

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

Институт: Институт электронного обучения

Специальность: Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

Кафедра: ЭЭС

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
<b>Защита блока генератор-трансформатор Сургутской ГРЭС-1 Тюменской энергосистемы</b>

УДК\_621.316.925.1:621.311.21.002.5:621.313.12(571.12)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>3-9401</b>	<b>Игнатов Павел Игоревич</b>		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Кац Илья Маркович</b>	<b>К.Т.Н.</b>		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Коршунова Лидия Афанасьевна</b>	<b>К.Т.Н.</b>		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Амелькович Юлия Александровна</b>	<b>К.Т.Н.</b>		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ЭЭС</b>	<b>Сулайманов Алмаз Омурзакович</b>	<b>К.Т.Н.</b>		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Универсальные компетенции</b>		
<b>Р1</b>	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> 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>
<b>Р2</b>	<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>
<b>Р3</b>	<i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> 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>
<b>Р4</b>	<i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, с готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , 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>
<b>Профессиональные компетенции</b>		
<b>Р5</b>	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6)1, Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов

	деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	
<b>P6</b>	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> .
<b>P7</b>	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> .
<b>P8</b>	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

**Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы**  
**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт ИнЭО

Направление подготовки (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	<i>Игнатов Павел Игоревич</i>

Тема работы:

<b>Защита блока генератор-трансформатор Сургутской ГРЭС-1 Тюменской энергосистемы</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2016 г. № 577/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>База данных Тюменской энергосистемы в программном комплексе АРМ СРЗА                      Нормальная схема электрических соединений ПС «Сургут»</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>	<p>Разработка релейной защиты и автоматики энергоблока генератор-трансформатор, анализ экономических показателей эффективности внедрения устройств релейной защиты                      Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений                      Выбор измерительных трансформаторов                      Проектирование релейной защиты</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Приложение А. Схема эл.соединений блока генератор-трансформатор СГРЭС-1.</p>

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

*(с указанием разделов)*

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

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


<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кац Илья Маркович	К.Т.Н		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9401	Игнатов Павел Игоревич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_103\_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_10\_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_16\_\_\_\_\_ табл.,  
\_\_\_\_\_28\_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_1\_\_\_\_\_ прил.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА, ЭНЕРГБЛОК, МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ШКАФ, ТОК СРАБАТЫВАНИЯ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, ГЕНЕРАТОР, КЗ, АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ.

Объектом проектирования является релейная защита и автоматика (РЗА) блока генератор - трансформатор Сургутской ГРЭС-1 Тюменской энергосистемы.

Цель проекта это разработка релейной защиты и автоматики энергоблока генератор-трансформатор, анализ экономических показателей эффективности внедрения устройств релейной защиты, которые существенно повышают надежность и качество электроснабжения потребителей, а также рассмотрение вопросов производственной и экологической безопасности.

Спроектированная релейная защита блока генератор-трансформатор осуществляется на современных микропроцессорных устройствах производства ООО НПП «Экра».

Реконструкция устройств релейной защиты на основе отечественных микропроцессорных (МП) шкафов защит в настоящее время является актуальной задачей для энергетики страны, так как принципы построения и технические решения данных МП шкафов упрощает замену устаревшего оборудования и ускоряет адаптацию персонала, обслуживающего объект. Кроме функций релейной защиты, шкафы способны выполнять некоторые функции системной автоматики, определять места повреждения воздушных линий, «отслеживать ресурс» работы силовых элементов и т.д. Разработка и внедрение новых более совершенных алгоритмов защиты не требуют изменения аппаратной части защиты.

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;

РТ – реле тока;

НН – низшее напряжение;

ВН – высшее напряжение;

ГЗ – газовая защита;

РПН – регулирование под нагрузкой;

## Содержание

РЕФЕРАТ .....	6
Содержание .....	8
Введение .....	11
1. Формирование района энергосистемы с точки зрения релейной защиты и автоматики (РЗА).....	13
2 Анализ исходных данных и принятие предварительных проектных решений.....	15
2.1 Конфигурация, параметры схем элементов, установившихся режимов выбранного района энергосистемы	15
2.2 Принципы, виды и основные характеристики производимой фирмами аппаратуры РЗА	17
2.3 Принятие варианта решений по составу и номенклатуре РЗА заданных автоматизируемых объектов	22
3. Основные защиты блока генератор- трансформатор Сургутской ГРЭС-1.....	24
3.1 Продольная дифференциальная защита генератора	24
3.2 Дифференциальная защита трансформатора блока	28
4. Резервные защиты блока генератор - трансформатор Сургутской ГРЭС-1.....	34
4.1 Поперечная дифференциальная защита генератора	34
4.2 Защита от замыканий на землю в обмотке статора	34
4.3 Защита от замыканий на землю в обмотке ротора	38
4.4 Токовая защита обратной последовательности	39
4.5 Защита обмотки статора от симметричных перегрузок	42
4.6 Защита обмотки ротора генератора от перегрузок	45
4.7 Защита от потери возбуждения	48

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	
<i>Провер.</i>		<i>Кац И.М.</i>						
<i>Реценз.</i>					ЭНИН гр.3-9401 8			
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>								



4.8 Защита от асинхронного режима без потери возбуждения	50
4.9 Резервная дистанционная защита генератора от междуфазных КЗ	54
4.10 Защита от повышения напряжения	56
4.11 Контроль исправности цепей напряжения (КИН)	57
4.12 Газовая защита трансформатора	57
4.13 Защита от замыканий на землю в цепи обмотки низшего напряжения трансформатора	58
4.14 Дополнительная резервная токовая защита на стороне высшего напряжения	58
4.15 Защита от внешних коротких замыканий на землю	59
4.16 Защита от перевозбуждения трансформатора	61
4.17 Защита от частичного пробоя изоляции высоковольтных вводов трансформатора (КИВ)	63
5. Экономическая эффективность спроектированных релейных защит и автоматики .....	66
5.1 Расчет затрат на проектирование	66
5.1.1 Планирование комплекса работ	66
5.1.2 Оценка технического уровня новшества	66
5.1.2 поэтапное распределение проекта	70
5.1.3 Составление сметы затрат на разработку проекта	71
5.1.4. Затраты на оборудование	75
5.2 Оценка экономической эффективности спроектированных средств РЗ.	75
Релейная защита энергоблока генератор-трансформатор Сургутской ГРЭС-1 Тюменской энергосистемы	75
5.2.1 Ущерб при отсутствии на объекте РЗА	76
5.2.2 Ущерб при установке современных моделей защит	77
5.2.3 Затраты на внедрение и содержание устройств РЗ	77
6. Социальная ответственность .....	80
6.1 Характеристика объекта.	80

6.2 Производственная безопасность	80
6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.	80
6.4 Микроклимат в помещении.	81
6.4.1 Запыленность помещения.	84
6.4.2 Освещенность.	86
6.4.3 Электромагнитные поля.	89
6.5 Экологическая безопасность .	93
6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	94
6.6.1 Пожарная безопасность.	95
6.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	97
Заключение.....	101
Список использованной литературы .....	102

## Введение

При эксплуатации и проектировании любой электроэнергетической системы приходится учитывать возможность возникновения в ней ненормальных режимов работы и повреждений. Наиболее частыми и распространенными и самыми опасными повреждениями являются короткие замыкания (КЗ). Перегрузки являются одним из основных ненормальных режимов работы. Повреждения и ненормальные режимы работы могут приводить к возникновению аварий в системе. Причина возникновения аварий бывает весьма разнообразна, аварии в большинстве своем являются результатом своевременно не обнаруженных и не устраненных дефектов, неудовлетворительных проектирования, неправильного монтажа и эксплуатации. Для предотвращения возникновения аварии или развития их при повреждениях в электрической части энергосистемы, может быть обеспечено путем быстрого отключения поврежденного элемента. Поэтому электрические установки снабжены автоматическими действующими устройствами – предохранителями или релейной защитой.

Основная задача релейной защиты (РЗ) энерго-блоков, является обеспечение ее эффективного функционирования при любом виде повреждения, предотвращения нарушения устойчивости в системе, а также предотвращая развитие повреждений и значительных разрушений защищаемого объекта.

Для обеспечения этой задачи устройства РЗ должны обладать необходимыми для них свойствами, соответствующими основным требованиям: чувствительности, быстродействию, селективности и надежности. Поэтому внедрение микропроцессорных устройств, обладающих существенными преимуществами перед электромеханическими и микроэлектронными аналогами, является актуальной задачей при модернизации электрических станций.

Использование в устройствах автоматического управления последней микропроцессорной легкозаменяемой базы обеспечивает высокую точность измерений и постоянство характеристик, что существенно повышает быстродействие защит и чувствительность, а также уменьшает ступени селективности.

Алгоритмы функций защиты и автоматики, и также интерфейсы для внешних соединений устройства, разработаны по техническим требованиям к ранее разработанным системам РЗА, облегчающие персоналу перейти на новую технику, и обеспечивает совместимость с действующими устройствами.

В связи с необходимостью предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций и применения средств современных устройств РЗА для всех элементов электроэнергетической системы (ЭЭС), в представленной работе поставлена задача спроектировать релейную

защиту блока генератор-трансформатор Сургутской ГРЭС-1 Тюменской энергосистемы, которая в полной мере отвечала бы всем требованиям, предъявляемые правилами устройств электроустановок (ПУЭ).

Выбор и формирование района сети, включающий автоматизируемый объект, является следующим этапом для выполнения поставленной задачи. Этот выбор нужно осуществить так, чтобы была возможность достаточно полноценно спроектировать РЗА автоматизируемых объектов. На основе анализа исходных данных и принятых решений по выбору состава РЗА объекта выполняется расчет токов короткого замыкания, уставок срабатывания защит и проверка чувствительности. Для спроектированных устройств РЗА производится оценка экономической эффективности.

В процессе выполнения данного дипломного проекта были использованы следующие программные продукты: для расчета токов короткого замыкания и уставок, моделирования энергосистемы- АРМ СРЗА; для выполнения рисунков, чертежей – AutoCad, для арифметических расчетов- Mathcad, Microsoft Excel, для расчетов перетоков мощностей- Дакар.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-9401	Игнатов Павел Игоревич

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭЭС</b>
<b>Уровень образования</b>	Специалист	<b>Направление/специальность</b>	140203 Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов Стоимость оборудования</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации Размер оплаты труда</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления в социальные фонды</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Оценка технического уровня новшества</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Составление плана графика, определение трудоемкости работ</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Бюджет проектирования</i>
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Расчет капиталовложений</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Определение эффекта, и расчет показателей экономических эффективности.</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Основные показатели эффективности ИП

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Коршунова Л.А	Доцент, к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-9401	Игнатов Павел Игоревич		

## **5. Экономическая эффективность спроектированных релейных защит и автоматики**

### **5.1 Расчет затрат на проектирование**

#### **5.1.1 Планирование комплекса работ**

Капитальные вложения в проектирование релейной защиты выбранного объекта напряжением 500 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.

#### **5.1.2 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.

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приводятся в табл.5.

Таблица . Оценка технического эффекта новшества

Характеристики	Новшество-микропроцессорный шкаф ШЭ1113	Конкурент-электромеханическое реле типа ЭПЗ, ДЗТ
Система автоматического контроля, служащей для проверки работоспособности основных блоков и узлов	есть	нет
Защитные функции со специальными требованиями по подавлению высших гармонических составляющих	есть	нет
Емкость буфера памяти регистратора событий	До 1500 событий по времени с точностью 0,001с	-
Диапазон для одновременного осциллографирования	До 160 сигналов	-
Время отключения трехфазных коротких замыканий	От 0,3 с	От 0,5 с
Орган выдержки времени на возврат ( в УРОВ)	От 0,05 с	От 0,08 с
Смещение характеристики	есть	нет

срабатывания в случае недостаточной чувствительности		
Характеристика срабатывания диф.защиты генератора	С блокировкой при перегрузках	Без блокировок
Обеспечение надежной работы при больших токах КЗ ( в диф.защите)	Осуществляется введением уставки диф.отсечки	Не осуществляется
Защита ошиновки	Предусмотрена в двухтерминальном исполнении	Не предусмотрена
Передача информации об состоянии комплекса защит на удаленные пункты через специальные каналы связи	Есть (например, тип интерфейса связи RS-232)	нет
Готовность персонала, обслуживающий шкафы защит	Требуется обучение	Имеются специалисты
Длительность однократных перерывов питания	0,015 с без перезапуска терминала	0,065 с, возможно перезапуски панели

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 [2].



Таблица 6. Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателей	Новшество (Микропроцессорный шкаф ШЭ1113)		Конкурент (Электромеханическое реле типа ЭПЗ.ДЗТ)		Гипотетический объект	
	$d_i$	$P_i$	$q_i$	$P_i$	$q_i$	$P_{100}$	$q_{100}$
1. Время срабатывания, не менее, мс	0,2	50	0,40	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), $Q$		0,62		0,49		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.

$$K_{my} = \frac{Q_n}{Q_k} = \frac{0,62}{0,49} = 1,265$$

### 5.1.2 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 7 приведен перечень, длительность, исполнители и загрузка основных этапов и работ, имеющих место при проектировании РЗА участка сети.

Таблица 7. Комплекс работ по разработке проекта

аб.	Перечень работ	Исполнители	Продолжительность работ, дней	Загрузка дни
<b>Подготовительный этап</b>				
	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Инженер Руководитель	1	1 1
	Составление и утверждение технического задания проекта	Инженер Руководитель	3	3 1
	Подбор и изучение литературы	Инженер	3	3
<b>Исследование и анализ предметной области</b>				
	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	4	4 1
<b>Расчет релейной защиты в комплексе АРМ СРЗА</b>				
	Расчет токов коротких замыканий на шинах 500 кВ в максимальном режиме	Инженер	1	1 1
	счет токов коротких замыканий на шинах 500 кВ в минимальном режиме	Инженер	2	2
	Расчет токов коротких замыканий на шинах 15,75 кВ в максимальном режиме	Инженер	1	1

	Расчет токов коротких замыканий на шинах 15,75 кВ в минимальном режиме	Инженер	2	2
Оформление документации и подготовка к сдаче проекта				
0	Анализ полученных результатов	Инженер	10	10 1
1	Сдача электронного варианта разработки	Инженер	2	1
2	Анализ и расчеты производственной и экологической безопасности, технико-экономического обоснования проекта	Инженер	8	8
3	Написание пояснительной записки	Инженер	14	14
4	Оформление графического материала	Инженер	3	3
	Итого	Инженер Руководитель	56 6	

### 5.1.3 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- - социальные 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 850 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 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 8. 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

Таким образом:

$$I_{AM} = 2108,49 \text{ руб.}$$

#### **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:

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

где:  $ЗП_о$  – месячный оклад исполнителя (для инженера 16000 руб., для руководителя (доцента) 30000 руб. а также надбавка 2200 руб. к окладу руководителя);

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

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:

$$I_{3П}^{\Phi} = \frac{I_{3П}}{n_1} \cdot n_2,$$

где:  $I_{3П}$  – 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 6.

Таблица 9. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Зарплата за месяц, руб.	Фактическая зарплата, руб.
Инженер	24544	65450,6
Научный руководитель	48880	13966
Итого		79416,6

Таким образом, затраты на оплату труда для 2-х участников проектирования за весь период составляют  $I_{3П}^{\Phi} = 79416,6$  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 30 % от суммы заработной платы (ЗП).

$$I_{СО} = 0,3 \cdot I_{3П}^{\Phi} = 0,3 \cdot 79416,6 = 23825 \text{ руб.}$$

#### 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:

$$I_{ПР} = I_{МЗ} + I_{АМ} + I_{3П}^{\Phi} + I_{СО} = (850 + 887,67 + 79416,6 + 23825) \cdot 0,1 = 10497,9 \text{ рублей.}$$

### е) Накладные расходы

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

$$I_{НР} = I_{ЗП}^{\Phi} \cdot 2 = 79416,6 \cdot 2 = 158833 \text{ рублей.}$$

Договорная цена  $C_d$  может быть рассчитана по следующей формуле:

$$C_d = C_{пл} \cdot K_{ту},$$

где  $C_{пл}$  – плановая себестоимость разработки ;

$K_{ту}$  – коэффициент технического уровня, определенный ранее.

Все вышеперечисленные затраты включаются в смету, которая приведена в таблице 10.

Таблица 10. Смета затрат на разработку

Элементы затрат	Условное обозначение	Сумма руб.
Материальные затраты	$I_{МЗ}$	850
Амортизация компьютерной техники	$I_{АМ}$	887,67
Затраты на оплату труда	$I_{ЗП}^{\Phi}$	79416,6
Социальные отчисления	$I_{СО}$	23825
Прочие затраты	$I_{ПР}$	10498
Накладные расходы	$I_{НР}$	158833
Себестоимость разработки проекта	$C_{пл}$	274310,27
Прибыль	$П$	27431
Договорная цена	$C_d$	301741,27

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.

Таким образом, затраты на проектирование составили  $K_{проект} = 301741,27 \text{ руб.}$

#### 5.1.4. Затраты на оборудование

Стоимость монтажа, наладки и самого оборудования приведены в таблице 10.

Таблица 11. Затраты на оборудование.

Наименование	Стоимость, тыс. руб.
Микропроцессорный шкаф ШЭ1113	700
Монтаж и наладка шкафов защит	100
Итого	800

Таким образом капитальные вложения в проект составили:

$$K = K_{\text{проект}} + K_{\text{оборуд}} + K_{\text{монтаж}} = 301,7 + 700 + 100 = 1101,7 \text{ тыс руб.}$$

## 5.2 Оценка экономической эффективности спроектированных средств РЗ.

### Релейная защита энергоблока генератор-трансформатор Сургутской ГРЭС-1 Тюменской энергосистемы

Экономический эффект релейной защиты определяется предотвращенным ущербом вследствие внедрения средств РЗА:

$$\mathcal{E} = Y - Y^{\text{РЗА}}$$

где  $Y$  – экономический ущерб до внедрения средств РЗА;  $Y^{\text{РЗА}}$  – экономический ущерб после внедрения РЗА.

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

$$Y = Y_{\text{кз}} + Y_{\text{нб}} + Y_n$$

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:

$$Y^{\text{РЗА}} = Y_{\text{ос}}^{\text{РЗА}} + Y_{\text{ис}}^{\text{РЗА}} + Y_{\text{лс}}^{\text{РЗА}}$$

$$\mathcal{E} = Y_{\text{кз}} + Y_{\text{нб}} + Y_n - Y_{\text{ис}}^{\text{РЗА}} - Y_{\text{лс}}^{\text{РЗА}} - Y_{\text{ос}}^{\text{РЗА}} - \text{Иэкспл.}$$

$$\text{Иэкспл.} = \text{Иам.} + \text{Иобс.}$$

Приведем численные значения составляющих экономической эффективности

Таблица 12. Численные значения составляющих экономического эффекта.

Составляющая	Условное обозначение	Численное значение, тыс. руб.
Ущерб вследствие разрушительного действия токов КЗ	$Y_{кз}$	344,9
Ущерб от небаланса активной мощности в узлах, объединенных автоматизируемым элементом	$Y_{нб}$	18,96
Ущерб от прекращения перетоков	$Y_n$	5,54
Ущерб вследствие отказов срабатывания РЗ	$Y_{OC}^{PZA}$	0
Ущерб вследствие излишних срабатываний РЗ	$Y_{ИС}^{PZA}$	0,14
Ущерб вследствие ложных срабатываний РЗ	$Y_{ЛС}^{PZA}$	0,18
Расчетные эксплуатационные издержки	$I_{экспл}$	35,1

$$I_{экспл.} = I_{ам.} + I_{обс} = 37208.49$$

Таким образом:

$$\mathcal{E} = 344,9 + 18,96 + 5,54 - 0 - 0,14 - 0,18 - 37,2 = 336,1 \text{ тыс. руб}$$

### 5.2.1 Ущерб при отсутствии на объекте РЗА

- 1) ущерб, обусловленный разрушительным действием КЗ на энергоблоке:  $Y_{кз}$
- 2) ущерб, от небаланса активной мощности:  $Y_{нб}$
- 3) ущерб от прекращения перетока активной мощности по защищаемому элементу :  $Y_{п}$

Таблица 13. Составляющие базового ущерба

Составляющая	Величина, руб.
$Y_{кз}$	445752
$Y_{нб}$	148584
$Y_{п}$	7429,2



### 5.2.2 Ущерб при установке современных моделей защит

- 1) Ущерб, обусловленный отказами срабатывания РЗ:  $Y_{ос}^{PЗ}$
- 2) ущерб, вследствие излишних срабатываний:  $Y_{и}^{PЗ}$
- 3) ущерб от прекращения перетока активной мощности по защищаемому элементу : $Y_{п}$
- 4) ущерб, вследствие ложных срабатываний:  $Y_{л}^{PЗ}$

Составляющая	Величина, руб.
$Y_{ос}^{PЗ}$	0
$Y_{и}^{PЗ}$	189370
$Y_{п}$	7429,2
$Y_{л}^{PЗ}$	237,734

### 5.2.3 Затраты на внедрение и содержание устройств РЗ

Стоимость проектирования, оборудования, установки и наладки средств РЗ:

$$K = K_{пр} + K_{об} + K_{ун} = 301741,27 + 1850000 + 370000 = 2521741,3 \text{ руб.},$$

где  $K_{пр}=301741,27$  руб. – стоимость проектирования;

$K_{об}$  – стоимость релейной защиты (шкаф ШЭ1113, который включает в себя основные и резервные защиты блока генератор-трансформатор, трансформатора 250 МВА, генератора 200 МВА, стоимость шкафа равна 1850000 руб.

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

$K_{у.н.}=0,2 \cdot K_{об}=370000$  руб. – стоимость установки и наладки комплектов защиты.

Анализируя все данные, полученные ранее, имеем экономический эффект для комплектов защиты ШЭ1113:

$$Y = Y_{КЗ} + Y_{НБ} + Y_{п} = 445752 + 148584 + 7429,2 = 601765,2 \text{ руб.}$$

$$Y_{Н}^{PЗА} = Y_{ос}^{PЗ} + Y_{и}^{PЗА} + Y_{л}^{PЗА} = 0 + 189370 + 237,734 = 189607,734 \text{ руб.}$$

$$И_{экспл.} = И_{ам.} + И_{обс.} =$$

Экономический эффект капиталовложений:

$$\Theta = Y - Y_{Н}^{PЗА} - И_{экспл.} = 601765,2 - 189607,734 - 35100 = 377057,466 \text{ руб.}$$

*Срок окупаемости при  $E=0$  составляет:*

$T_{ок} = K / \dot{\mathcal{E}} = 2521741,3 / 377057,466 = 6,68$  лет, что для предприятий энергетического комплекса является приемлемым показателем.

Многочисленные расчеты по определению экономической эффективности реализации крупных инвестиционных проектов в электроэнергетической сфере показали, что в большинстве случаев продолжительность расчетного периода не должна превышать 15 лет (в технико-экономических расчетах можно принимать 10 лет).

*Нормативный коэффициент эффективности* капитальных вложений (определяется отношением результата от реализации инвестиционного проекта к затратам на его получение):

$$E = \dot{\mathcal{E}} / K = 377057,466 / 2521741,3 = 0,15.$$

Данный коэффициент используется для анализа инвестиционного проекта. Термин *нормативный* в определении показателя означает, что если затраты оправдают себя к определенному сроку, то проект будет эффективным, в противном же случае такой проект нанесет ущерб экономике. В современной экономике использует аналогичный показатель, социальная норма дисконта. *Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений*- это константа, которая обозначает минимально допустимую для общества и государства эффективность того или иного экономического проекта. Коэффициенты устанавливаются отдельно для различных отраслей, в нашем случае, для энергетической сферы - значения самые низкие и варьируются в пределах  $0,15 \div 0,18$ . Поэтому полученный нормативный коэффициент, равный 0,15 удовлетворяет требованиям экономической целесообразности.