

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Институт ЭНИИСпециальность Релейная защита и автоматизация электроэнергетических системКафедра ЭЭС**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
Релейная защита и автоматика элементов подстанции 110/35/10кВ «Сухой Порт» Хоргосэнерго

УДК 621.316.925.1:621.311.4(574.51)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9401	Зонтов Павел Павлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдин Святослав Михайлович	К.Т.Н.		

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.		

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 междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6)1, Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов

	электроэнергетики и электротехники.	
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

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

Институт ЭНИН
 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	Зонтов Павел Павлович

Тема работы:

Релейная защита и автоматика элементов подстанции 110/35/10кВ «Сухой Порт» Хоргосэнерго	
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, подлежащих разработке; заключение по работе).</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 6. Экономическая часть 7. Безопасность жизнедеятельности 8. Заключение

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема электрической сети 2. Схема распределения защит по трансформаторам тока и напряжения 3. Схема подключения защит
---	--

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
Доцент	Юдин С.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9401	Зонтов Павел Павлович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 106 _____ с., _____ 4 _____ рис., _____ 15 _____ табл.,
_____ 43 _____ источника, _____ 3 _____ прил.

Ключевые слова: УЧАСТОК СЕТИ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА, ЛИНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, ТРАНСФОРМАТОР, СЕЛЕКТИВНОСТЬ, ШКАФ ЗАЩИТЫ. Объектом исследования являются релейная защита и автоматика линии 110 кВ Хоргос – Сухой Порт и трехобмоточного трансформатора ТДТН-40000/115/38,5/11 на ПС Сухой Порт.

Цель проекта - разработка релейной защиты и автоматики линии с учетом всех требований и рекомендаций, расчет уставок дифференциальной и ступенчатых защит трансформатора, а также оценка экономической эффективности проектируемых устройств РЗА.

Исследование началось с проведения расчетов токов коротких замыканий в разных режимах энергосистемы для выбора уставок срабатывания. В ходе анализа результатов расчетов токов были получены уставки, отвечающим требованиям необходимой чувствительности в минимальных режимах и быстродействия отключения повреждений. Была проведена оценка экономической эффективности выбранного оборудования. В результате исследования было доказано целесообразность применения микропроцессорных терминалов защит (шкафов) для линии 110 кВ Хоргос- Сухой Порт и трансформатора ПС Сухой Порт.

Для выполнения селективной и быстродействующей защиты воздушной линии используется микропроцессорное устройство защиты Siprotec 7SA6. Релейная защита трансформатора базируется на микропроцессорных терминалах фирмы Siemens 7UT6. Особенности дистанционной защиты – надежное распознавание между нагрузочным режимом и режимом короткого замыкания, даже в случае длинных сильнонагруженных линий; высокая чувствительность в режиме малой нагрузки; высокая надежность функционирования при бросках нагрузки и качания мощности; оптимальное согласование с защищаемой линией при помощи четырёхугольной характеристики срабатывания. Достоинствами дифференциальной защиты трансформатора в составе терминала 7UT6 являются наличие характеристики отключения с током торможения; торможение от броска тока намагничивания с использованием второй гармоники; нечувствительность к кратковременному падению постоянного тока и насыщению трансформаторов тока; высокая чувствительность к замыканиям на землю, благодаря обработке тока нейтрали, заземленной обмотки трансформатора.

Полученные в проекте результаты могут быть использованы как предварительные для рабочего проектирования в расчетных группах РЗА центрального, объединенного или регионального диспетчерского управления.

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;
ГТУ – газотурбинная установка.

5.1. ANSI 79. Трехфазное автоматическое повторное включение линии	36
5.2. ANSI 50F. Внутренняя функция резервирования отказа отдельного (УРОВ) выключателя	37
6. Основные защиты на стороне высокого напряжения трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт	39
6.1 Продольная дифференциальная токовая защита трансформатора, использующая характеристики стабилизации (торможения)	39
6.1.1 Выбор начального тока срабатывания основной характеристики дифзащиты	41
6.1.2 Расчет Коэффициента торможения дифзащиты трансформатора SLOPE1 (определение наклона характеристики срабатывания)	42
6.1.3 Определение дополнительной (второй) характеристики торможения	44
6.1.4 Определение уставки дифференциальной отсечки	44
6.1.5 Определение уставки дополнительного торможения	45
6.1.6 Определение уставок гармонического торможения	46
7. Резервные защиты на стороне высокого напряжения трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт в составе терминала Siprotec 7UT613	47
7.1 Максимальная трехфазная токовая защита (ненаправленная, без пуска по напряжению)	47
7.2 Токовая защита от перегруза	49
8. Резервные защиты на стороне высокого напряжения трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт в составе терминала 7SJ622	50
8.1 Максимальная трехфазная токовая защита (ненаправленная, с пуском минимального напряжению и с блокировкой по 2 гармонике)	50
8.2 Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП) (направленная к трансформатору)	52
8.3 Токовая защита от перегруза	53
8.4 Максимальная токовая защита обратной последовательности (ненаправленная)	53
9. Внутренняя функция резервирования отказа отдельного (УРОВ) выключателя на стороне ВН (СН) трансформатора	55
10. Защиты на стороне среднего напряжения трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт в составе терминала 7SJ622	56

10.1 Максимальная трехфазная токовая защита (ненаправленная) с пуском минимального напряжения	56
11. Защиты на стороне низкого напряжения трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт в составе терминала 7SJ622	58
11.1 Максимальная токовая защита обратной последовательности (ненаправленная)	58
11.2 Максимальная трехфазная токовая защита (ненаправленная) с пуском минимального напряжения	59
12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Экономическая эффективность спроектированных релейных защит и автоматики воздушной линии электропередач 110 кВ Хоргос - Сухой Порт и трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт.	63
12.1 Характеристика объекта	63
12.2 Оценка технического уровня	63
12.3 Расчет затрат на проектирование	65
12.3.1 Планирование комплекса работ	65
12.3.2 поэтапное распределение проекта	65
12.3.3 Составление сметы затрат на разработку проекта	67
12.4 Оценка экономической эффективности спроектированных средств РЗ.	70
Релейная защита линии 110 кВ «Хоргос- Сухой Порт»	70
12.4.1 Ущерб при отсутствии на объекте РЗА	70
12.4.2 Ущерб при установке современных моделей защит	72
12.4.3 Затраты на внедрение и содержание устройств РЗ	76
13. Социальная ответственность	79
13.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	79
13.1.1 Микроклимат в помещении	81
13.1.2 Запыленность помещения	83
13.1.3 Освещенность	85
13.1.4 Электромагнитные поля	89
13.2 Экологическая безопасность (охрана окружающей среды)	92
13.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	94

13.3.1 Чрезвычайные ситуации	94
13.3.2 Пожарная безопасность	96
13.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
Заключение	103
Список литературы	104

Введение

Системы электроснабжения - это сложный производственный комплекс, все элементы которого участвуют в едином производственном процессе, основными специфическими особенностями которого является быстротечность явлений и неизбежность повреждений аварийного характера. Поэтому надежное и экономичное функционирование систем электроснабжения возможно только при автоматическом управлении ими. Для этой цели используется комплекс автоматических устройств, среди которых первостепенное значение имеют устройства релейной защиты и автоматики. Увеличение потребления электроэнергии и усложнение схем электроснабжения требуют постоянного совершенствования этих устройств.

Таким образом замена, реконструкция и модернизация 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), достижения простоты технического и оперативного обслуживания и других параметров на сегодняшний день актуальна.

В данном дипломном проекте предлагаются решения по проектированию комплексов релейной защиты линии электропередач 110 кВ Хоргос- Сухой Порт и трансформатора ПС Сухой Порт на основе микропроцессорных терминалов 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.

Рабочие методы для достижения поставленной цели - расчетные и графоаналитические методы. Моделирование энергосистемы и расчет токов коротких замыканий (ТКЗ) были осуществлены программным комплексом АРМ СРЗА. Также использованы пакет программ MS Office для оформления пояснительной записки, AutoCad для создания чертежей схем района и защит.

Принимая во внимание, что схема подстанции не имеет линий первой и второй периферий, расчет токов короткого замыкания для линии 110 кВ свелся к определению токов на шинах 110 кВ в конце, в начале линии и за трансформатором 40 МВА, что намного упростило выбор уставок защит. Кроме трех ступеней дистанционной защиты были введена пятая ступень для обеспечения дальнего резервирования действия защит и для выявления качаний в системе. Ступень ZIB необходима при опробовании линии после автоматического повторного включения для ускорения его действия, что немаловажно в данном районе сети.

Для более надежного функционирования защит трансформатора в составе терминала 7UT613 была введена функция блокирования токовой защиты нулевой последовательности по 2 гармонике, которая предназначена для отстройки от бросков токов намагничивания.

В ходе расчетов уставок максимальной токовой защиты от междуфазных коротких замыканий было выявлено, что чувствительность первой ступени недостаточна, поэтому была введена функция мгновенного отключения при больших токах повреждения.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-9401	Зонтов Павел Павлович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- оклад доцента, инженера - стоимость оборудования и материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- срок службы оборудования и материалов - норма амортизационных отчислений
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- ставка налога на прибыль - норма социальных отчислений

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	оценка технического уровня новшества
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- планирование выполнения проекта - определение трудоемкости поэтапного выполнения работ
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	расчет: - материальных затрат на проектирование и амортизационные отчисления - затрат на оплату труда и социальных отчислений, накладных и прочих расходов.
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	расчет капитальных вложений в проект
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	- определение экономического эффекта от внедрения ИР - расчет основных показателей экономической эффективности ИР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коршунова Л.А	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9401	Зонтов Павел Павлович		

12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Экономическая эффективность спроектированных релейных защит и автоматики воздушной линии электропередач 110 кВ Хоргос - Сухой Порт и трансформатора ТДТН-40000/110 ПС Сухой Порт.

12.1 Характеристика объекта

Целью внедрения современной релейной защиты и автоматики подстанции «Сухой Порт» Хоргосэнерго является установка современного оборудования. Это позволит повысить надежность электроснабжения потребителей путем снижения числа отказов и излишних срабатываний защит, а так же снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии, повреждения силового электрооборудования.

Для обоснования реконструкции необходимо оценить технический уровень проекта, определить капитальные вложения в проектирование реконструкции релейной защиты, стоимость оборудования и его монтажа, рассчитать экономический эффект от внедрения проекта, определить показатели эффективности предложенного решения.

12.2 Оценка технического уровня

Для оценки технического уровня проекта сравним предложенный к установке терминал микропроцессорных защит производства SIEMENS «Siprotec» с аналогичным по назначению терминалом производства НТЦ «Механотроника» по ряду важнейших технических параметров. Так же необходимо произвести сравнение с соответствующими параметрами потребности, необходимыми для заказчика (потребителя). Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приведем в таблице 3.

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 3. Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателей	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:

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

где K_{ny} – 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.

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

12.3 Расчет затрат на проектирование

12.3.1 Планирование комплекса работ

Капитальные вложения в проектирование релейной защиты выбранного объекта напряжением 110 кВ складываются из стоимости проектирования релейной защиты, из затрат на монтаж и наладку оборудования (комплектов защит) и из стоимости самого оборудования:

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

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

$K_{оборуд}$ - стоимость комплектов защит;

$K_{монтаж}$ - 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.

12.3.2 Поэтапное распределение проекта

Для проектирования были задействованы исполнители: научный руководитель проекта (НР) – доцент 15 разряда (15 р.) кафедры «Электроэнергетические системы (ЭЭС)»; инженер (И) 10 разряда (10 р.) – дипломирующийся студент.

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

Таблица 4. Комплекс работ по разработке проекта

№ раб.	Перечень работ	Исполнители	Продолжительность работ, дней	Загрузка дни
Подготовительный этап				
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Инженер Руководитель	1	1 1
2	Составление и утверждение технического задания проекта	Инженер Руководитель	3	3 1
3	Подбор и изучение литературы	Инженер	3	3
Исследование и анализ предметной области				
4	Анализ схемы энергорайона	Инженер Руководитель	2	2 1
5	Составление схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Введение в базу данных АРМ СРЗА информации о заданном объекте	Инженер Руководитель	4	4 1
Расчет релейной защиты в комплексе АРМ СРЗА				
6	Расчет ступенчатой токовой защиты для линии и трансформатора	Инженер	6	6 1
7	Расчет дистанционной защиты линии	Инженер	5	5
8	Расчет токовых защит на сторонах ВН,СН и НН трансформатора	Инженер	4	4
9	Расчет дифференциальной защиты трансформатора	Инженер	3	3
Оформление документации и подготовка к сдаче проекта				
10	Анализ полученных результатов	Инженер	3	3 1
11	Сдача электронного варианта разработки	Инженер	2	1
12	Анализ и расчеты производственной и экологической безопасности, технико-экономического обоснования проекта	Инженер	5	5
13	Написание пояснительной записки	Инженер	14	14
14	Оформление графического материала	Инженер	3	3
	Итого	Инженер Руководитель	58 6	

12.3.3 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 5 лет. Время работы за компьютером 54 дней. Таким образом амортизация за весь период проектирования:

Амортизационные издержки 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).

Таким образом:

$$I_{AM} = \frac{C_{перв} \cdot n}{365 \cdot t} = \frac{30000 \cdot 54}{365 \cdot 5} = 887 \text{ рублей.}$$

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:

$$I_{ЗП} = (ЗП_0 * K_1) * K_2$$

где: $ЗП_0$ – месячный оклад исполнителя (для инженера 14500 руб., для руководителя (доцента) 32000 руб.);

K_1 - коэффициент учитывающий отпуск, принимается равным 1,16;

K_2 - районный коэффициент, принимается равным 1,3;

Фактическая заработная плата рассчитывается следующим образом:

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

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 5.

Таблица 5. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Зарплата за месяц, руб.	Фактическая зарплата, руб.
Инженер	20358	56226,8
Научный руководитель	48250	13785,7
Итого		70012,5

Таким образом, затраты на оплату труда для 2-х участников проектирования за весь период составляют $I_{ЗП}^{\Phi} = 70012,5$ рублей.

г) Социальные отчисления от заработной платы

Отчисления во внебюджетные фонды включают в себя отчисления в различные фонды (пенсионный, обязательного медицинского страхования и др.), которые составляют 26 % от суммы заработной платы (ЗП).

$$I_{СО} = 0,26 \cdot I_{ЗП}^{\Phi} = 0,26 \cdot 70012,5 = 18203,25 \text{ руб.}$$

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:

$$I_{PP} = I_{MЗ} + I_{AM} + I_{ЗП}^{\Phi} + I_{CO} = (800 + 887 + 70012,5 + 18203,5) \cdot 0,1 = 8990,3$$
 рублей.

е) Накладные расходы

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

$$I_{НР} = I_{ЗП}^{\Phi} \cdot 2 = 70012,5 \cdot 2 = 140025$$
 рублей.

Все вышеперечисленные затраты включаются в смету, которая приведена в таблице 6.

Таблица 6. Смета затрат на разработку

Элементы затрат	Условное обозначение	Сумма руб.
Материальные затраты	$I_{MЗ}$	800
Амортизация компьютерной техники	I_{AM}	887
Затраты на оплату труда	$I_{ЗП}^{\Phi}$	70012,5
Социальные отчисления	I_{CO}	18203,5
Прочие затраты	I_{PP}	8990,3
Накладные расходы	$I_{НР}$	140025
Себестоимость проекта:	$C_{ПЛ}$	238918,3
Прибыль	$П$	56862,55
Договорная цена	$Ц_{Д}$	295780,85

Таким образом, затраты на реализацию проекта составили 295780,85 рублей.

12.4 Оценка экономической эффективности спроектированных средств РЗ.

Релейная защита линии 110 кВ «Хоргос- Сухой Порт»

Экономическая эффективность релейной защиты определяется предотвращённым 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_{K3}) (разрушение может заключаться в физическом ущербе и режимном разрушении, вследствие снижения напряжения прямой последовательности), ущерба от небаланса активной мощности в узлах, объединенных автоматизируемым элементом ($Y_{H\bar{O}}$) и ущерба от прекращения перетоков (Y_n):

$$Y = Y_{K3} + Y_{H\bar{O}} + Y_n$$

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:

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

В итоге имеем:

$$\mathcal{E} = Y_{K3} + Y_{H\bar{O}} + Y_n - Y_{ИС}^{PZA} - Y_{ЛС}^{PZA} - Y_{OC}^{PZA} - C^{PZA}.$$

12.4.1 Ущерб при отсутствии на объекте РЗА

1) ущерб, обусловленный разрушительным действием КЗ на линии

$$Y_{K3} = C_{K3} \cdot \omega_{л}^0 \cdot t_p \cdot q_{л},$$

где C_{K3} – цена восстановления линии после аварийного разрушения вследствие протекания тока КЗ, может быть оценена как стоимость сооружения одного пролета линии, $C_{K3} = 450$ тыс. руб.;

$\omega_{л}^0$ – параметр потока КЗ на линии, принимается равным параметру потока повреждения линии, который находится как произведение удельной величины данного потока на 100 км линии данного класса напряжения $\omega_{и}^0$ на длину линии «Хоргос – Сухой Порт» $L=11,5$ км, т.е.

$$\omega_{л}^0 = \omega_{и}^0 \cdot L/100 = 1 \cdot 11,5/100 = 0,115 \text{ 1/год};$$

где $\omega_{и}^0$ – параметр потока повреждений 100 км линии, равен 1,00;

t_p – расчетный срок = 1 год;

$q_{л}$ - вероятность включенного состояния линии (отсутствия планового ремонта), на рассматриваемой линии:

$$q_{л} = 1 - p_{л}^{\text{п}} = 1 - \omega_{л}^{\text{п}} \cdot m(\Gamma^{\text{п}})_{л},$$

где $p_{л}^{\text{п}}$ и $m(\Gamma^{\text{п}})_{л}$ – вероятность и средняя продолжительность планового ремонта линии; $\omega_{л}^{\text{п}}$ - параметр потока вывода линии в плановый ремонт.

Показатели $\omega_{л}^{\text{п}}$ и $m(\Gamma^{\text{п}})_{л}$ вычисляются через параметры потока и средние продолжительности соответственно текущего $\omega_{л}^{\text{пт}}$, $m(\Gamma^{\text{пт}})_{л}$ и капитального $\omega_{л}^{\text{пк}}$, $m(\Gamma^{\text{пк}})_{л}$ ремонтов:

$$\omega_{л}^{\text{п}} = \omega_{л}^{\text{пт}} = 1,$$

$$m(\Gamma^{\text{п}})_{л} = [\omega_{л}^{\text{пк}} \cdot m(\Gamma^{\text{пк}})_{л} + (\omega_{л}^{\text{пт}} - \omega_{л}^{\text{пк}}) \cdot m(\Gamma^{\text{пт}})_{л}] / \omega_{л}^{\text{п}},$$

$$\omega_{л}^{\text{пк}} = 0,18 \text{ 1/год},$$

$$m(\Gamma^{\text{пт}})_{л} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ год}, \quad m(\Gamma^{\text{пк}})_{л} = 37 \cdot 10^{-3} \text{ год},$$

$$m(\Gamma^{\text{п}})_{л} = \frac{0,18 \cdot 37 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,18) \cdot 3,4 \cdot 10^{-3}}{1} = 0,00944 \text{ год},$$

$$q_{л} = 1 - p_{л}^{\text{п}} = 1 - \omega_{л}^{\text{п}} \cdot m(\Gamma^{\text{п}})_{л} = 1 - 1 \cdot 0,00944 = 0,99056.$$

Ущерб, обусловленный разрушительным действием КЗ на линии:

$$Y_{\text{КЗ}} = \Pi_{\text{КЗ}} \cdot \omega_{л}^{\text{о}} \cdot t_{\text{р}} \cdot q_{л} = 450000 \cdot 0,115 \cdot 0,99056 \cdot 1 = 445752 \text{ руб.}$$

2) ущерб, от небаланса активной мощности

$$Y_{\text{НБ}} = q_{л} \cdot \omega_{л}^{\text{о}} \cdot (p_1 \Pi_1 + p_2 \Pi_2) \cdot t_{\text{р}},$$

где $t_{\text{р}} = 1$ год - расчётный период;

$$\omega_{л}^{\text{о}} = 1,85 \text{ 1/год},$$

$q_{л} = 0,99056$ – вероятность отсутствия планового ремонта на линии,

$p_1 = p_2 = p(A_i/\text{эл}, r, s)$ - вероятность перехода КЗ на линии в общеузловую аварию (принимается в расчетах равной 0,5);

$\Pi_i = a \cdot m(N_i) \cdot m(\Gamma^{\text{п}})_i$ - цены единых общеузловых аварий объединяемых узлов,

$a = 2$ руб./кВт·ч - стоимость 1 кВт·часа недоотпущенной электроэнергии, обусловлена исками предприятий в случае аварийного прекращения электроснабжения и другими причинами.

$m(N_i)$ - средние значения втекающей активной мощности в i -ый узел ($m(N_{359}) = 6,8$ МВт, $m(N_{361}) = 6,8$ МВт);

$m(\Gamma^{\text{п}}) = 1$ час – продолжительность ликвидации общеузловых аварий.

Ущерб, от небаланса активной мощности:

$$Y_{\text{НБ}} = 0,99056 \cdot 0,115 \cdot (0,5 \cdot 2 \cdot 6,8 \cdot 10^3 \cdot 1 + 0,5 \cdot 2 \cdot 6,8 \cdot 10^3 \cdot 1) \cdot 1 = 1,549 \text{ тыс. руб.}$$

3) ущерб от прекращения перетока активной мощности по защищаемому элементу

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

где $q_{\Pi} = 0,99056$ – вероятность отсутствия планового ремонта на линии;

$$a = 2 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч};$$

$m(N_{ijk})$ – среднее значение мощности, протекающей по элементу и недоотпущенной, вследствие его потери ($m(N_{359})=6,8$ МВт);

$m(T^0) = 0,438$ часа – средняя продолжительность оперативных переключений.

$$Y_{\Pi} = 0,99056 \cdot 2 \cdot 6,8 \cdot 10^3 \cdot 0,438 = 5,9 \text{ тыс. руб.}$$

Сведем результаты расчетов в таблицу 7:

Таблица 7. Составляющие базового ущерба

Составляющая	Величина, тыс. руб.
$Y_{\text{кз}}$	445,752
$Y_{\text{нб}}$	1,549
Y_{Π}	5,9

12.4.2 Ущерб при установке современных моделей защит

1) Ущерб, обусловленный отказами срабатывания РЗ:

$$Y_{\text{ос}}^{\text{РЗ}} = (q^{\Pi} q_p^{\Pi} p p_p + p^{\Pi} q_p^{\Pi} p_p + q^{\Pi} p_p^{\Pi} p) \cdot (Y_{\text{кз}} + Y_{\text{нб}})$$

где q^{Π} и q_p^{Π} – вероятности отсутствия планового ремонта основной и резервной защит соответственно

$$q^{\Pi} = 1 - p^{\Pi} = 1 - 0,0000685 = 0,99993 \quad q_p^{\Pi} = 1 - p_p^{\Pi} = 1 - 0,0000685 = 0,99993$$

$p^{\Pi} = \omega^{\Pi} m(T^{\Pi})$ и $p_p^{\Pi} = \omega_p^{\Pi} m(T_p^{\Pi})$ – вероятности планового ремонта основной и резервной защит соответственно ($p^{\Pi} = 0,05 \cdot 0,00137 = 0,0000685$

$$p_p^{\Pi} = 0,05 \cdot 0,00137 = 0,0000685),$$

ω^{Π} и ω_p^{Π} – параметры потоков планового ремонта ($\omega^{\Pi} = \omega_p^{\Pi} = 0,05$ 1/год),

$m(T^{\Pi})$ и $m(T_p^{\Pi})$ – средние продолжительности планового ремонта основной и резервной РЗ ($m(T^{\Pi}) = m(T_p^{\Pi}) = 0,00137$ года),

p и p_p – вероятности состояний основной и резервной РЗ, которые характеризуют пропуск аварийных ситуаций, определяются как произведения параметров потоков ω и ω_p выхода в данные состояния на средние продолжительности $m(T_o)$ и $m(T_p)$ пребывания в них, т.е. $p = \omega m(T_o)$, $p_p = \omega_p m(T_p)$,

$$(p = 0,00182 \cdot 6,34 \cdot 10^{-10} = 1,15 \cdot 10^{-12}, p_p = 0,00455 \cdot 1,59 \cdot 10^{-8} = 7,235 \cdot 10^{-11}),$$

$m(T_o)$ и $m(T_p)$ определяются уставками по времени основной и резервной защит ($m(T_o) = 6,34 \cdot 10^{-10}$ года, $m(T_p) = 1,59 \cdot 10^{-8}$ года),

$\omega = p(O/H) \cdot \omega_n$ и $\omega_p = p(O_p/H) \cdot \omega_{np}$ – параметры потоков отказов срабатывания, которые при использовании РЗ с гарантированной чувствительностью определяются только за счет аппаратных отказов

$$(\omega = 0,1 \cdot 0,0182 = 0,00182 \text{ 1/год } \omega = 0,1 \cdot 0,0455 = 0,00455 \text{ 1/год}),$$

$p(O/H)$, $p(O_p/H)$ – условные вероятности отказов основной O и резервной O_p РЗ при неправильной H работе РЗ в случае ее достаточной чувствительности ($p(O/H)$, $p(O_p/H) = 0,1$),

$\omega_n = 1/m(T_n)$ и $\omega_{np} = 1/m(T_{np})$ – параметры потоков неправильных действий основной и резервной РЗ ($\omega_n = 0,0182$ 1/год $\omega_{np} = 0,0455$ 1/год),

$m(T_n)$ и $m(T_{np})$ – средние периодичности между неправильными действиями основной и резервной РЗ.

Тогда ущерб, обусловленный отказами срабатывания (пропусками аварий) РЗ:

$$Y_{oc}^{P3} = (0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 1,15 \cdot 10^{-12} \cdot 7,235 \cdot 10^{-11} + 0,0000685 \cdot 0,99993 \cdot 7,235 \cdot 10^{-11} + 0,99993 \cdot 0,0000685 \cdot 1,15 \cdot 10^{-12})(445,752 + 1,549) = 2,252 \cdot 10^{-12} \text{ тыс. руб.}$$

Принимаем $Y_{oc}^{P3} = 0$.

2) ущерб, вследствие излишних срабатываний:

$$Y_{и}^{P3} = \left[q^n q_p^n q_{p} (\omega_n + \omega_{pn}) + (q^n q_p^n p + q_p^n p^n) q_p \omega_{pn} + (q^n q_p^n p_p + q_p^n p_p^n) q \omega_n \right] Y_{п} t_p \quad \text{где}$$

q^n и q_p^n – вероятности отсутствия планового ремонта основной и резервной защит соответственно

$$(q^n = 1 - p^n = 1 - 0,00137 = 0,99993 \quad q_p^n = 1 - p_p^n = 1 - 0,00137 = 0,99993),$$

$p^n = \omega^n m(T^n)$ и $p_p^n = \omega_p^n m(T_p^n)$ – вероятности планового ремонта основной и резервной защит соответственно ($p^n = 0,05 \cdot 0,00137 = 0,0000685$, $p_p^n = 0,05 \cdot 0,00137 = 0,0000685$),

ω^n и ω_p^n – параметры потоков планового ремонта ($\omega^n = \omega_p^n = 0,05$ 1/год),

$m(T^n)$ и $m(T_p^n)$ - средние продолжительности планового ремонта основной и резервной РЗ ($m(T^n) = m(T_p^n) = 0,00137$ года),

$\Omega_{и}$, $\Omega_{ри}$ - параметры потоков излишних действий основной и резервной (индекс «р») защит:

$$\omega_{и} = p(I/H) \cdot \omega_{н} = 0,4 \cdot 0,0182 = 0,0073 \text{ 1/год},$$

$$\omega_{ри} = p(I_p/H) \cdot \omega_{нр} = 0,4 \cdot 0,0455 = 0,0182 \text{ 1/год}.$$

$p(I/H)$ и $p(I_p/H)$ - условные вероятности излишних действий основной (И) и резервной (И_р) РЗ при неправильной (Н) работе РЗ в случае ее достаточной чувствительности ($p(I/H) = p(I_p/H) = 0,4$),

q и q_p - вероятности состояний основной и резервной РЗ, в которых они не пропускают аварийные ситуаций ($q = 1 - p = 1 - 4,56 \cdot 10^{-12} \approx 1$ и $q_p = 1 - p_p = 1 - 2,89 \cdot 10^{-10} \approx 1$),

p и p_p - вероятности состояний основной и резервной РЗ, которые характеризуют пропуск аварийных ситуаций, определяются как произведения параметров потоков Ω и Ω_p выхода в данные состояния на средние продолжительности $m(T_o)$ и $m(T_p)$ пребывания в них, т.е. $p = \Omega m(T_o)$, $p_p = \Omega_p m(T_p)$,

$$(p = 0,0072 \cdot 6,34 \cdot 10^{-10} = 4,56 \cdot 10^{-12}, p_p = 0,0182 \cdot 1,59 \cdot 10^{-8} = 2,89 \cdot 10^{-10}),$$

$m(T_o)$ и $m(T_p)$ определяются уставками по времени основной и резервной защит ($m(T_o) = 6,34 \cdot 10^{-10}$ года, $m(T_p) = 1,59 \cdot 10^{-8}$ года),

$\omega = p(I/H) \cdot \omega_{н}$ и $\omega_p = p(I_p/H) \cdot \omega_{нр}$ - параметры потоков излишних срабатываний:

$$(\omega = 0,4 \cdot 0,0182 = 0,00728 \text{ 1/год}, \omega_p = 0,4 \cdot 0,0455 = 0,0182 \text{ 1/год}),$$

$\omega_{н} = 1/m(T_{н})$ и $\omega_{нр} = 1/m(T_{нр})$ - параметры потоков неправильных действий основной и резервной РЗ ($\omega_{н} = 0,0182 \text{ 1/год}$ $\omega_{нр} = 0,0455 \text{ 1/год}$),

$m(T_{н})$ и $m(T_{нр})$ - средние периодичности между неправильными действиями основной и резервной РЗ.

$Y_{н}$ - ущерб от прекращения перетока по защищаемому элементу ($Y_{н} = 5,9$ тыс. руб.).

$$t_p = 1 \text{ год},$$

Получаем ущерб, вследствие излишних срабатываний:

$$Y_{\text{и}}^{\text{PЗ}} = \left[\begin{aligned} &0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0,0073 + 0,0182) + \\ &+ (0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 1,15 \cdot 10^{-12} + 0,99993 \cdot 0,0000685) 1 \cdot 0,0182 + \\ &+ (0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 7,235 \cdot 10^{-11} + 0,99993 \cdot 0,0000685) 1 \cdot 0,0073 \end{aligned} \right] \cdot 5,9 \cdot 1 = \\ = 0,147 \text{ тыс. руб.}$$

3) ущерб, вследствие ложных срабатываний:

$$Y_{\text{л}}^{\text{PЗ}} = \left[q^{\text{п}} q_{\text{р}}^{\text{п}} q q_{\text{р}} (\omega_{\text{л}} + \omega_{\text{рл}}) + (q^{\text{п}} q_{\text{р}}^{\text{п}} p + q_{\text{р}}^{\text{п}} p^{\text{п}}) q_{\text{р}} \omega_{\text{рл}} + (q^{\text{п}} q_{\text{р}}^{\text{п}} p_{\text{р}} + q^{\text{п}} p_{\text{р}}^{\text{п}}) q \omega_{\text{л}} \right] Y_{\text{п}} t_{\text{р}} \quad \text{где}$$

$\omega_{\text{л}}$, $\omega_{\text{рл}}$ - параметры потоков ложных действий основной и резервной (индекс «р»)

защит:

$$\omega_{\text{л}} = p(\text{Л} / \text{Н}) \cdot \omega_{\text{н}} = 0,5 \cdot 0,0182 = 0,00911 / \text{год} ,$$

$$\omega_{\text{рл}} = p(\text{Л}_{\text{р}} / \text{Н}) \cdot \omega_{\text{нр}} = 0,5 \cdot 0,0455 = 0,0231 / \text{год} .$$

$p(\text{Л} / \text{Н})$ и $p(\text{Л}_{\text{р}} / \text{Н})$ - условные вероятности ложных действий основной Л и резервной Л_р РЗ при неправильной Н работе РЗ в случае ее достаточной чувствительности ($p(\text{Л} / \text{Н}) = p(\text{Л}_{\text{р}} / \text{Н}) = 0,5$).

q и $q_{\text{р}}$ - вероятности состояний основной и резервной РЗ, в которых они не пропускают аварийные ситуаций ($q = 1 - p = 1 - 5,77 \cdot 10^{-12} \approx 1$ и $q_{\text{р}} = 1 - p_{\text{р}} = 1 - 3,617 \cdot 10^{-10} \approx 1$),

p и $p_{\text{р}}$ - вероятности состояний основной и резервной РЗ, которые характеризуют пропуск аварийных ситуаций, определяются как произведения параметров потоков ω и $\omega_{\text{р}}$ выхода в данные состояния на средние продолжительности $m(T_o)$ и $m(T_p)$ пребывания в них, т.е. $p = \omega m(T_o)$, $p_{\text{р}} = \omega_{\text{р}} m(T_p)$,

$$(p = 0,0091 \cdot 6,34 \cdot 10^{-10} = 5,77 \cdot 10^{-12}, p_{\text{р}} = 0,02275 \cdot 1,59 \cdot 10^{-8} = 3,617 \cdot 10^{-10}) ,$$

$m(T_o)$ и $m(T_p)$ определяются уставками по времени основной и резервной защит ($m(T_o) = 6,34 \cdot 10^{-10}$ года, $m(T_p) = 1,59 \cdot 10^{-8}$ года),

$\omega = p(\text{Л} / \text{Н}) \cdot \omega_{\text{н}}$ и $\omega_{\text{р}} = p(\text{Л}_{\text{р}} / \text{Н}) \cdot \omega_{\text{нр}}$ - параметры потоков ложных срабатываний:

$$(\omega = 0,5 \cdot 0,0182 = 0,00911 / \text{год}, \omega_{\text{р}} = 0,5 \cdot 0,0455 = 0,02275 / \text{год}),$$

Остальные величины аналогичны величинам при расчете излишних срабатываний.

Ущерб, вследствие ложных срабатываний:

$$Y_{Л}^{PЗ} = \left[\begin{aligned} &0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0,0091 + 0,023) + \\ &+ \left(0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 1,15 \cdot 10^{-12} + 0,99993 \cdot 0,0000685 \right) 1 \cdot 0,023 + \\ &+ \left(0,99993 \cdot 0,99993 \cdot 7,235 \cdot 10^{-11} + 0,99993 \cdot 0,0000685 \right) 1 \cdot 0,0091 \end{aligned} \right] \cdot 5,9 \cdot 1 =$$

$$= 0,18 \text{ тыс. у.д.е.}$$

Таблица 8. Численные значения составляющих экономического эффекта

Составляющая	Величина, тыс. руб.
$Y_{OC}^{PЗ}$	0
$Y_{И}^{PЗ}$	0,147
$Y_{Л}^{PЗ}$	0,18

12.4.3 Затраты на внедрение и содержание устройств PЗ

Стоимость проектирования, оборудования, установки и наладки средств PЗ:

$$K = K_{пр} + K_{об} + K_{ун} = 234095 + 2000000 + 172000 = 2406095 \text{ руб.},$$

где $K_{пр}=234,095$ тыс. руб. – стоимость проектирования;

$K_{об}$ – стоимость релейной защиты (шкаф 7SA611 – 2 комплекта защит: основная защита и резервная, $2 \cdot 1000$ тыс. руб. Итого: 2000 тыс. руб.);

Таблица 9. – Смета затрат на оборудование

Наименование	количество, шт.	стоимость, тыс руб.
Шкаф Siprotec 7SJ622	1	1000
Шкаф Siprotec 7UT613	1	1000
Итого		2000

Монтаж, наладка оборудования составляет 15-20% от стоимости оборудования.

$K_{ун.н.}=0,2 \cdot K_{об}=172$ тыс. руб. – стоимость установки и наладки комплектов защиты.

Проведя анализ всех данных, найдем экономический эффект для комплектов защиты SIPROTEC

Ущерб при отсутствии на объекте PЗА:

$$Y = Y_{КЗ} + Y_{НБ} + Y_{П} = 445 + 1,549 + 5,9 = 452,449 \text{ тыс. руб.}$$

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

$$Y_H^{P3A} = Y_{oc}^{P3} + Y_I^{P3A} + Y_L^{P3A} = 0 + 0,147 + 0,18 = 4,517 \text{ тыс.руб.}$$

Экономический эффект:

$$\mathcal{E} = Y - Y_H^{P3A} = 452449 - 4517 = 447932 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости составляет:

$$T_{ок} = K / \mathcal{E} = 2406095 / 447932 = 5.37 \text{ лет.}$$