

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



Институт Энергетический
Направление подготовки АБ.13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование электрической части КЭС и релейная защита блока «Генератор – Трансформатор» мощностью 100 МВт
УДК 621.316.925-047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А11	Фарафонов Денис Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдин С.М.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Ю.В.	к.т.н ДОЦЕНТ		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов.А.О	д.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях - потенциальных работодателях.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной.
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт ЭНИН

Направление подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭЭС

_____ Сулайманов.А.З

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А11	Фарафонов Денис Олегович

Тема работы:

Проектирование электрической части КЭС и релейная защита блока «Генератор – Трансформатор» мощностью 100 МВт

Утверждена приказом директора (дата, номер)

576/С от 01,02,2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Объектом проектирования является КЭС мощностью 400 МВт

В качестве исходных данных представлены:

1. Количество генераторов на станции, их параметры;
2. Параметры энергосистемы;
3. Электрическая схема объекта.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов		
Перечень графического материала		Структурная схема станции (приложение А) Схема подключения защит блока «Генератор – Трансформатор» (приложение Б) Диаграмма Ганта (приложение В)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Социальная ответственность		
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Коршунова Лидия Афанасьевна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику		15.01.2016

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
З-5А11	Фарафонов Денис Олегович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A11	Фарафонов Денис Олегович

Институт	ЭНИН	Кафедра	Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- стоимость материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоёмкость работы.
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- нормы амортизации; - размер минимальной оплаты труда.
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- отчисления в социальные фонды.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- формирование вариантов решения с учётом научного и технического уровня
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- планирование выполнения проекта; - расчёт бюджета на проектирование; - расчёт капитальных вложений в основные средства.
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- определение научно-технической эффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>График проведения НИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.04.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A11	Фарафонов Денис Олегович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A11	Фарафонов Денис Олегович

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроэнергетических систем
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	На электростанции возможно возникновение: – вредных проявлений факторов производственной среды (освещение, шумы, электромагнитные поля); – опасных проявлений факторов (механической природы (движущиеся части), термического характера и пожарной и взрывной природы (котел, система отопления), электрической природы (генератор, шины); – негативного влияния на атмосферу (выбросы) и гидросферу (техническая вода); чрезвычайных ситуаций (техногенного (потребители без электроэнергии) и стихийного (обрывы проводов из-за сильного ветра, землетрясения)
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ПУЭ 85, ГОСТ 12.1.002-84, ГОСТ 12.1.003–83, ГОСТ 12.1.005–88, ГОСТ 12.1.006–84, ССБТ, ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ, ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ, ГОСТ 17.4.3.04-85, НПБ 105-03, ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00, РД 2.2.2006-05, РД 34.03.604, РД 52.04.186, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.4.723-98

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства	Освещение: – снижение внимательности, ухудшение зрения; Шум: – снижение внимательности, сосредоточенности, ухудшение слуха; Электромагнитные поля: негативное воздействие на организм в целом. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (движущиеся части механизмов, станки); – термические опасности (система отопления, паропровод, котлы); – электробезопасность
--	--

защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	(электрооборудование, генераторы, трансформаторы, токоведущие части); пожаровзрывобезопасность (возгорание горючих веществ, взрывы складов, котлов).
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – наиболее типичная ЧС – поражение работника электрическим током. – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС – защитное заземление;
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.04.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Бородин Ю.В.	К.Т.Н. ДОЦЕНТ		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A11	Фарафонов Денис Олегович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа, состоящая из 93 страниц, 15 рисунков, 21 таблицы, 43 источников, 3 приложений.

Ключевые слова: электроэнергетика, КЭС, электрическая часть, турбогенераторы, трансформатор, выключатели, шины, релейная защита и автоматика, блок «генератор-трансформатор».

Цель работы - спроектировать электрическую часть электростанции, рассчитать режимы работы и выбрать устройства релейной защиты и автоматики блока «генератор-трансформатор».

В процессе работы использовались расчетные программные комплексы: «GTCURR», современные программные продукты Word, MathCAD, Excel, аналитические и графоаналитические расчетные методы.

В процессе исследования была спроектирована электрическая часть КЭС мощностью 400 МВт, а также релейная защита блока «Генератор – Трансформатор» мощностью 100 МВт

Содержание

Содержание.....	11
Введение.....	13
Обзор литературы.....	16
1. Характеристика КЭС, ее роль и место в энергосистеме.....	18
2. 2. Выбор типа турбогенераторов.....	19
3. 3. Выбор силовых трансформаторов и автотрансформаторов.....	25
4. Проектирование системы электроснабжения собственных нужд.....	27
5. Выбор схем электрических соединений распределительных устройств	29
6. Полное описание варианта и выбранного расчетного присоединения.	34
7. Определение расчетных условий для выбора аппаратуры и токоведущих частей по продолжительным режимам работы выбранного присоединения.....	34
8. Расчетные условия по режимам коротких замыканий.....	37
9. Выбор коммутационных аппаратов в цепях расчетного присоединения.....	40
9.1 Выбор выключателей.....	40
9.2 Выбор разъединителей.....	41
9.3 Выбор токоведущих частей цепей расчетного присоединения	42
10. Описание формы оперативного управления электрической частью объекта.....	45
11. Проектирование измерительной подсистемы.....	46
11.1 Выбор измерительных трансформаторов тока.....	46
11.2 Выбор измерительных трансформаторов напряжения.....	47
12. Релейная защита и автоматика блока «генератор-трансформатор».....	48
12.1 Выбор и обоснование устанавливаемых защит.....	48
12.2 Расчет уставок защит и оценка их чувствительности.....	51

12.2.1Защита генератора.....	51
12.2.2Защита трансформатора.....	61
13.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение.....	66
14.Социальная ответственность.....	67
Заключение.....	83
Приложение А.....	91
Приложение Б.....	92
Приложение В.....	93

Введение

Главная особенность электроэнергетических систем (ЭЭС) – жесткая взаимосвязь разнородных элементов и комплексов:

- электрическое оборудование: генераторы, двигатели, трансформаторы, реакторы, компенсаторы, многообразные нагрузки;
- линии электропередач;
- электромеханическое оборудование: паровые и газовые турбины, сочлененные с турбогенераторами, гидротурбины, сочлененные с гидрогенераторами;
- физико-химические энергетические преобразователи: котельные агрегаты, атомные реакторы, камеры сгорания газовых турбин; системы топливо приготовления на угольных электростанциях, транспортные системы и цеха, водохранилище и т.д.

Все элементы системы функционируют в условиях взаимозависимости параметров процессов в одних элементах от параметров процессов в других.

Во время проектирования и эксплуатации такой системы необходимо учитывать возможность возникновения в ней повреждений и ненормальных режимов работы. Короткие замыкания (КЗ) являются самыми распространёнными и опасными видами повреждений.

Повреждения и ненормальные режимы работы являются одной из основных причин возникновения аварий в энергосистеме, которые представляют собой вынужденные нарушения нормальной работы энергосистемы или её части, сопровождающиеся определённым недоотпуском энергии потребителям, недопустимым снижением её качества или выходом из строя основного оборудования.

Первопричины возникновения аварий различны, но в большинстве своём они являются результатом не обнаруженных и не устранённых дефектов оборудования, некачественных проектирования, монтажа и эксплуатации. Экономика нашей страны, в которой огромное значение имеет энергетика, требует бесперебойного электроснабжения потребителей. Поэтому следует стремиться к безаварийной работе. Для предотвращения возникновения и развития аварий, снижения ущерба необходимо быстро отключать поврежденные элемент.

По условиям обеспечения бесперебойной работы неповреждённой части системы и уменьшения размеров повреждения оборудования время отключения КЗ должно быть минимально возможным, часто это десятые или сотые доли секунды. Кроме того, из-за взаимосвязанности всех элементов энергосистемы, последствия коротких замыканий отражаются на работе значительной части системы, а не только поврежденного участка.

Дежурный персонал не в состоянии определить возникновение КЗ, найти его местоположение и дать сигнал на отключение выключателей поврежденного элемента в столь короткий промежуток. Поэтому данные действия выполняются автоматически, при помощи релейной защиты, осуществляющей защиту от повреждений и некоторых ненормальных режимов работы.

Устройства релейной защиты и системной автоматики в совокупности представляют собой сложную многоступенчатую систему, предназначенную для сохранения устойчивой работы синхронных генераторов и бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии. В настоящее время эксплуатируются устройства защиты элементов электроэнергетических систем, выполненные на электромеханической, микроэлектронной (линейные и логические интегральные микросхемы) и микропроцессорной элементной базе. Выполнить свою задачу эти устройства могут лишь в том случае, если они отвечают комплексу требований, изложенных в нормативных материалах. Соответствие реальных устройств

релейной защиты и автоматики (УРЗиА) этим требованиям обеспечивается, в основном, на стадии проектирования, которое при правильной его организации обязательно должно быть комплексным. Устойчивая бесперебойная работа ЭЭС возможна лишь при условии эффективного функционирования всех частей, входящих в комплекс УРЗиА.

При рассмотрении процессов в электрической части ЭЭС, на которые реагирует релейная защита и автоматика (РЗА), считается достаточным учитывать элементы электрической схемы (электрической сети) и участвующие в электромеханическом преобразовании энергии турбины.

Таким образом, работа электроустановок не может проходить нормально без средств РЗА, которые быстро обнаруживают место повреждения, возмущения, их последствия, локализуют их и подавляют распространение путем отключения, поврежденного или предельно-перегруженного элемента от электрической сети, форсируют системы управления нагруженных элементов.

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 решения поставленных задач использованы расчетно-аналитические и графические методы, методы логики, математической статистики и др. Реализация названных методов и алгоритмов осуществляется через пакеты прикладных программ, «Мустанг», «Mathcad» и др., имеющихся в математическом обеспечении кафедры электроэнергетических систем

Целью данного дипломного проекта является - проектирование электрической части и релейной защиты основного КЭС 2400 МВт.

Обзор литературы

В настоящее время в электроустановках используются устройства РЗА трех видов, которые отражают три поколения развития аппаратуры РЗА: электромеханические устройства, микроэлектронные и микропроцессорные. Наиболее современным является последний вид. Хотя количество внедренных микропроцессорных устройств в электроустановках незначительно, нет достаточного количества опубликованных учебных материалов, при проектировании РЗА необходимо обращаться как к более современным и перспективным микропроцессорным системам, микроэлектронным устройствам, так и проверенным временем электромеханическим устройствам.

Основные принципы релейной защиты, которые остаются неизменными, изложены в книге Н.В. Барабанов Ю. А [1]

Вспомогательной литературой при расчетах защит автотрансформаторов в данной работе применялись учебные пособия В. Н. Копьева [17], [16] издательства Томского политехнического университета.,.

При расчетах защит на электромеханических реле, основная литература это конечно - руководящие указания [10], [11], а для того чтобы правильно выбрать и рассчитать реле необходима книга таких авторов Р. А. Вайнштейн, В. В. Шестакова, Н. В. Коломиец. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П

Обязательные требования к релейной защите описаны в ПУЭ [13].

Устройства РЗА непрерывно совершенствуются, поэтому необходимо постоянно обновлять знания персонала для полноценной работы с современным оборудованием. Такую возможность предоставляют производители УРЗА, публикуя документацию на своих официальных сайтах. При расчете микропроцессорных систем в данной работе использовалась литература ООО НПП «ЭКРА». [14], [15].

Экономический раздел ВКР был рассмотрен на основе работ Коршуновой Л.А., Кузьминой Н.Г.[44].

Раздел «Социальная ответственность» был разработан с помощью нормативных документов, посвящённых теме безопасности жизнедеятельности[20-43].

1. Характеристика КЭС, ее роль и место в энергосистеме

На тепловых электростанциях химическая энергия сжигаемого топлива преобразуется в котле в энергию водяного пара, приводящего во вращение турбоагрегат (паровую турбину, соединенную с генератором). Механическая энергия вращения преобразуется генератором в электрическую. Топливом для электростанций служат уголь, торф, горючие сланцы, а также газ и мазут.

В данном курсовом проекте рассматривается электрическая часть конденсационной электростанции (КЭС) мощностью 400 МВт. На КЭС устанавливаются один турбогенератор мощностью 200 МВт и два турбогенератора мощностью по 100 МВт. Номинальное напряжение ОРУ ВН 220 кВ, ОРУ СН 110 кВ. Передача электроэнергии осуществляется по двум линиям напряжением 220кВ.

Конденсационные электростанции сооружают обычно вблизи мест добычи топлива, транспортировка которого на значительные расстояния экономически нецелесообразна. Вырабатываемая электроэнергия передается к местам потребления по линиям электропередачи. Однако использование местного топлива не является обязательным признаком конденсационной станции. Основными особенностями КЭС являются: удаленность от потребителей электроэнергии, что определяет в основном выдачу мощности на высоких и сверхвысоких напряжениях, и блочный принцип построения электростанции. Актуальность проектирования КЭС заключается в том, что их мощность обычно такова, что может обеспечить электроэнергией крупный район страны, где в большинстве случаев присутствует дефицит электроэнергии.

Так же описываемая схема также содержит два распределительных устройства (РУ) высокого и среднего напряжений:

Распределительное устройство высокого напряжения 200 кВ (РУ ВН)

Распределительное устройство среднего напряжения 110 кВ (РУ СН)

Связи между РУ осуществляется с помощью двух автотрансформаторов трансформаторов.

Упрощенная схема КЭС приведена на рисунке 1.

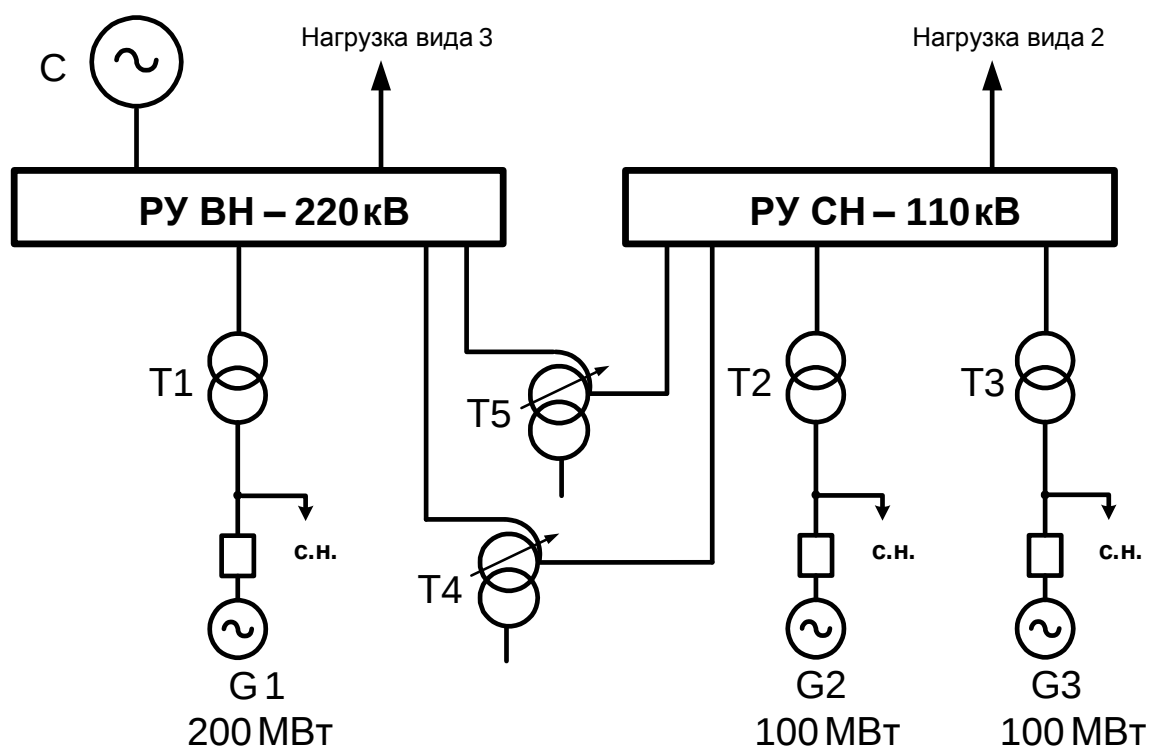


Рисунок 1 – Структурная схема электростанции.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Учет особенностей развития экономики на современном этапе позволяет ориентироваться в создании отдельных видов техники, в формировании технического базиса производства, в развитии производственных сил в целом. Но при осуществлении некоторых конкретных задач, связанных с практической реализацией достижений науки и техники, учета общих требований недостаточно. Для этого необходимо экономическое обоснование принимаемых технических решений.

В данном проекте рассматривается вариант комплекса РЗиА для защиты блока «Генератор – Трансформатор» КЭС 400 МВт.

Создание и реализация проекта включают следующие этапы:

1. Формирование инвестиционного замысла;
2. Исследование инвестиционных возможностей, технико-экономическое обоснование проекта;
3. Подготовку контрактной документации; строительно-монтажные работы, ввод в эксплуатацию объекта.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ, а так же рассчитать необходимые капиталовложения на проектирование, монтаж и наладку комплекса РЗиА для защиты блока «Генератор – Трансформатор» КЭС 400 МВт.

Себестоимость разработки включает в себя следующие статьи:

- стоимость материалов, затраченных на разработку;
- заработная плата персонала, занятого в разработке проекта;
- единый социальный налог;
- производственные командировки;

- накладные расходы;
- прочие расходы.

Предстоящая работа может быть разбита на следующие этапы:

- подготовительная;
- выбор устройств релейной защиты и автоматики основных элементов;
- расчет устройств релейной защиты;
- экономическая часть;
- завершающий этап.

К подготовительному этапу относится работа по подбору литературы, изучение технического задания и его утверждение, согласование календарного плана.

Завершающий этап включает в себя оформление пояснительной записки, разработку и вычерчивание чертежей.

Планирование проектных работ.

Работы по проектированию выполняют два человека: руководитель проекта и исполнитель (инженер). Распределение работ заполняем в таблицу 15.

Определение трудоемкости выполнения работ

Основную часть стоимости разработки обычно составляют трудовые затраты. Следовательно, определение трудоемкости работ всех участников проекта очень важно.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

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

где: $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Полученные данные заносим в соответствующий столбец таблицы 15.

В качестве примера приведем расчет для пункта 5 таблицы 15:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \approx 2 \text{ чел. – дн.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{2}{1} = 2 \text{ раб. дн.}$$

Таблица 15 – Длительность этапов проектирования и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Длит-ть работ в рабочих днях T_{pi}	Длит-ть работ в календ-х днях T_{ki}
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта	1	2
Ознакомление с технической документацией и литературой	2	Ознакомление с технической документацией	Инженер	1	2
	3	Подбор литературы	Инженер	1	2
	4	Календарное планирование работ	Руководитель проекта	1	2
Выбор устройств РЗиА	5	Описание электрической схемы и параметров основного оборудования станции	Инженер	2	3
	6	Выбор устройств РЗиА	Руководитель проекта	1	2
	7	Описание принятых устройств РЗиА	Инженер	1	2
Расчет уставок защит	8	Выбор расчетных режимов	Руководитель проекта	1	2
	9	Составление схемы замещения энергорайона	Инженер	3	5
	10	Расчет токов КЗ	Инженер	3	5
	11	Расчет релейной защиты генератора и трансформатора	Инженер	3	5
Анализ устройств автоматики	12	Анализ устройств автоматики	Руководитель проекта, Инженер	4	6

Разработка мероприятий по охране труда, окружающей среды и состоянии структуры ГО	13	Разработка мероприятий по охране труда, окружающей среды и состоянии структуры ГО	Инженер	3	5
Технико-экономическое обоснование проекта	14	Технико-экономическое обоснование проекта	Инженер	3	5
Разработка технической документации	15	Составление пояснительной записки	Инженер	2	3
	16	Составление принципиальных электрических схем	Инженер	2	3
	17	Оформление чертежей	Руководитель проекта, Инженер	3	5

Разработка графика проведения научного исследования

После распределения работ по исполнителей построим диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,48 = 2,96 \approx 3$$

где: T_{ki} — продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} — продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ — коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{\text{кал}}$ — количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ — количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ — количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Полученные данные по длительностям работ заносим в соответствующий столбец таблицы 15.

В качестве примера приведем расчет для пункта 5 таблицы 15:

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,48 = 2,96 \approx 3$$

На основании таблицы 15 строится календарный план-график. График приведен рисунке 15.

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Прод-ть кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				Март															Апрель																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	Составление ТЗ	Руководитель	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

■ = Руководитель проекта, ■ = Инженер, ■ = Руководитель проекта и инженер.

Рисунок 15 – Календарное планирование работ

Расчёт научно-технической эффективности

Для проектирования необходимо узнать требования потенциальных потребителей. Затем вычисляем единичный параметрический показатель

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

где q – параметрический показатель;

P – величина параметра реального;

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

p – вероятность достижения величины параметра; вводится для получения более точного результата с учетом элемента случайности, что позволяет снизить риск осуществления проекта, принимаем $p=0,9$

Каждому параметрическому показателю по отношению к объекту соответствует некий вес d , разный для каждого показателя. После вычисления всех единичных показателей становится реальным 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.

$$Q_n = \sum_{i=1}^n q_i d_i = 0,864$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^n q_i d_i = 0,162$$

Показатель конкурентоспособности новшества по отношению к базовому объекту будет равен

$$K_{\text{ты}} = \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{б}}} = \frac{0,864}{0,162} = 5,33$$

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

$Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{б}}$ – соответствующие групповые технические показатели нового и базового объекта.

Таблица 16 - Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателей	Новшество ЭКРА		Устаревшие эл.механич.УРЗА		Идеальное УРЗА	
		P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
1. Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества), Q		$Q_{\text{н}}$		$Q_{\text{б}}$		$Q_{100}=1$	
1.1 Возможность оперативного изменения уставок защит и переход с одной характеристики на другую, (%)	0,3	90	0,9	60	0,54	100	0,9
1.2 Возможность передачи информации о состоянии РЗ на удаленные диспетчерские пункты через специальные каналы связи, (%)	0,2	80	0,72	0	0	100	0,9
1.3 Возможность ведения отчёта о срабатывании защит, (%)	0,2	100	0,9	0	0	100	0,9
1.4 Возможность выполнения самодиагностики и диагностики первичного оборудования, (%)	0,2	100	0,9	0	0	100	0,9
1.5 Возможность подключения в сеть ЭВМ,	0,1	100	0,9	0	0	100	0,9

(%)							
-----	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 17 – Объяснение величин параметров.

Характеристики	Новшество: ЭКРА	Конкурент: Устаревшие эл.механич.УРЗА
Возможность оперативного изменения уставок защит и переход с одной характеристики на другую.	Широкий спектр выбора изменяемых уставок с возможностью оперативного изменения характеристик.	Узкий спектр выбора изменяемых уставок без возможности оперативного изменения характеристик.
Возможность передачи информации о состоянии РЗ на удаленные диспетчерские пункты через специальные каналы связи	Обеспечивается передача информации по каналам связи, прокладываемым при установке оборудования. Не требуются доп. каналы связи.	Передача информации невозможна.
Возможность ведения отчёта о срабатывании защит.	Есть возможность	Нет возможности
Возможность выполнения самодиагностики и диагностики первичного оборудования	Есть возможность	Нет возможности
Возможность подключения в сеть ЭВМ.	Есть возможность	Нет возможности

Превосходство «ЭКРА» обеспечивается за счет того, что продукция данного производителя широко распространена на отечественном рынке и пользуется заслуженной популярностью. Этого удалось достичь, в первую очередь, за счет надежности и качества. Преимуществ у микропроцессорных защит много: это меньшие габаритные размеры, постоянная самодиагностика, совмещение в одном устройстве функций различных защит, управления, измерения, регистрации событий, возможность интеграции в АСУ ТП, оперативное внесение изменений в программы защит, в том числе и для исправления проектных ошибок и прочее. Если учесть все эти составляющие, то можно смело утверждать, что цена функций в таких изделиях сопоставима с электромеханическими защитами (а чаще – ниже) и это выбивает главный аргумент сторонников электромеханики.

Таблица 18 - Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{д\gamma i}$	$K_{д\gamma i} \cdot d_i$
1. Новизна полученных или предполагаемых результатов (критерий оценки: обобщен имеющийся опыт)	0,1	0,3	0,03
2. Перспективность использования результатов (критерий оценки: использование для предварительного рабочего проектирования в расчётных группах РЗА ОДУ, РДУ)	0,4	0,1	0,04
3. Завершенность полученных результатов (критерий оценки: написан отчет по теме)	0,3	0,1	0,03
4. Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,2	0,1	0,02
Результативность	$K_{\text{н\gamma}} = \sum (K_{д\gamma i} \cdot d_i) = 0,14$		

Бюджет проекта

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 19– Расходы на канцелярские товары

Наименование	Цена, руб.	Количество	Общая стоимость, руб.
1. Бумага	2	100	200
2. Карандаш	10	1	10
3. Ластик	12	1	12
4. Ручка	20	2	40
5. Линейка	50	1	50
6. Калькулятор	500	1	500
7. Картридж	3000	1	3000
Итого			3812

Оплата труда.

Будем исходить из того, что оклад:

- руководителя проекта 23000 руб.;

- исполнителя – 16000 руб.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot k_{\text{Д}} \cdot k_{\text{Р}}$$

Где

$З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{Д}} = 1,16$ – коэффициент дополнительной заработной платы руководителя;

$k_{\text{Д}} = 1,08$ – коэффициент дополнительной заработной платы инженера;

$k_{\text{Р}} = 1,3$ – районный коэффициент для Томска.

Тогда месячная зарплата:

- для руководителя – $(23000+2200) \cdot 1,16 \cdot 1,3 = 38000$ руб;
- для исполнителя – $(16000+2000) \cdot 1,08 \cdot 1,3 = 25272$ руб.

Согласно построенному календарному плану-графику руководитель проекта занят 19 календарных дней, а исполнитель – 51 календарный день.

Тогда:

$$C_{\text{ЗП}} = \sum ЗП_{\text{ТЕХН}} + \sum ЗП_{\text{ИНЖ}} = \frac{19}{31} \cdot 38000 + \frac{51}{31} \cdot 25272 = 64866,8 \text{ руб}$$

Отчисления на социальные нужды –30%:

$$C_{\text{СФ}} = 0,3 \cdot 64866,8 = 19460 \text{ руб.}$$

Прочие непредвиденные расходы (Пр. 10% от $\sum I_{\text{П}}$)

$$\sum I_{\text{П}} = C_{\text{М}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СФ}} = 3812 + 64866,8 + 19460 = 88139 \text{ руб}$$

$$C_{\text{ПР}} = 8814 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (40 % от $\sum I_{\text{П}}$)

$$C_{\text{НР}} = 0,4 \cdot \sum I_{\text{П}} = 0,4 \cdot 88139 = 35256 \text{ руб.}$$

Итого себестоимость проекта

$$C_{\pi} = C_M + C_{3П} + C_{сф} + C_{пр} + C_{нр} = 132209 \text{ руб.}$$

Принимаем, что предполагаемой прибыли данного предприятия, составляет 20%.

$$ПР = 0,2 \cdot C_{\pi} = 26442 \text{ руб.}$$

Тогда, договорная цена проекта составит:

$$K_{пр} = C_{\pi} + ПР = 158651 \text{ руб.}$$

Смета затрат на покупку оборудования РЗиА.

Материальные затраты на оборудование:

Для расчета использованы данные [19]. Данный портал является информационно-аналитической и торгово-операционной системой, предоставляющей информацию о рынке продукции, услуг и технологий для электроэнергетики. Согласно данным этого сайта, стоимость шкафа защит ШЭ1111 НПП «ЭКРА» на 2016 г. составляла $M_{з.м.} = 4523334$ руб. (цена с НДС).

Для данного оборудования необходимо два комплекта защит.

Итого капитальные затраты на оборудование составляют:

$$K_{об} = 4523334 \cdot 2 = 9046668 \text{ руб.}$$

Суммарные капиталовложения на проектирование, монтаж и наладку аппаратуры РЗиА

Капитальные вложения определяются по формуле:

$$K = K_{пр} + K_{об} + K_{монт}$$

Где: $K_{монт} = 20\% \text{ от } K_{оборуд}$

$$K = 158651 + 9046668 + 9046668 \cdot 0,2 = 11014653 \text{ руб.}$$

В данном разделе произведен расчет суммарных капиталовложений на проектирование, монтаж и наладку аппаратуры РЗиА блока «Генератор – Трансформатор» КЭС 400 МВт. Суммарные капиталовложения составляют 11 млн. руб.