

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИнЭО

Специальность Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

Кафедра ЭЭС

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Релейная защита линии электропередачи 220кВ подстанции Заря –подстанции Отрадная Новосибирской энергосистемы

УДК 621.316.925(571.14)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9401	Яковлев Дмитрий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Уфа Руслан Александрович	Ассистент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коршунова Лидия Афанасьевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетических систем	Сулайманов Алмаз Омурзакович	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
Р1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, с готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Профессиональные компетенции		
Р5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6)1, Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями

	междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	международных стандартов
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных с

Содержание

Введение.....	11
1. Формирование района энергосистемы с точки зрения релейной защиты и автоматики (РЗА) заданных объектов.....	12
2 Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений.....	14
2.1 Конфигурация, параметры схем элементов выбранного района энергосистемы.....	14
2.2 Принципы, виды и основные характеристики производимой фирмами аппаратуры РЗА.....	15
2.3 Принятие варианта решений по составу и номенклатуре РЗА заданных автоматизируемых объектов.....	20
2.4 Выбор измерительных трансформаторов.....	20
3. Основные защиты воздушной линии 220 кВ Отрадная- Заря.....	23
3.1 Продольная дифференциальная токовая защита ВЛ, использующая характеристики стабилизации (торможения) 7SD.....	23
4. Резервные защиты воздушной линии 220 кВ Отрадная-Заря.....	28
4.1 Дистанционная защита от всех видов КЗ.....	28
4.1.1. Выбор уставок сектора нагрузки:.....	29
4.1.2. Выбор коэффициентов компенсации током нулевой последовательности.....	29
4.1.3. Выбор уставок первой ступени дистанционной защиты.....	30
4.1.4 Выбор уставок второй ступени дистанционной защиты.....	31
4.1.5. Выбор уставок третьей ступени дистанционной защиты.....	32
4.1.6 Выбор уставок пятой ступени дистанционной защиты.....	34
4.1.7 Выбор уставок управляемой зоны Z1B дистанционной защиты.....	34
4.2. Токовые защиты от однофазных и трехфазных КЗ.....	36
4.2.1 ANSI 50. Токовая отсечка (защита мгновенного действия при больших токах КЗ)..	36
4.2.2 ANSI 50N, 51N. Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП).....	37
4.2.2.2 Выбор уставок 2 ступени ВЛ Отрадная- Заря.....	41

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Релейная защита линии электропередачи 220кВ подстанции Заря – подстанции Отрадная Новосибирской энергосистемы.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Яковлев Д.С.				1		
Провер.		Уфа Р.А.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Утверд.								
						ЭНИН Группа 3-9401 4		

4.2.2.3 Выбор уставок 3, 4 ступени ВЛ Отрадная- Заря.....	44
5. Противоаварийная автоматика ВЛ-220 кВ Отрадная-Заря.....	46
5.1. ANSI 79. Трехфазное автоматическое повторное включение линии.....	46
5.2. ANSI 50F. Внутренняя функция резервирования отказа отдельного (УРОВ) выключателя.....	47
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Экономическая эффективность спроектированных релейных защит и автоматики воздушной линии электропередач 220 кВ ПС Отрадная – ПС Заря.....	49
6.1 Расчет затрат на проектирование.....	49
6.1.1 Планирование комплекса работ.....	49
6.1.2 Оценка технического уровня новшества.....	49
6.1.3 Поэтапное распределение проекта.....	52
6.1.4 Составление сметы затрат на разработку проекта.....	54
6.2 Оценка экономической эффективности спроектированных средств релейной защиты. Релейная защита воздушной линии электропередач Отрадная – Заря.....	57
6.2.1 Ущерб при отсутствии на объекте РЗА.....	58
6.2.2 Ущерб при установке современных моделей защит.....	59
6.2.3 Затраты на внедрение и содержание устройств РЗ.....	58
7. Социальная ответственность.....	61
7.1 Характеристика объекта.....	61
7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	61
7.2.1 Запыленность помещения.....	63
7.2.2 Микроклимат в помещении.....	65
7.2.3 Освещенность.....	67
7.2.4 Электромагнитные поля.....	71
7.3 Экологическая безопасность (охрана окружающей среды).....	75
7.4 Чрезвычайные ситуации.....	76
7.4.2 Пожарная безопасность.....	78
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80

Заключение.....86

Список использованной литературы.....87

Приложение А. Район сети линии 220 кВ Отрадная - Заря Новосибирской энергосистемы. Схема электрическая соединений.

Приложение Б. Релейная защита линии 220 кВ Отрадная- Заря Новосибирской энергосистемы. Схема электрическая подключений.

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

Институт ИнЭО
 Специальность релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем
 Кафедра электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-9401	Яковлев Дмитрий Сергеевич

Тема работы:

Релейная защита линии электропередачи 220кВ подстанции Заря –подстанции Отрадная Новосибирской энергосистемы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2016, №577/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Электрическая схема объекта 2. Параметры объекта 3. Схема замещения
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постановка задачи 2. Роль и место защищаемого объекта в энергосистеме 3. Выбор устройств релейной защиты и автоматики 4. Планирование расчетных аварийных режимов 5. Расчет параметров срабатывания устройств релейной защиты и автоматики

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	6. Экономическая часть 7. Социальная ответственность 8. Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема электрическая соединений 2. Схема электрическая подключений

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Коршунова Лидия Афанасьевна
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ Амелькович Юлия Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Уфа Р.А.	Ассистент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9401	Яковлев Дмитрий Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 88 _____ с., _____ 4 _____ рис., _____ 30 _____ табл.,
_____ 33 _____ источника, _____ 2 _____ прил.

Ключевые слова: РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА, МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ШКАФ, ЛИНИЯ, ЭНЕРГОСИСТЕМА, УСТАВКА, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, СТУПЕНЧАТЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ.

Объектом исследования являются релейная защита и автоматика линии 220 кВ Отрадная – Заря Новосибирской энергосистемы.

Цель работы – расчет уставок и усовершенствование релейной защиты и устройства резервирования отключения выключателя линии и выполнение оценки экономической затрат на реконструкцию линии 220 кВ Отрадная - Заря.

В процессе исследования проводились расчеты уставок срабатывания всех выбранных защит и проверка их чувствительности в минимальном режиме, также проводилась оценка экономической эффективности выбранного оборудования. В результате исследования было доказано целесообразность применения микропроцессорных терминалов защит (шкафов) для линии 220 кВ Отрадная - Заря. Получены результаты и новизна решений.

Спроектированные релейная защита и автоматика (РЗА) линии базируется на современной микропроцессорной аппаратуре производства фирмы Siemens серии Siprotec. Чувствительность измерительных органов ряда ступеней токовых и дистанционных защит достигнута благодаря использованию возможностей аппаратуры, применению сопротивления смещения, выделения области нагрузки для лучшей отстройки от нагрузочных режимов. Экономическая эффективность спроектированных защит весьма высока.

Обозначения и сокращения

РЗ – релейная защита;

РЗА – релейная защита и автоматика;

ТТ – трансформатор тока;

ТН – трансформатор напряжения;

Т – трансформатор;

ДЗТ – дифференциальная защита трансформатора;

КЗ - короткое замыкание;

УРОВ - устройство резервирование отказа выключателя;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ТО – токовая отсечка;

АПВ - автоматическое повторное включение;

ВЛ - воздушная линия электропередачи;

ЗП - защита от перегрузки;

НН - низшее напряжение;

АУВ – автоматика управления выключателем;

РТ – реле тока;

НН – низшее напряжение;

ВН – высшее напряжение;

ГЗ – газовая защита;

РПН – регулирование под нагрузкой;

АРКТ – автоматическое регулирование коэффициента трансформации;

АС – провод из алюминиевых проволок и стального сердечника.

Введение

В связи с быстропротекающими процессами при коротких замыканиях (КЗ) в электрических сетях, необходимы автоматический контроль и ликвидация аварийной ситуации. Эту функцию выполняет релейная защита (РЗ). Ни один силовой элемент не может эксплуатироваться без РЗ, поэтому разработка РЗ для всех компонентов электроэнергетической системы (ЭЭС) является актуальной задачей.

В последнее время одной из важных проблем в отечественной энергетике является замена устаревшего парка оборудования на электростанциях и подстанциях ЭЭС. Так, эксплуатация морально устаревших комплексов релейной защиты может привести к ложным срабатываниям защит или даже их отказу, что в свою очередь приведёт к развитию опасных аварийных ситуаций и снижению надёжности функционирования ЭЭС в целом. Всё это предопределяет актуальность темы на сегодняшний день по замене, реконструкции и модернизации комплексов релейной защиты с целью повышения надёжности функционирования и возможности передачи информации с низкого на более высокий уровень иерархии автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), а также возможность автоматического и дистанционного управления отдельными подстанциями.

В данном дипломном проекте предполагается исследовать схему электрической сети Новосибирской энергосистемы и проработать основные вопросы модернизации и проектирования комплексов релейной защиты отходящей линии 220 кВ Отрадная - Заря на основе микропроцессорных блоков защит.

Для выполнения поставленной задачи, необходимо выбрать район сети, включающий автоматизируемые объекты. Этот выбор нужно осуществить так, чтобы была возможность достаточно полноценно спроектировать РЗА автоматизируемых объектов. Для спроектированных устройств РЗА необходимо оценить экономическую эффективность.

Для достижения поставленной цели использованы расчетные и графоаналитические методы, программный комплекс АРМ СРЗА, с введенными базами данных Новосибирской энергосистемы НРДУ, пакет программ MS Office для оформления пояснительной записки, чертежей схем района и защит.

Основным вопросом дипломного проекта является модернизация комплекса релейной защиты подстанции, для чего необходимо произвести подробные расчёты параметров срабатывания выбранных более современных защит отходящих линий электропередачи на микропроцессорной элементной базе, а именно на терминалах защит фирмы Siemens.

1. Формирование района энергосистемы с точки зрения релейной защиты и автоматики (РЗА) заданных объектов

Для формирования расчётных схем будем использовать диспетчерскую схему НРДУ, которая фактически является схемой электрических соединений для нормального оперативного режима. Автоматизируемый объект: релейная защита линии 220 кВ ПС Отрадная – ПС Заря (со стороны ПС Отрадная).

Обеспечение достоверных и полноценных расчетов уставок и чувствительности, планируемых к использованию на заданных объектах устройств РЗ, осуществляется выделением с точки зрения РЗ района сети в составе заданных автоматизируемых объектов и периферий предыдущих и смежных элементов в необходимом объеме. Однако данная возможность может быть реализована лишь приближенно.

Действительно, чтобы определить уставки вторых и третьих ступеней РЗ линий по условиям согласования с защитами первых, вторых (третьих) ступеней предыдущих линий и трансформаторных элементов, необходимо знать величины уставок первых, вторых (третьих) ступеней последних, а значит обеспечить их расчет. Но вторые (третьи) ступени предыдущих линий должны быть согласованы с первыми, вторыми (третьими) ступенями других предыдущих элементов относительно ранее названных предыдущих элементов, и так вплоть до граничных (оконечных) элементов энергосистемы в направлении действия РЗ. Таким образом, полное проектирование ступенчатых РЗ возможно только на базе схемы электрических соединений всей энергосистемы и, следовательно, строго говоря, с точки зрения проектирования РЗ заданных элементов район расчетной схемы выделить нельзя. [1]

Однако возможно приближенное проектирование, например, так: ступенчатые защиты заданных элементов проектируются в полном предписываемом руководящими указаниями объеме, но вторые и третьи ступени предыдущих или смежных элементов только согласуются с первыми и вторыми ступенями следующего уровня предыдущих элементов и отстраиваются от КЗ на противоположных сторонах предыдущих трансформаторов и автотрансформаторов. Уставки же первых и вторых ступеней последних определяются еще приближеннее, а именно, первой ступени - только путем отстройки от КЗ в конце защищаемой линии, а второй - не путем согласования с РЗ и отстройки от неполнофазного режима на предыдущих линиях, отстройки от КЗ на противоположных сторонах предыдущих трансформаторов и автотрансформаторов, а исходя из минимально-допустимой чувствительности. Исходя из изложенного, район для проектирования РЗ должен содержать кроме заданных автоматизируемых элементов также два уровня периферий из предыдущих элементов в направлении действия комплектов РЗ по концам заданной линии и два уровня периферий: одного - из смежных элементов, а другого - из

предыдущих относительно смежных элементов в основном направлении (т.е. в направлении сети) действия резервных защит каждой из сторон заданного трансформатора.

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

Расчетная схема представлена в приложении А.

Для решения поставленных задач используем программный комплекс «Автоматизированное рабочее место службы релейной защиты и автоматики» (АРМ СРЗА).

2 Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений

2.1 Конфигурация, параметры схем элементов выбранного района энергосистемы

Электрическая схема соединений района содержит подстанцию Отрадная, на которой производится автоматизация элементов: линия 220 кВ Отрадная- Заря. Кроме защищаемой линии от шин 220 кВ ПС Отрадная имеются связи с ПС ТЭЦ-3. Для защищаемой линии, элементами первой периферии являются линии отходящие от ПС Заря. В схеме замещения представленной для расчётного комплекса АРМ СРЗА, некоторые элементы реальной схемы имеют эквивалентные ветви, таким образом данные элементы при отстройке и согласовании защит будут не учтены.

Параметры элементов схемы:

Защищаемая линия

Отрадная – Заря: $U_{ном}=220$ кВ; $Z_1=3,37+j19,03$ Ом, $Z_0=10,28+j59,91$ Ом,
АС-400, $L= 46,13$ км, $N_{ЭЛ}=235$.

Линии первой периферии:

Заря – Южная: $Z_1=4,38+j26,48$ Ом, $Z_0=14,15+j26,48$ Ом,
АС-400, $L= 65,4$ км, $N_{ЭЛ}=249, 250$.

Заря – Правобережная: $Z_1=4,04+j22,91$ Ом, $Z_0=12,37+j72,08$ Ом,
АС-400, $L= 55,32$ км, $N_{ЭЛ}=236$.

Заря – Восточная: $Z_1=2,11+j13,04$ Ом, $Z_0=9,31+j33,1$ Ом,
АС-400, $L= 32,5$ км, $N_{ЭЛ}=251, 252$.

Линии второй периферии:

Восточная - Белово: $Z_1=15,3+j94,76$ Ом, $Z_0=50,73+j307,5$ Ом,
АС-400, $L= 235,95$ км, $N_{ЭЛ}=202, 201$.

Восточная - Научная: $Z_1=1,6+j10,18$ Ом, $Z_0=7,41+j25,64$ Ом,
АС-400, $L= 235,95$ км, $N_{ЭЛ}=254$.

Правобережная – ТЭЦ 3: $Z_1=0,69+j4,24$ Ом, $Z_0=2,37+j13,9$ Ом,
АС-400, $L= 9,75$ км, $N_{ЭЛ}=238$.

Автотрансформатор ПС Заря (АТ):

АТДЦТН-500000/500/220

$U_{вн}= 520/\sqrt{3}$ кВ; $U_{сн}= 230/\sqrt{3}$ кВ; $U_{нн}=15,5$ кВ, $N_{ЭЛ}=518, 526$;

$S_{ном}=500$ МВА, $Z_{вн}=j37,85$ Ом.

2.2 Принципы, виды и основные характеристики производимой фирмами аппаратуры

РЗА

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

Линии высокого напряжения работают с большими токами нагрузки, что требует применения защит со специальными характеристиками. На транзитных линиях, которые могут перегружаться, как правило, применяются дистанционные защиты, позволяющие эффективно отстроиться от токов нагрузки. На тупиковых линиях во многих случаях можно обойтись токовыми защитами. Как правило, не допускается, чтобы защиты срабатывали при перегрузках. Защита от перегрузки, при необходимости, выполняется на специальных устройствах.

Согласно ПУЭ, устройства предотвращения перегрузки должны применяться в случаях, если допустимая для оборудования длительность протекания тока составляет менее 10-20 мин. Защита от перегрузки должна действовать на разгрузку оборудования, разрыв транзита, отключение нагрузки, и только в последнюю очередь на отключение перегрузившегося оборудования.

Линии высокого напряжения, как правило, имеют значительную длину, что усложняет поиск места повреждения. Поэтому, линии должны оснащаться устройствами, определяющими расстояние до места повреждения.

Задержка в отключении короткого замыкания может привести к нарушению устойчивости параллельной работы электростанций, из-за длительной посадки напряжения может остановиться оборудование и нарушиться технологический процесс производства, могут произойти дополнительные повреждения линии, на которой возникло короткое замыкание. Поэтому, на таких линиях очень часто применяются защиты, которые отключают короткие замыкания в любой точке без выдержки времени. Это могут быть дифференциальные защиты, установленные по концам линии и связанные высокочастотным, проводниковым или оптическим каналом. Это могут быть обычные защиты, ускоряемые при получении разрешающего, или снятия блокирующего сигнала с противоположной стороны.

Учитывая все вышеизложенное и принимая во внимание, что целью проекта является модернизация комплекса релейной защиты воздушной линии 220 кВ «Отрадная-Заря» Новосибирской энергосистемы, выполнение защит будет реализовываться на микропроцессорных устройствах, имеющих большой ряд преимуществ по сравнению с электромеханическими. В нашем случае, цифровые шкафы (терминалы) защит будут фирмы Siemens. И в качестве основной защиты выступает дифференциальная защита типа 7SD.

Цифровая дифференциальная защита SIPROTEC 7SD52 функционирует как селективная защита от коротких замыканий воздушных и кабельных линий с одно- и много-концевым вводом в радиальной, кольцевой или системе любой другой топологии любого уровня передачи. Тип заземления нейтралей системы не имеет значения, поскольку измеряемые величины сравниваются отдельно для каждой фазы. Высокая чувствительность и отстройка от бросков тока позволяют применять терминал 7SD52 даже, если в защищаемой зоне находится силовой трансформатор (опция заказа), чья нейтраль изолирована или эффективно заземлена (опция заказа). Основным преимуществом функции дифференциальной защиты является мгновенное отключение в случае короткого замыкания в любой точке введенной защищаемой зоны. Трансформаторы тока (ТТ) ограничивают защищаемую зону по концам по направлению к линии. Этот жесткий предел является причиной идеальной селективности схем дифференциальной защиты.

Согласно ПУЭ [2] в качестве основной защиты от замыканий между фазами применена дифференциальная защита, а в качестве резервной - трехступенчатая дистанционная защита от многофазных замыканий будет применена дистанционная защита, от замыканий на землю - ступенчатая токовая ненаправленная защита нулевой последовательности.

Устройство 7SD522 обеспечивает полно схемную дифференциальную защиту и включает в себя все функции, обычно необходимые для дифференциальной защиты линий электропередачи. Оно предназначено для защиты линий распределительных сетей с количеством терминалов от двух до шести. Устройство использует оптоволоконные кабели или цифровые сети связи для обмена дифференциальными данными и включает в себя специальные свойства для применения в сетях связи. Это способствует повышению устойчивости и надежности работы электроэнергетической сети независимо от способа заземления нейтрали.

Распознавание коротких замыканий в защищаемой зоне — даже в случае не большого тока или замыкания с большим сопротивлением — является основной функцией устройства. Поскольку измеряемые величины оцениваются отдельно для каждой фазы, то сложные многофазные повреждения также точно определяются. Защитная система устойчива к броскам токов силовых трансформаторов, которые могут располагаться в зоне действия защиты. При включении защищаемой линии на повреждение, сигнал на ее отключение может быть выдан без выдержки времени. [3]

Функция дифференциальной защиты имеет следующие свойства [3]

Измерения выполняются раздельно для каждой фазы, таким образом, чувствительность отключения не зависит от типа повреждения.

- Адаптивный метод измерения с высокой чувствительностью для дифференциальных токов повреждения, величина которых меньше номинального тока, позволяет определять высокоомные повреждения.
- Грубая дифференциальная отключающая ступень позволяет выполнять быстрое отключение дифференциальных токов повреждения, величина которых больше номинального значения, в пределах 15 мс.
- При включении длинной линии или кабельной линии появляются переходные зарядные токи. Для избежания излишнего срабатывания уставка чувствительной дифференциальной отключающей ступени может быть увеличена на задаваемое время.

Этим обеспечивается высокая чувствительность при нормальных нагрузочных режимах.

- Различия между коэффициентами трансформации трансформаторов тока на терминалах учитываются внутри устройства. Допускается рассогласование в пределах от 1 до 6.
- Дифференциальное отключение может сочетаться отключением максимального тока. Таким образом, дифференциальный ток максимальный ток влияют на окончательное отключение.
- Простота задания характеристики отключения. Устройство действует адаптивно, поэтому только уставки $I_{\text{Дифф}} >>$ и $I_{\text{Дифф}} >$ должны быть заданы в соответствии с зарядным током линии/кабельной линии.
- Дифференциальный ток и ток ограничения постоянно контролируются в течение нормальной работы и отображаются в виде рабочих эксплуатационных измеряемых значений.
- Высокая устойчивость при внешних коротких замыканиях даже с различным уровнем насыщения трансформаторов тока. При внешнем повреждении отсутствие насыщения в течение только 5 мс достаточно для обеспечения устойчивой работы дифференциальной конфигурации.
- Если в защищаемой зоне находятся трансформаторы или компенсационные катушки, то чувствительная отключающая ступень может быть заблокирована функцией определения бросков тока. Она действует на основании сравнения величины второй гармоники в измеряемом токе с основной составляющей.
- Если в защищаемой зоне находятся трансформаторы, то в устройстве выполняется согласование векторной группы и коэффициента трансформации трансформаторов тока. Также исключается из дифференциального измерения протекающий через заземленную нейтраль ток нулевой последовательности.

Следовательно, 7SD52 действует подобно устройству дифференциальной защиты трансформатора, в котором терминалы могут быть расположены на большом расстоянии друг от друга при наличии соответствующих каналов связи (волоконно-оптических, ВЧ-каналов и пр).

Также терминал включает в себя функцию многократного одно/трехфазного автоматического повторного включения.

Для того, чтобы АПВ было успешным, все повреждения на всей воздушной линии должны быть устранены как можно скорее. Это обычный случай для схемы дифференциальной защиты поскольку прямое селективное определение зоны защищаемого объекта выводами ТТ позволяет выполнять отключение без выдержек времени. Однако, быстрое отключение от защиты желательно до АПВ после отключения от любой другой защиты от коротких замыканий. Для этой цели любая защита от коротких замыканий, которая может запустить функцию АПВ, имеет возможность инициировать отключение без выдержки времени хотя бы одной ступенью, когда функция АПВ готова к первому циклу работы.

Запуск функции АПВ означает хранение первого сигнала на отключение повреждения в сети, выданного функцией защиты, работающей с АПВ. В случае многократного АПВ пуск имеет место только один раз, при первой команде на отключение. Хранение этого сигнала является предпосылкой для всех последующих действий функции АПВ. Пуск важен, когда первая команда на отключение не появляется по истечению времени действия.

В качестве дополнительной защиты от многофазных замыканий должна быть применена дистанционная защита. От замыканий на землю должна быть предусмотрена, как правило, ступенчатая токовая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности. Резервные защиты предназначены для отключения КЗ на защищаемой линии в случае отказа или ремонта основной защиты, а также при КЗ на смежных линиях отходящих от противоположной подстанции в случае отказа защит или выключателей этой линии.

Микропроцессорное устройство дистанционной защиты SIPROTEC 7SA6 используется для выполнения селективной защиты воздушной линии 220кВ Отрадная – Заря от многофазных замыканий. Нейтраль сети может быть заземленной, компенсированной или изолированной. Устройство обладает функциями, которые обычно требуются для реализации защиты линий электропередачи и может использоваться универсально. Возможно применение устройства в качестве основной быстродействующей защиты и / или ступенчатой резервной защиты для всех типов линий, трансформаторов, генераторов, двигателей или шин для всех уровней напряжения сети. Устройства, расположенные на концах защищаемой зоны, обмениваются измеренными данными при помощи функций телеуправления через обычные линии связи (контакты) или через опциональные интерфейсы данных защиты с использованием специальных линий связи (обычно оптоволоконных) или через коммуникативную сеть. Если устройства 7SA6 оборудованы интерфейсом данных защиты, они могут использоваться для объекта защиты с 2 концами. [4]

Наряду с дистанционной защитой от всех видов повреждений, устройство имеет токовую четырехступенчатую защиту от КЗ на землю (для отключения высокоомных замыканий - вариант заказа с чувствительным токовым входом), ступени которой могут устанавливаться направленными или ненаправленными, а также дополняться функцией телеуправления с помощью сравнения сигналов (блокирующих или разрешающих). Кроме упомянутых выше функций устройства существуют также и другие функции защиты, например, защита от КЗ на землю (для изолированных или компенсированных систем), многоступенчатая защита от перенапряжения, пониженного напряжения, частотная защита, защита от отказа выключателя, обнаружение качаний мощности (при срабатывании по сопротивлению действует также как блокировка от качаний для дистанционной защиты), защита от перегрева оборудования (особенно кабельного) при избыточных нагрузках. Для оперативного определения места повреждения (ОМП) устройство располагает автоматической функцией ОМП, которая может выполняться с компенсацией влияния параллельной линии при КЗ на землю.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Экономическая эффективность спроектированных релейных защит и автоматики воздушной линии электропередач 220 кВ ПС Отрадная – ПС Заря.

6.1 Расчет затрат на проектирование

6.1.1 Планирование комплекса работ

Капитальные вложения в проектирование релейной защиты выбранного объекта напряжением 220 кВ складываются из стоимости проектирования релейной защиты, из затрат на монтаж и наладку оборудования (комплектов защит) и из стоимости самого оборудования:

$$K = K_{\text{проект}} + K_{\text{оборуд}} + K_{\text{монтаж}} ;$$

$K_{\text{проект}}$ - затраты на выполнение проекта;

$K_{\text{оборуд}}$ - стоимость комплектов защит;

$K_{\text{монтаж}}$ - затраты на монтаж и наладку оборудования.

Проектирование средств релейной защиты и автоматики включает в себя несколько этапов. Следует отметить, что для вычисления электрических величин, необходимых для определения уставок и проверки чувствительности устройств релейной защиты используется комплекс промышленных программ «АРМ СРЗА».

Для организации проекта применяются различные методы экономического планирования с целью более эффективного использования времени и рабочей силы, снижения трудозатрат. Планирование проекта заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи, определении участников каждой работы, установлении продолжительности в рабочих днях, построения линейного или сетевого графика и его оптимизации.

6.1.2 Оценка технического уровня новшества

Общей схемой количественного анализа конкурентоспособности объекта по техническим показателям, которая может применяться на любом этапе существования объекта, является следующая:

1. Выбор базового объекта конкурента, аналогичного по назначению и условиям эксплуатации с оцениваемым объектом.
2. Определение перечня нормативных, предельно допустимых и желаемых, а также предлагаемых технических параметров, подлежащих исследованию (показать в таблице).
3. Сравнение (по каждой из групп параметров) имеющихся параметров с соответствующими параметрами потребности, необходимыми для заказчика (потребителя). Инструментом сравнения является единичный показатель, представляющий собой отношение

величины параметра рассматриваемого объекта к величине этого же параметра, необходимого заказчику (идеал).

4. Подсчет группового показателя на основе единичных показателей. Групповой показатель выражает различие между анализируемыми объектами по всем группам параметров в целом.

Общими и методологическими принципами при соблюдении данной схемы анализа являются учет предельности отдельных элементов потребности, с тем, чтобы при нахождении объекта на предельном уровне потребности не делался вывод о большей конкурентоспособности анализируемого объекта с более высокими, чем у конкурента аналогичными параметрами; необходимость придания количественной оценки тем параметрам, которые не имеют естественной физической меры (например, комфортность изделия), с использованием экспертных методов; необходимость построения весовой базы для технических параметров на основе всесторонних рыночных исследований.

Единичный параметрический показатель рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{P}{P_{100}},$$

где q – параметрический показатель;

P – величина параметра реального объекта;

P_{100} – величина параметра гипотетического (идеального) объекта, удовлетворяющего потребность на 100%;

После вычисления всех единичных показателей становится реальностью вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие объекта потребности в нем (полезный эффект или качество объекта):

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i,$$

где Q – групповой технический показатель (по техническим параметрам);

q_i – единичный параметрический показатель по i -му параметру;

d_i – вес i -го параметра;

n – число параметров, подлежащих рассмотрению.

Таблица 16. Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателя	Новшество (терминал НПП "Siprotec")		Конкурент (терминал НТЦ "Механотроника")		Гипотетический объект	
		d_i	P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}
1. Время срабатывания, не менее, мс	0,2	40	0,50	70	0,29	20	1,00
2. Устойчивость к перегрузке по напряжению питания, В	0,15	253	0,84	264	0,88	300	1,00
3. Устойчивость к прерыванию напряжения питания, с	0,11	1	1,00	0,8	0,80	1	1,00
4. Относительная основная погрешность измерения тока, %	0,1	4	0,50	5	0,40	2	1,00
5. Термическая стойкость аналоговых входов тока, длительно, А	0,1	10	0,40	25	1,00	25	1,00
6. Срок службы, год	0,09	20	1,00	12	0,60	20	1,00
7. Количество выполняемых функций, шт.	0,07	40	0,89	36	0,80	45	1,00
8. Количество измеряемых величин, шт.	0,06	12	1,00	11	0,92	12	1,00
9. Количество дискретных входов, шт.	0,06	50	1,00	44	0,88	50	1,00
10. Количество дискретных выходов, шт.	0,06	40	0,80	30	0,60	50	1,00
Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества), Q		0,83		0,67		1,00	

Показатель конкурентоспособности новшества по отношению к базовому объекту будет равен:

$$K_{my} = \frac{Q_n}{Q_k},$$

где K_{my} – показатель конкурентоспособности нового объекта по отношению к конкурирующему по техническим параметрам (показатель технического уровня);

Q_n , Q_k – соответствующие групповые технические показатели нового и базового объекта.

$$K_{my} = \frac{Q_n}{Q_k} = \frac{0,83}{0,67} = 1,238$$

6.1.3 Поэтапное распределение проекта

Для проектирования были задействованы исполнители: научный руководитель проекта (НР) – доцент 15 разряда (15 р.) кафедры «Электроэнергетические системы (ЭЭС)»; инженер (И) 9 разряда.

Для участников проекта необходимо определить их загрузку. Загрузка исполнителей - это операция, при которой происходит определение нужного количества исполнителей и объема их загрузки в зависимости от количества выполненных работ. Доля загрузки научного руководителя не более 10% от времени, затраченного инженером на проектирование.

В таблице 17 приведен перечень, длительность, исполнители и загрузка основных этапов и работ, имеющих место при проектировании РЗА участка сети.

Таблица 17. Комплекс работ по разработке проекта

аб.	Перечень работ	Исполнители	Продолжительность работ, дней	Загрузка дни
Подготовительный этап				
	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Инженер Руководитель	1	1 1
	Составление и утверждение технического задания проекта	Инженер Руководитель	2	2 1
	Подбор и изучение литературы	Инженер	3	3
Исследование и анализ предметной области				
	Анализ схемы энергорайона	Инженер Руководитель	2	2 1
	Составление схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Введение в базу данных АРМ СРЗА информации о заданном объекте	Инженер Руководитель	2	2 1
Расчет токов коротких замыканий в комплексе АРМ СРЗА				
	Расчет токов коротких замыканий для выбора уставок дифференциальной защиты линии	Инженер	2	2 1
	Расчет токов коротких замыканий для выбора уставок дистанционной защиты линии	Инженер	6	6
	Расчет токов трехфазных коротких замыканий для выбора уставок мгновенной токовой отсечки	Инженер	1	1
	Расчет токов однофазных коротких замыканий для выбора уставок токовой защиты нулевой последовательности	Инженер	7	7
Оформление документации и подготовка к сдаче проекта				
0	Анализ полученных результатов	Инженер	6	6

1	Сдача электронного варианта разработки	Инженер	1	1
2	Анализ и расчеты производственной и экологической безопасности, технико-экономического обоснования проекта	Инженер	9	9
3	Написание пояснительной записки	Инженер	11	11
4	Оформление графического материала	Инженер	2	2
	Итого	Инженер Руководитель	55 5	

6.1.4 Составление сметы затрат на разработку проекта

Целью данного раздела является экономически обоснованное определение затрат на разработку проекта. В рамках данного проекта создается одна разработка, определение затрат производится путем составления сметы затрат, т.е. группировка проводится по элементам.

Затраты, образующие себестоимость разработки можно сгруппировать следующим образом:

- 1 материальные затраты на проектирование;
- 2 затраты на оплату труда;
- 3 Отчисления в социальные фонды;
- 4 амортизация компьютерной техники;
- 5 прочие расходы;
- 6 накладные расходы;

а) материальные затраты

Данный элемент включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, доставку. Материальные затраты на проектирование составляют 800 рублей.

б) амортизация компьютерной техники

Амортизация – это отчисленный в денежном выражении износ основных средств в процессе их применения, производственного использования. Данный элемент отражает сумму амортизационных издержек на полное восстановление основных средств, используемых при реализации проекта (компьютерной техники).

Основное средство (компьютерная техника) первоначальной стоимостью 30000 рублей. Срок полезного использования 10 лет. Время работы за компьютером 55 дня. Таким образом амортизация за весь период проектирования:

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$I_{AM} = \frac{C_{перв} \cdot n}{365 \cdot t},$$

где $C_{перв}$ – первоначальная стоимость объекта;

n – время работы за компьютером.

t – срок полезного использования объекта (срок службы).

Таблица 18. Расчет амортизационных отчислений.

Наименование	Количество, шт	Общая стоимость, руб	Время работы, день	Срок полезного использования, год	I_{AM} , руб.
Компьютер	2	70000	39	5	1495,89
Принтер	1	5000	2	5	5,48
Сканер	1	5000	4	5	10,96
Компьютерный стол	2	20000	64	10	350,68
Офисное кресло	2	14000	64	10	245,48
Итого					2108,49

в) затраты на оплату труда

Расчёт заработной платы (ЗП) выполняется на основе месячного оклада, коэффициента отпускных, надбавки и районного коэффициента исполнителя. Для участников проекта предусмотрен только районный коэффициент, который для г. Томска составляет 30%. Издержки на оплату труда:

$$I_{ЗП} = (ЗП_о \cdot K_1 + Д) \cdot K_2,$$

где $ЗП_о$ – месячный оклад исполнителя (для инженера 14500 руб., для руководителя (доцента) 23600 руб. а также надбавка 2200 руб. к окладу руководителя);

K_1 - коэффициент учитывающий отпуск, принимается равным 1,1;

$Д$ - надбавка, денежная выплата сверх заработной платы (2200 руб. для доцента);

K_2 - районный коэффициент, принимается равным 1,3;

Фактическая заработная плата рассчитывается следующим образом:

$$I_{ЗП}^Ф = \frac{I_{ЗП}}{n_1} \cdot n_2,$$

где $I_{ЗП}$ – заработная плата за месяц;

n_1 - количество рабочих дней (21 день);

n_2 - фактическое количество отработанных дней;

Расчет заработной платы с учетом трудоемкости приведен в таблице 4.

Таблица 19. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Зарплата за месяц, руб.	Фактическая зарплата, руб.
Инженер	20735	63192,4
Научный руководитель	36615	10461,4
Итого		73653,8

Таким образом, затраты на оплату труда для 2-х участников проектирования за весь период составляют 73653,8 рублей.

г) отчисления в социальные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды включают в себя отчисления в различные фонды (пенсионный, обязательного медицинского страхования и др.), которые составляют 30 % от суммы заработной платы (ЗП).

$$I_{CO} = 0,3 \cdot I_{ЗП}^{\Phi} = 0,3 \cdot 75920 = 22776 \text{ руб.}$$

д) Прочие затраты

В прочие расходы могут быть включены: расходы на пользование интернетом, размножение материалов, аренду спецоборудования, командировки, почтовые и телеграфные расходы и т.п.

Прочие расходы составляют 10% от всех предыдущих затрат на реализацию проекта и составляют:

$$I_{ПР} = I_{МЗ} + I_{АМ} + I_{ЗП}^{\Phi} + I_{CO} = (800 + 2108,49 + 73653,8 + 22776) \cdot 0,1 = 9979,8 \text{ рублей.}$$

е) Накладные расходы

Накладные расходы составляют 200% от суммы заработной платы 2-х участников проектирования и составляют:

$$I_{НР} = I_{ЗП}^{\Phi} \cdot 2 = 73653,8 \cdot 2 = 147307,6 \text{ рублей.}$$

Все вышеперечисленные затраты включаются в смету, которая приведена в таблице 19.

Таблица 20. Смета затрат на разработку

Элементы затрат	Условное обозначение	Сумма руб.
Материальные затраты	$I_{МЗ}$	800
Амортизация компьютерной техники	$I_{АМ}$	2108,49
Затраты на оплату труда	$I_{ЗП}^{\Phi}$	73653,8
Социальные отчисления	$I_{СО}$	22776
Прочие затраты	$I_{ПР}$	9933,829
Накладные расходы	$I_{НР}$	147307,6
Себестоимость проекта	$C_{ПЛ}$	256579,719
Прибыль	$П$	61062,97
Договорная цена	$Ц_{Д}$	317645,692

Договорная цена должна обеспечить получение прибыли, достаточной для отчисления средств в виде налогов и фиксированных платежей в специальные фонды и бюджеты разного уровня в соответствии с утвержденными экономическими нормативами, а также для развития предприятия-разработчика (или кафедры и т.д.) и поощрения исполнителей.

6.2 Оценка экономической эффективности спроектированных средств релейной защиты. Релейная защита воздушной линии электропередач Отрадная - Заря

Экономическая эффективность релейной защиты определяется предотвращенным ущербом вследствие внедрения средств РЗА:

$$\mathcal{E} = Y - Y^{PZA}$$

где Y – экономический ущерб до внедрения средств РЗА; Y^{PZA} – экономический ущерб после внедрения РЗА.

Ущерб при отсутствии на объекте РЗА складывается из ущерба вследствие разрушительного действия токов КЗ ($Y_{кз}$) (разрушение может заключаться в физическом ущербе и режимном разрушении, вследствие снижения напряжения прямой последовательности), ущерба от небаланса активной мощности в узлах, объединенных автоматизируемым элементом ($Y_{нб}$) и ущерба от прекращения перетоков (Y_n):

$$Y = Y_{кз} + Y_{нб} + Y_n$$

Ущерб от действия КЗ при наличии на объекте РЗА, складывается из ущербов вследствие отказов срабатывания, излишних и ложных срабатываний РЗ, а также расчетные затраты на установку и содержание устройств РЗА:

$$Y^{P3A} = Y_{OC}^{P3A} + Y_{ИС}^{P3A} + Y_{ЛС}^{P3A} .$$

В итоге имеем:

$$\mathcal{E} = Y_{КЗ} + Y_{НБ} + Y_{П} - Y_{ИС}^{P3A} - Y_{ЛС}^{P3A} - Y_{OC}^{P3A} .$$

6.2.1 Затраты на внедрение и содержание устройств РЗ

Стоимость проектирования, оборудования, установки и наладки средств РЗ:

$$K = K_{пр} + K_{об} + K_{ун} = 287779,635 + 2244000 + 448800 = 2980579 \text{ руб.},$$

где $K_{пр}=287779,635$ руб. – стоимость проектирования;

$K_{об}= 2244000$ руб.- стоимость шкафов РЗА серии Siprotec фирмы Siemens;

$K_{ун}= 448800$ руб.- стоимость установки и наладки комплектов защит.

Таблица 21. – Смета затрат на оборудование

Наименование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Шкаф Siprotec 7SD522	1	918000
Шкаф Siprotec 7SA611	2	2*663000=1326000
Итого		2244000

Монтаж оборудования составляет 15-20% от стоимости оборудования.

Поэтому, стоимость наладки и монтажа $K_{ун} = 2244000 \cdot 0,2 = 448800$ руб.

6.2.2 Ущерб при отсутствии на объекте РЗА

1) ущерб, обусловленный разрушительным действием КЗ на линии

$$Y_{КЗ} = C_{КЗ} \cdot t_p \cdot q_L,$$

где $C_{КЗ}$ - цена восстановления линии после аварийного разрушения вследствие протекания тока КЗ, $C_{КЗ} = 500000$ руб.;

$$Y_{КЗ} = C_{КЗ} \cdot t_p \cdot q_L = 500000 \cdot 0,99056 \cdot 1 = 495280 \text{ руб.}$$

2) ущерб, от небаланса активной мощности

$$Y_{НБ} = q_L \cdot \omega_L^0 \cdot (p_1 C_1 + p_2 C_2) \cdot t_p,$$

Ущерб, от небаланса активной мощности:

$$Y_{НБ} = 0,99056 \cdot 0,46 \cdot 2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 1 = 191376,2 \text{ руб.}$$

3) ущерб от прекращения перетока активной мощности по защищаемому элементу

$$Y_{П} = q_L \cdot a \cdot m(N_{ijk}) \cdot m(T^0)$$

$$Y_{\Pi} = 0,99056 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0,05 = 9905,6 \text{ руб.}$$

Таблица 22. Численные значения составляющих экономического эффекта

Составляющая	Условное обозначение	Величина, руб.
Ущерб вследствие разрушительного действия токов КЗ	$Y_{КЗ}$	495280
Ущерб от небаланса активной мощности в узлах, объединенных автоматизируемым элементом	$Y_{НБ}$	191376
Ущерб от прекращения перетоков	Y_{Π}	9905
Итого		696561

6.2.3 Ущерб при установке современных моделей защит

1) Ущерб, обусловленный отказами срабатывания РЗ:

$$Y_{ос}^{P3} = (q^{\Pi} q_p^{\Pi} p_p + p^{\Pi} q_p^{\Pi} p_p + q^{\Pi} p_p^{\Pi}) \cdot (Y_{КЗ} + Y_{НБ})$$

Принимаем $Y_{ос}^{P3} = 0$.

2) ущерб, вследствие излишних срабатываний:

$$Y_{и}^{P3} = \left[q^{\Pi} q_p^{\Pi} q_p (\omega_{и} + \omega_{ри}) + (q^{\Pi} q_p^{\Pi} p + q_p^{\Pi} p^{\Pi}) q_p \omega_{ри} + (q^{\Pi} q_p^{\Pi} p_p + q_p^{\Pi} p_p^{\Pi}) q \omega_{и} \right] Y_{п} t_p$$

Получаем ущерб, вследствие излишних срабатываний:

$$Y_{и}^{P3} = 252493,75 \text{ руб.}$$

3) ущерб, вследствие ложных срабатываний:

$$Y_{л}^{P3} = \left[q^{\Pi} q_p^{\Pi} q_p (\omega_{л} + \omega_{рл}) + (q^{\Pi} q_p^{\Pi} p + q_p^{\Pi} p^{\Pi}) q_p \omega_{рл} + (q^{\Pi} q_p^{\Pi} p_p + q_p^{\Pi} p_p^{\Pi}) q \omega_{л} \right] Y_{п} t_p$$

$$Y_{л}^{P3} = 315,99 \text{ рублей.}$$

Таблица 23. Численные значения составляющих экономического эффекта

Составляющая	Условное обозначение	Величина, руб.
Ущерб вследствие отказов срабатывания РЗ	$Y_{ос}^{P3}$	0
Ущерб вследствие излишних срабатываний РЗ	$Y_{и}^{P3}$	252493
Ущерб вследствие ложных срабатываний РЗ	$Y_{л}^{P3}$	315
Итого		252808
Расчетные эксплуатационные издержки	C^{P3A}	59611,5

Ущерб при отсутствии на объекте РЗА:

$$Y = Y_{\text{КЗ}} + Y_{\text{НБ}} + Y_{\text{П}} = 495280 + 191376,2 + 9905,6 = 696561,8 \text{ руб.}$$

Ущерб от действия КЗ при наличии на объекте шкафов РЗА фирмы Siemens:

$$Y_{\text{Н}}^{\text{РЗА}} = Y_{\text{ос}}^{\text{РЗ}} + Y_{\text{И}}^{\text{РЗА}} + Y_{\text{Л}}^{\text{РЗА}} = 0 + 252493,75 + 315,99 = 252809,75 \text{ руб.}$$

Экономический эффект:

$$\mathcal{E} = Y - Y_{\text{Н}}^{\text{РЗА}} - C^{\text{РЗА}} = 696561,8 - 252809,75 - 59611,5 = 384140,55 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости составляет:

$T_{\text{ок}} = K / \mathcal{E} = 2980579 / 384140,55 = 7,75$ лет, что для предприятий энергетического комплекса является приемлемым показателем.