наиболее слабая позиция. Вес показателей в сумме должны составлять 1.

Так как в работе рассматривается релейная защита линии,

Используя шкаф ШЭ2607 016 на базе терминала БЭ2704 НПП «ЭКРА», то целесообразно сравнить ее продукцию с конкурентами. Для сравнения возьмем два наиболее продвинутых на отечественном рынке конкурента: Это SIEMENS и БМРЗ 100 компании механотроника.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ЭКРА	SIEM	БМРЗ	К _ф ШЭ2 67 016	К _{к1} ШЭ- МТ- 054	К _{к2} ШЗ Л
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии эффективности							
1. Помехоустойчивость	0,015	5,00	5,00	4,00	0,75	0,75	0,60
2. Надежность	0,20	5,00	4,00	3,00	1	0,80	0,60
3. Предоставляемые функции защит и автоматики	0,20	5,00	4,00	4,00	1	0,80	0,80
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	4,00	5,00	2,00	0,40	0,50	0,20
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,15	5,00	5,00	3,00	0,75	0,75	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5,00	4,00	4,00	0,35	0,28	0,28
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	5,00	3,00	3,00	0,1	0,06	0,06
3. Финансирование научной разработки	0,01	4,00	5,00	4,00	0,04	0,05	0,04
4. Срок выхода на рынок	0,01	4,00	4,00	4,00	0,04	0,04	0,04
5. Наличие сертификации разработки	0,09	5,00	5,00	5,00	0,45	0,45	0,45
Итого	1,00	47,00	44,00	36,00	4,88	4,48	3,52

По результатам расчетов анализа конкурентоспособности технического решения по оценочной карте, можно сделать вывод о том, что шкаф типа ШЭ2607 016 производителя «ЭКРА» является более предпочтительным. Превосходство над оппонентами обеспечивается за счет того, что продукция данного производителя широко распространена на отечественном рынке и пользуется заслуженной популярностью. Этого удалось достичь в первую очередь за счет надежности и качества

3.2 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

- 1) **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.
- 2) **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.
- 3) **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.
- 4) **Угроза.** Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может

повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Таблица 11 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: Удовлетворение желаний потребителя (выбор любого рода защит на заводе - изготовителе); Уменьшение затрат времени и наладки с контролем защит; Высокая чувствительность к аварийным режимам;	Слабые стороны: Для настройки шкафа требуется подключение к ПК на устаревшей базе Windows 2000/ XP; Высокая стоимость шкафа. Требуется отдельные цепи постоянного тока для подключения измерительных трансформаторов.
Возможности: Внедрение более развитых технологий на базе шкафа «Экра» ШЭ 2607; Применение энергопредприятиями данного шкафа, как основную защиту главных схем электростанций; Повышение спроса.	Сильные стороны и возможности: Благодаря своим параметрам, шкаф ШЭ 2607 принесет быструю окупаемость и высокую прибыль, из – за сохранности дорогостоящего энергооборудования, что незамедлительно привлечёт инвесторов для финансирования более развитых технологий; Долгий срок службы шкафов позволит, увеличит спрос, обеспечивая тем самым экономию на покупке новых.	Слабые стороны и возможности: Из-за высокой стоимости шкафа возможен отказ инвесторов в финансировании, что приведёт к снижению спроса; Для сохранности энергооборудования потребуется время для обучения персонала пользования шкафом ШЭ 2601 и его программными комплексами.
Угрозы: Снижение спроса на технологии более нового образца; Стабильная конкуренция зарубежных, аналоговых продуктов; Экономическая ситуация в стране, способствующая	Сильные стороны и угрозы: Удовлетворение желаний потребителя может привести к дополнительной государственной сертификации, по которой шкаф может получить дополнительные	Слабые стороны и угрозы: Использование шкафов ШЭ 2607 на базе Windows 2000/XP приведёт к снижению спроса, и обеспечит конкурентам разработку зарубежных программ более высокого и современного класса;

закрытию предприятий по производству шкафов.	средства на совершенствование старых технологий; Обладая долгим сроком службы и высокой чувствительностью к авариям, шкаф затмевает зарубежных конкурентов.	В виду того, что шкафы ШЭ 2607 обладают высокой стоимостью, плюс к этому требуются затраты на подключение отдельных цепей для измерительных трансформаторов.
--	--	--

Таким образом, в ходе SWOT-анализа были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны проекта, а также их зависимости. Из анализа видно, что потенциально сильные стороны проекта преобладают над слабыми сторонами. При этом слабые стороны рассматриваемого шкафа защиты характерны для всего класса микропроцессорных устройств защиты в настоящий момент, что подтверждает целесообразность использования данного устройства в проекте.

3.3 Планирование научно-технического исследования

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входит руководитель и инженер. В нашем случае руководителем является Гречушников В. В., а инженером Спиридонов Я. А. В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Проведение теоретических расчетов и	5	Анализ исходных данных	Инженер
	6	Предварительный выбор	

обоснований		защит	
	7	Расчет уставок защит	
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Контроль и координирование проекта	9	Консультирование исполнителя и контроль качества выполнения проекта	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Инженер
Оформление комплекта документации по НИР	11	составление пояснительной записки	Инженер

Таким образом, в соответствии с данными табл. 12, в рамках выполнения настоящей научно-исследовательской работы предполагается осуществление 11-ти типов работ по семи выделенным этапам двумя участниками рабочей группы – руководителем (Гречушников В.В.) и инженером (Спиридонов Я.А.). Часть работ выполняется единолично каждым участником рабочей группы, оставшаяся часть – совместно.

3.4 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используем следующую формулу:

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

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

Рассчитанная ожидаемая трудоемкость каждой из работ по проектированию приведена в таблице 3.4.

3.5 Разработка графика проведения научного исследования

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Для построения графика проектных работ необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

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

Предполагается что и руководитель, и инженер работают по 5-дневной рабочей неделе. По производственному календарю на 2021 год суммарное количество выходных и праздничных дней составляет: при пятидневной рабочей неделе – 118 дней.

где $T_{кал}$ – число календарных дней в году;

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

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

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , человеко-дни		t_{max} , человеко-дни		$t_{ожг}$, человеко-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	2	0	4	0	2,8	0	2,8	0	3	0
Подбор и изучение необходимых материалов	0	8	0	12	0	9,6	0	9,6	0	14
Выбор направления исследований	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	1	1
Планирование работ по теме	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0	2	0
Анализ исходных данных	0	5	0	8	0	6	0	6	0	8
Предварительный выбор защит	0	5	0	8	0	5	0	5	0	7
Расчет уставок защит	0	20	0	29	0	25	0	25	0	37
Оценка эффективности полученных результатов	0	4	0	6	0	4,8	0	4,8	0	7
Консультирование исполнителя и контроль качества выполнения проекта	8	0	10	0	8,8	0	8,8	0	13	0
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	0	6	0	8	0	6,8	0	6,8	0	10
Составление пояснительной	0	7	0	10	0	8,2	0	8,2	0	12

записки										
Итого	13	57	19	86	11	74	9,2	71,7	12	86

На основании полученных данных из таблицы 13 построим график Гантта, представленный на рисунке 13.

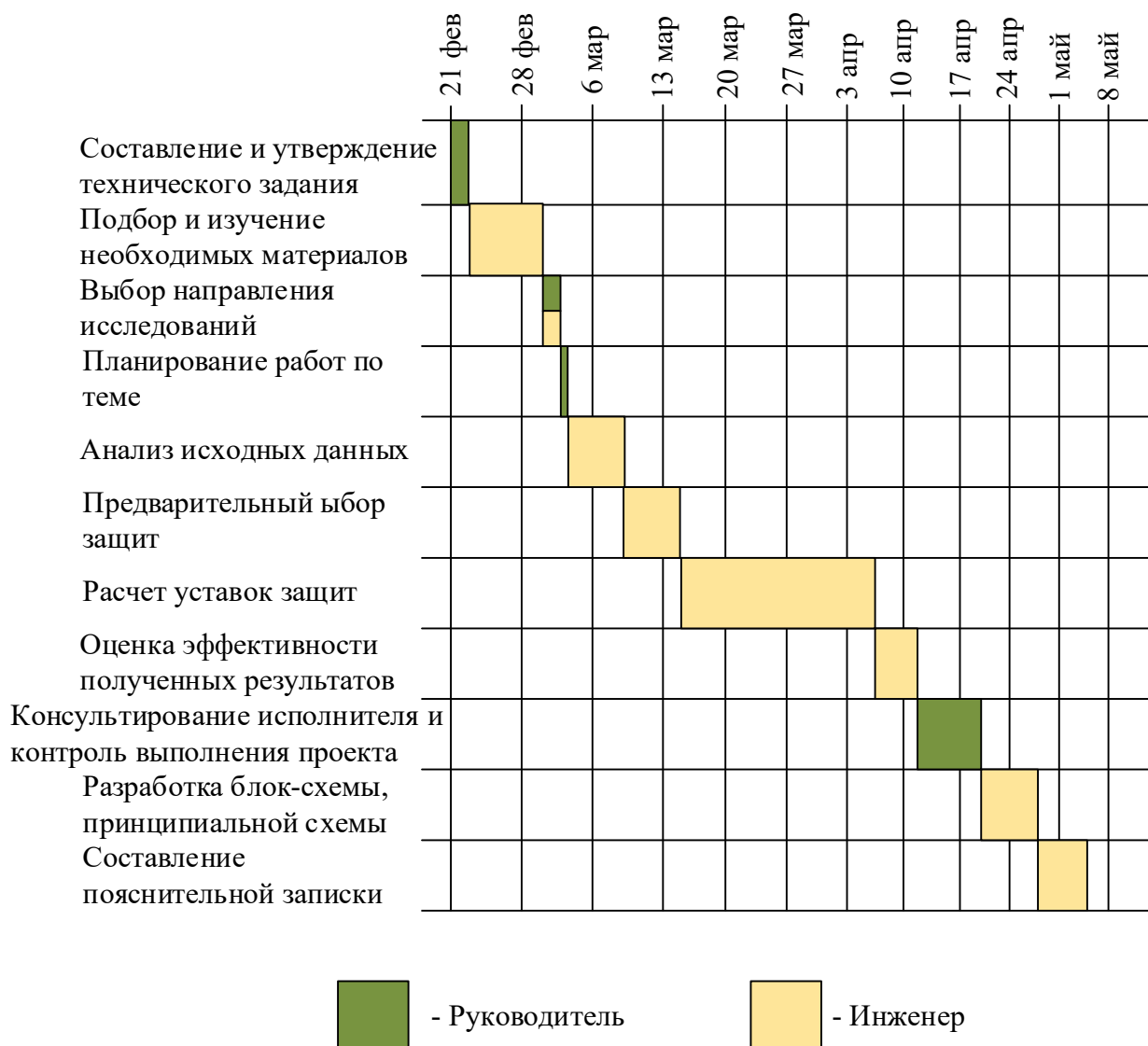


Рисунок 13 – График Гантта

При планировании бюджета НИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов работ, связанных с его выполнением. Был построен график Гантта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками. Итого, в календарных днях длительность работ руководителя проекта равняется 13 дней, а инженера 57 дней.

3.6 Определение бюджета проекта

В процессе планирования бюджета проекта необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Ниже представлена группировка затрат по статьям расходов, используемая при формировании бюджета проекта:

- материальные затраты проекта;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата участников;
- дополнительная заработная плата участников;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат на разработку проекта

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 14.

Таблица 14 – материальные затраты на разработку проекта

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	штук	1	650	650
Бумага для принтера	упаковка	1	282	282
Скоросшиватель	штук	1	63	63
Тетрадь 96 листов	штук	1	80	80
Итого:				1075

Исходя из данных, представленных в таблице 14, материальные затраты на выполнение проекта составили 1075 рублей.

Амортизационные отчисления

В данную статью не включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Стоимость оборудования заносится в таблицу 15.

Таблица 15 – Стоимость оборудования и ПО

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во оборудования, ед.	Стоимость ед. оборудования, руб.	Амортизация, руб.
1	Программный	1	681400	681400

	ресурс АРМ СРЗА			
2	Лицензия на программное обеспечение Microsoft Office	1	3600	3600
3	Персональный компьютер	1	25000	25000
4	Принтер	1	7100	7100
Итого				718000

В связи с длительностью использования, стоимость программного обеспечения учитывается с помощью амортизации, на остальное оборудование амортизация не начисляется, поскольку его стоимость менее 40 тыс. р.

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

где: A_i – амортизационные отчисления;
 S – стоимость оборудования и программного обеспечения;
 N – количество дней использования в при проектировании;
 H – предполагаемый срок службы оборудования и программного обеспечения.
 Расчет показателей амортизации:

$$A_{\text{АРМ СРЗА}} = \frac{681400 \cdot 86}{10 \cdot 365} = 16054,9 \text{ руб.};$$

$$A_{\text{Office}} = \frac{3600 \cdot 86}{3 \cdot 365} = 282,7 \text{ руб.}$$

Таким образом были определены амортизационные отчисления на разработку проекта, которые составили 16337,6 руб.

Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по проекту. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата работников представляет собой сумму двух составляющих: основная и дополнительная заработная плата.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Формула расчета заработной платы представлена ниже:

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

где: $Z_{зп}$ – заработная плата;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Расчет основной заработной платы выполняем по формуле, представленной ниже:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

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

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

Расчет среднедневной заработной платы выполняем по формуле:

$$Z_{дн.} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

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

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

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

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	
Количество нерабочих дней:		
- выходные и праздничные дни	118	
Потери рабочего времени:		
- отпуск, невыходы по болезни	52	
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	

Зарплата работника за месяц рассчитывается по формуле:

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

где: $Z_{тс}$ – заработная плата за месяц по тарифной ставке, руб.;

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,3;

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

1) Расчёт заработной платы

$$Z_{м.рук} = 36174 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 75241,92 \text{ руб.};$$

$$Z_{м.исп} = 11089 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 23065,12 \text{ руб.}$$

2) Расчет среднедневной заработной платы:

$$Z_{дн.рук} = \frac{75241,92 \cdot 6,5}{195} = 2508,06 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн.исп} = \frac{23065,12 \cdot 6,5}{195} = 768,84 \text{ руб.}$$

3) Расчёт основной заработной платы:

$$Z_{осн.рук} = 2508,06 \cdot 13 = 32604,83 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн.исп} = 768,84 \cdot 57 = 43823,73 \text{ руб.}$$

Результат расчетов представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{ТС}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	36174	0,3	0,3	1,3	75241,92	2508,06	13	32604,83
Инженер	11089	0,3	0,3	1,3	23065,12	768,84	57	43823,73
Затраты по основной заработной плате, руб.	76428,56							

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

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

$$З_{Доп.рук} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 32604,83 = 4890,73 \text{ руб.}$$

$$З_{Доп.исп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 43823,73 = 6573,56 \text{ руб.}$$

$$З_{Доп} = З_{Доп.рук} + З_{Доп.исп} = 4890,73 + 6573,56 = 11464,29 \text{ руб.}$$

Страховые отчисления

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Ставка отчислений во внебюджетные фонды для учреждений, осуществляющих научную и образовательную деятельность, на 2021 год составляет 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Расчет отчислений во внебюджетные фонды:

$$\begin{aligned}
Z_{\text{внеб. руковод.}} &= 0,302 \cdot (32604,83 + 4890,73) = 11323,66 \text{ руб.}; \\
Z_{\text{внеб. испол.}} &= 0,302 \cdot (43823,73 + 6573,56) = 15219,98 \text{ руб.} \\
Z_{\text{внеб.}} &= Z_{\text{внеб. испол.}} + Z_{\text{внеб. руковод.}} = 15219,98 + 11323,65 = 26543,63 \text{ руб.}
\end{aligned}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не вошедшие в предыдущие статьи, такие как ксерокопирование и печать материалов исследования, размножение материалов, оплата электроэнергии, услуг связи, телеграфные, почтовые расходы и т.д.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

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

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается равной 20%.

$$Z_{\text{накл}} = (16337,6 + 76428,56 + 11464,29 + 26543,63) \cdot 0,2 = 26154,82 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат на разработку проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты	1075,00	0,68
2. Амортизация оборудования и программных комплексов	16337,6	10,34
3. Затраты по основной заработной плате	76428,56	48,36
4. Затраты по дополнительной заработной плате	11464,29	7,26
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26543,63	16,8
6. Накладные расходы	26154,82	16,56
Бюджет затрат проекта	158003,9	100

Таким образом были определены затраты на разработку проекта, сумма необходимая для реализации настоящей научно-исследовательской работы

составляет 158003,9 рублей. Основные расходы пришлись на статью затрат по заработной плате сотрудников – 48,36 % от общего бюджета проекта.

3.7 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

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

Таблица 19 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,3	5
3. Удобство в эксплуатации	0,15	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4
5. Ремонтопригодность	0,10	3
Итого:	1,00	4,4

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,45.$$

Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации технического проекта.

3.8 Заключение по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. В ходе проведения данного анализа было выявлено, что шкаф типа ШЭ 2607 имеет преимущество над аналогами. Превосходство над оппонентами обеспечивается за счет того, что продукция данного производителя широко распространена на отечественном рынке и пользуется заслуженной популярностью. Этого удалось достичь в первую очередь за счет надежности и качества, в связи с чем проектирование защиты с использованием шкафа данного типа является эффективным.

2. Проведён SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Из анализа выяснили, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабостей, что свидетельствует об

перспективности разработок проекта. Из сильных сторон стоит отметить уменьшение затрат времени и наладки с контролем защит и высокую чувствительность к аварийным режимам. В свою очередь у данного проекта есть незначительные слабые стороны, одни из которых это высокая стоимость шкафа, а также его подключение к ПК на устаревшей базе Windows 2000/ XP для настройки.

3. Также установлено, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 13 дней, а для инженера – 57 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это расчет уставок защит.

4. Сформирован бюджет настоящей научно-исследовательской работы. Суммарные затраты на проведение работ участниками рабочей группы составляют 158003,9 рублей.

5. Также были определены показатели ресурсоэффективности, значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации научно-исследовательского проекта.

Таким образом, капиталовложения в размере 112600,17 рублей позволят реализовать разработанный проект по расчёту релейной защиты и автоматики линии 220кВ ПС «Зилово» – ПС «Холбон» Забайкальской энергосистемы. Установка релейной защиты и автоматики на данной линии позволит выявлять ненормальные режимы работы энергосистемы и предотвращать повреждение элементов.