

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

Институт Энергетический (ЭНИИ)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование срока службы нелинейных ограничителей перенапряжений в электропередаче 750 кВ

УДК 621.315.1.027.015

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4A	Кудрявцев Владимир Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузнецов Ю. И.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры менеджмента	Потехина Н. В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извенков В. Н.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетические системы	Сулайманов А. О.	Доцент, к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭПП

_____ Сулайманов А.

О.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4A	Кудрявцеву Владимиру Анатольевичу

Тема работы:

Исследование срока службы нелинейных ограничителей перенапряжений в электропередаче 750 кВ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.01.2016 г. № 432/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду; энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Исходные данные для исследования и расчета срока службы ОПН в электропередаче 750 кВ
--	--

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>	1.1. Параметры заданных генераторов и трансформаторов 1.2. Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ 2. Расчет минимального режима при исходном сопротивлении реактора 3. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ при исходном сопротивлении реактора 4. Расчет минимального режима с удвоенным сопротивлением реактора Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах с удвоенным сопротивлением реактора 4.2 Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с удвоенным сопротивлением реактора 5. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора 6. Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ при отсутствии реактивной нагрузки 6.1. Расчет минимального режима 6.2 Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах 6.3. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ 7. Компоновка результатов исследования срока службы ОПН в электропередаче 750 кВ 8. Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение 9. Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Старший преподаватель кафедры менеджмента – Потехина Н. В.
«Социальная ответственность»	Доцент кафедры ЭБЖ - Извеков В.Н.
«Раздел на английском языке»	Доцент кафедры иностранных языков – Воробьева В. В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
Introduction
Calculation OPN service life for 750 kV lines.
References

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузнецов Ю. И.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4A	Кудрявцев Владимир Анатольевич		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать 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.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать 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.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

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

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

Форма представления работы:

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.03.2016	<i>Введение</i>	7
26.03.2016	<i>1. Исходные данные для исследования и расчета срока службы ОПН в электропередаче 750 кВ</i>	9
29.03.2016	<i>2. Расчет минимального режима при исходном сопротивлении реактора</i>	11
01.03.2016	<i>3. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ при исходном сопротивлении реактора</i>	7
15.04.2016	<i>4. Расчет минимального режима с удвоенным сопротивлением реактора</i>	8
10.05.2016	<i>5. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора</i>	10
17.05.2016	<i>6. Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ при отсутствии реактивной нагрузки</i>	12
20.05.2016	<i>7. Компоновка результатов исследования срока службы ОПН в электропередаче 750 кВ</i>	7
23.05.2016	<i>8. Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение</i>	15
31.05.2016	<i>9. Социальная ответственность.</i>	14

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузнецов Ю. И.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетические системы	Сулайманов А. О.	Доцент, к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 118 с., 10 рис., 63 табл., 29 источников, 1 прил.

Ключевые слова: расчет срока службы ограничителей перенапряжения, статистическое распределение ресурса, расходуемого резистором ОПН.

Объектом исследования является ограничитель перенапряжения в электропередаче 750 кВ.

Цель работы – исследовать срок службы ограничителя перенапряжения при различном сопротивлении реактора, установленном параллельно. Выполнить оценку экономической эффективности исходя из полученных результатов исследования.

В процессе исследования проводились расчеты по определению срока службы ограничителя перенапряжений, при различном значении сопротивления реактора согласно действующей методике.

В результате исследования было установлено, что срок службы ограничителя перенапряжения при параллельно установленном реакторе, несколько выше, чем в электропередаче без реактора.

Область применения: линии электропередач высокого и сверхвысокого напряжения.

Экономическая эффективность/значимость работы. Оценка экономической ресурсоэффективности показала достаточно неплохой результат 4,25 из 5, это свидетельствует о возможности реализации данного исследования.

Обозначения и сокращения.

ЭП — электропередача;

ОПН — ограничитель перенапряжения;

U_H — номинальное напряжение;

$X_C^{(1)}, X_C^{(0)}$ — реактивное сопротивление системы первого и нулевого порядков;

P_H — номинальная мощность генератора;

$\cos \varphi$ — косинус угла сдвига между напряжением питающей сети и током;

X_d — синхронное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси;

X_q — синхронное индуктивное сопротивление генератора по поперечной оси;

S_H — номинальная мощность трансформатора;

U_{HH}/U_{BH} — номинальное напряжение трансформатора обмоток низшего и высшего напряжения;

$E_{к.з}$ — напряжение короткого замыкания;

I_{XX} — ток холостого хода

l — длина линии электропередач

$W^{(1)}/W^{(0)}$ — волновое сопротивление прямой и нулевой последовательности;

$R_0^{(1)}/R_0^{(0)}$ — погонное активное сопротивление линии прямой и нулевой последовательности;

$\lambda_{уд}^{(1)}/\lambda_{уд}^{(0)}$ — волновая длина линии прямой и нулевой последовательности;

$t_{АПВ}$ — время безтоковой паузы;

V_{gr} — граничное напряжение;

X_p — сопротивление реактора;

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. Исходные данные для исследования и расчета срока службы ОПН в электропередаче 750 кА.....	16
1.1. Параметры заданных генераторов и трансформаторов.....	17
1.2. Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ.....	19
2. Расчет минимального режима при исходном сопротивлении реактора.....	21
2.1. Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах при исходном сопротивлении реактора.....	22
2.1. 1. Плановое включение ненагруженной линии.....	22
2.1.2. Коммутация успешного ТАПВ.....	28
2.1.3. Коммутация разрыва ЭП при асинхронном ходе.....	28
2.1.4 Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в несимметричном режиме.....	29
3. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ при исходном сопротивлении реактора.....	34
3.1. Исходные положения.....	34
3.2. Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН.....	37
3.3. Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года.....	43
4. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с удвоенным сопротивлением реактора.....	47
4.1. Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН с удвоенным сопротивлением реактора.....	47
4.2. Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года с удвоенным сопротивлением реактора.....	50
5. Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора.....	51
5.1. Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора.....	54
5.2. Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора.....	57
6. Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ при отсутствии реактивной нагрузки.....	59
6.1. Расчет минимального режима.....	60
6.2 Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах.....	61

6.2.2	Плановое включение ненагруженной линии.....	61
6.2.3.	Коммутация успешного ТАПВ.....	65
6.2.4.	Коммутация разрыва ЭП при асинхронном ходе.....	65
6.1.5.	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в несимметричном режиме.....	66
6.3.	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ.....	68
6.3.1.	Исходные положения.....	68
6.3.2.	Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН.....	69
6.4.	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года.....	72
7.	Компоновка результатов исследования срока службы ОПН в электропередаче 750 кА.....	75
8.	Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение.....	76
8.1.	Потенциальные потребители результатов исследования и анализ конкурентных технических решений.....	77
8.2.	Формирование плана и графика разработки.....	77
8.2.1.	Определение структуры работ.....	77
8.2.2.	Определение трудоемкости работ.....	80
8.2.3	Разработка линейного графика.....	80
8.3.	Формирование бюджета затрат на научное исследование.....	85
8.3.1.	Материальные затраты.....	85
8.3.2.	Заработная плата.....	85
8.3.3.	Отчисления на социальные цели.....	87
8.3.4.	Накладные расходы.....	87
8.4.	Оценка рисков при создании проекта.....	88
8.4.1.	Описание групп рисков.....	88
8.4.2.	Оценка важности группы рисков.....	88
8.5.	Ресурсоэффективность.....	89
9.	Социальная ответственность.....	92
9.1.	Производственная безопасность.....	97
9.1.1.	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	97
9.1.2.	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведение исследования.....	98
9.2.	Производственная санитария.....	102
9.2.1.	Обеспечение параметров микроклимата.....	102
9.3.	Шум.....	104
9.4.	Влияние электромагнитных полей.....	104
9.5.	Освещение.....	104
9.6.	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды.....	106
9.7.	Техника безопасности.....	106
9.7.1.	Электробезопасность.....	106

9.8. Экологическая безопасность.....	109
9.8.1. Мусор от бытовых помещений организаций.....	110
9.8.2. Отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности.....	110
9.9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	111
9.9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	113
Заключение.....	115
Список используемых источников.....	116
Приложение А (раздел на английском языке).....	119

ВВЕДЕНИЕ

В нормальных условиях работы электропередачи на её изоляцию постоянно действует рабочее напряжение. Возникающие изменения тока нагрузки влечет за собой и изменения напряжения на элементах сети. Это значит, что при постоянной величине ЭДС генераторов номинальное напряжение может отклоняться от нормируемого уровня, перенапряжение способно повлечь аварийный режим работы в электропередаче.

Цель диссертационной работы — исследовать зависимость срока службы ограничителей перенапряжения в электропередаче от внутренних перенапряжений. Линии сверх высокого класса напряжений позволяют передавать мощность более 500 МВт на сверхдальние расстояния, более 500 км. Временное отключение и тем более выход из строя подобной линии является неприемлемым и способен привести к серьезным экономическим и производственным проблемам.

Возможность спрогнозировать срок службы ОПН позволит заменять данные устройства защиты перед их выходом из работы, а не после. Это позволит снизить технологические потери электроэнергии и затраты на исправление последствий аварий на линии.

Чаще всего перенапряжения имеют кратковременный характер. Они образуются при быстро затухающем переходном процессе или в аварийном режиме, время протекания зависит от скорости срабатывания защитных устройств.

Время протекания перенапряжения колеблется от нескольких мкс до часов. Так же важно, что даже кратковременные перенапряжения с высокой кратностью может вызвать пробой или перекрытие изоляции. Что сильно снижает уровень надежности системы и качества электроэнергии. Все произошедшие повреждения влекут за собой внеочередной ремонт, что неизбежно повышает затраты на обслуживание.

Важная характеристика перенапряжений — кратность. Отношение максимального значения напряжения $U_{\text{макс}}$ к амплитуде наибольшего рабочего напряжения. Также перенапряжения характеризуются следующими параметрами:

Повторяемостью, заданной ожидаемым числом перенапряжений за определенный промежуток времени.

Формой кривой перенапряжений характеризуемой длиной фронта, длительностью, числом импульсов и временем перенапряжений.

Числом конструкций на которые одновременно влияет перенапряжение определяется шириной охвата сети.

Также при оценке перенапряжений учитывают статистические характеристики ущерба в случае повреждения изоляции.

В зависимости от места прохождения выделяют внешние и внутренние перенапряжения. Уделим особое внимание внутренним перенапряжениям. Внутренние перенапряжения происходят в электрических системах при осуществлении коммутационных переключений. Коммутации могут быть как плановыми, так и аварийными. Обычно они проявляются в виде колебаний. Колебательные свойства электрической системы, способные привести к перенапряжениям, проявляются при нарушении баланса между сгенерированной и поглощённой энергией. Причиной может являться внезапное отключение потребителей.

Применение напряжения сверхвысокого класса позволяет увеличить как протяженность линии, так и передаваемую мощность. Согласно книге «Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения» следует, что в данных линиях обостряется вопрос глубокого ограничения возникающих в них перенапряжений. Поэтому при проектировании возникает необходимость уточненных расчетов перенапряжений, а так же устройств защиты. При

выборе ограничителей особое внимание уделяется расходу ресурса его резистора, от которого зависит срок службы устройства.

По мере технологического развития общества непрерывно происходит замена и обновление оборудования во всех сферах деятельности людей. Происходящая замена разрядников на ограничители перенапряжений потребовало обновления методик расчета защитного оборудования. Согласно решения Департамента стратегии и научно-технической политики РАО «ЕС России» были переработаны методики, которые легли в основу Руководства по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. Данное руководство является основополагающим при проведении исследования срока службы защитного устройства. . Однако малая база статистики работы ОПН не позволит провести всесторонний расчет, поэтому в данной работе внимание уделялось влиянию сопротивления реактора, установленного параллельно ОПН, и не было детально рассмотрено влияние грозových перенапряжений.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4E	Кудрявцеву Владимиру Анатольевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроэнергетические системы
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Высоковольтная техника в электроэнергетических системах

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г.Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Величина накладных расходов 16 %
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления на социальные цели 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Потенциальные потребители результатов исследования;
2. <i>Формирование плана и графика разработки</i>	Планирование работ по проекту: -Определение структуры работ; - Определение трудоемкости работ; -Разработка линейного графика
3. <i>Формирование бюджета затрат на научное исследование</i>	Составление сметы для проекта: - Расчет материальных затрат; - Заработная плата; - Отчислений на социальные цели; - Накладных расходов Описание рисков
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный план-график проведения работ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н. В			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4A	Кудрявцев Владимир Анатольевич		

8. Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение

В нормальных условиях работы сети на изоляцию её элементов постоянно воздействует рабочее напряжение.

Не стоит забывать, что в течение работы энергосистемы неизбежно будут возникать отклонения от номинальных условий, способные привести к повышению напряжения на изоляции выше номинального. Превышения уровня напряжения неизбежно влечет за собой повышение износа изоляции элементов энергосистемы.

Для защиты электропередачи от перенапряжений применяют ограничители перенапряжения. Уровень ресурса, расходуемого резистором ОПН, требует отдельной оценки. Данный параметр напрямую влияет на срок службы ОПН. Максимально точное определение предполагаемого срока службы ограничителя позволит снизить уровень возможных аварийных режимов работы системы, что позволит повысить её общий уровень надежности и снизить затраты на устранение последствий аварийного режима работы.

Исследование срока службы ОПН актуально для линий высокого, сверхвысокого напряжения и подстанций.

В этом разделе определим перспективность научно-исследовательского проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

8.1. Потенциальные потребители результатов исследования и анализ конкурентных технических решений

В некоторых случаях, оборудование может оказаться под влиянием повышенного, по сравнению с номинальным, напряжения (при грозе или коммутациях электрических цепей). В этом случае, возрастает вероятность пробоя изоляции элементов системы. Ограничители применяются вместо вентильных разрядников соответствующих классов напряжения и включаются параллельно защищаемому устройству или установке.

Определение срока службы ОПН является неотъемлемой частью определения надежности любой электропередачи в системе электроснабжения. Сети с номинальным напряжением 750 кВ позволяют передавать мощность более 500 МВт на сверхдальние расстояния, т.е. более 500 км. Выход из строя подобной сети является неприемлемым, т.к. может привести к серьезным экономическим и производственным проблемам.

Цель проекта: исследовать срок службы ограничителя перенапряжения при различном сопротивлении реактора, устанавливаемом параллельно. Выполнить оценку экономической эффективности исходя из полученных результатов исследования.

Для достижения цели использованы расчетные и графоаналитические методы.

Полученные в проекте результаты могут быть использованы как эскизные для рабочего проектирования, как предварительные для построения программы по расчету надежности и срока службы электропередачи сверхвысокого напряжения.

8.2. Формирование плана и графика разработки

8.2.1. Определение структуры работ

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения работ по проектированию формируется группа, в состав которой входят руководитель и инженер.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 52.

Таблица 52 – Перечень этапов, структура работ и распределение исполнителей

Наименование	№ работ	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	2	Анализ основных исходных данных и принятие предварительных проектных решений	Магистр
	3	Подбор и изучение материалов по тематике	Магистр
	4	Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ	Магистр
	5	Расчет минимального режима при исходном сопротивлении реактора	Магистр
	6	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах при исходном сопротивлении реактора	Магистр
	7	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ при исходном сопротивлении реактора	Магистр
	8	Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН	Магистр
	9	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года	Магистр
	10	Расчет минимального режима с удвоенным сопротивлением реактора	Магистр
	11	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах с удвоенным сопротивлением реактора	Магистр
	12	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с удвоенным сопротивлением реактора	Магистр
	13	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора	Магистр
	14	Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора	Магистр
	15	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора	Магистр
	16	Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ при отсутствии реактивной нагрузки	Магистр
	17	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах	Магистр
	18	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ	Магистр
	19	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года	Магистр
Оформление	20	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Магистр
Обобщение и	21	Сдача проекта	Магистр

8.2.2. Определение трудоемкости работ

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (58)$$

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

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

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

8.2.3 Разработка линейного графика

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых}}, \quad (59)$$

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

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

где, $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 119$);

$$T_k = \frac{366}{366 - 119} = 1,48$$

В таблице53 приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе, а в таблице54 представлен графический линейный график работ.

Таблица 53 – Временные показатели проведения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T _{pi}		Длит. работ в календ. днях, T _{ki}	
	t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ож} , чел-дни					
	Руководитель	Магистр	Руководитель	Магистр	Руководитель	Магистр	Руководитель	Магистр	Руководитель	Магистр
Составление и утверждение технического задания	5		6		5,4		6,48		8	
Анализ основных исходных данных и принятие предварительных проектных решений		6		10		7,6		9,12		13
Подбор и изучение материалов по тематике		10		12		10,8		12,96		19
Подбор и изучение материалов по тематике		7		8		7,4		8,88		13
Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ		4		5		4,4		5,28		8
Расчет минимального режима при исходном сопротивлении реактора		5		7		5,8		6,96		10
Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах при исходном сопротивлении реактора		4		5		4,4		5,28		8
Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ при исходном сопротивлении реактора		4		7		5,2		6,24		9
Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН		4		6		4,8		5,76		9
Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года		4		5		4,4		5,28		8
Расчет минимального режима с удвоенным сопротивлением реактора		5		7		5,8		6,96		10
Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах с удвоенным сопротивлением реактора		4		5		4,4		5,28		8
Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с удвоенным сопротивлением реактора		7		9		7,8		9,36		14
Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора		4		5		4,4		5,28		8
Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора		4		6		4,8		5,76		9
Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ при отсутствии реактивной нагрузки		6		7		6,4		7,68		11
Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах		5		7		5,8		6,96		10
Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ		4		5		4,4		5,28		8
Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года		4		6		4,8		5,76		9
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	5	10	7	12	5,8	10,8	6,96	12,96	9	19
Сдача проекта		15		17		15,8		18,96		28

Таблица 54 – Календарный план-график проведения проектирования.

№	Вид работ	Исполнители	Ткі кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Окт.	Ноя.	Дек.	Янв.	Февр	Мар	Апр.	Май	Ию нь.
	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	8									
1	Анализ основных исходных данных и принятие предварительных проектных решений	Магистр	13									
2	Подбор и изучение материалов по тематике	Магистр	19									
3	Подбор и изучение материалов по тематике	Магистр	13									
4	Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ	Магистр	8									
5	Расчет минимального режима при исходном сопротивлении реактора	Магистр	10									
6	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах при исходном сопротивлении реактора	Магистр	8									
7	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ при исходном сопротивлении реактора	Магистр	9									
8	Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН	Магистр	9									
9	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года	Магистр	8									
10	Расчет минимального режима с удвоенным сопротивлением реактора	Магистр	10									
11	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах с удвоенным сопротивлением реактора	Магистр	8									
12	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ с удвоенным сопротивлением реактора	Магистр	14									
13	Статистические распределения неограниченных коммутационных перенапряжений в точке установки ОПН с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора	Магистр	8									
14	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года с уменьшенным вдвое сопротивлением реактора	Магистр	9									

15	Расчет резонансных перенапряжений в ЭП – 750 кВ при отсутствии реактивной нагрузки	Магистр	11										
16	Расчет вынужденного напряжения переходного процесса в симметричных максимальных режимах	Магистр	10										
17	Методика расчета ожидаемого срока службы ОПН 750 кВ	Магистр	8										
18	Расчет статистического распределения ресурса, расходуемого резистором ОПН в течение одного года	Магистр	9										
19	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Магистр	19										
20	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель	9										
21	Сдача проекта	Магистр	28										

8.3. Формирование бюджета затрат на научное исследование

8.3.1. Материальные затраты

В ходе любой научно-исследовательской работы требуются различные вспомогательные средства. Выполнение исследования на всех этапах расчетов сопровождалось определенными материальными затратами, элементы которых сведены в таблицу 55 и 56.

Таблица 55 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Аксессуары для ПК	Шт.	1	1000	1000
Бумага для печати, формат А4	Лист	175	1,7	297,5
Карандаш механический	Шт.	1	25	25
Стержни для карандаша	Уп.	1	15	15
Ручка	Шт.	1	34	34
Мультифора	Шт.	7	2	14
Папка для бумаг	Шт.	1	20	20
Итого:				1405,5

Таблица 56 – Оборудование

Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Персональный компьютер	Шт.	1	27000	27000

8.3.2. Заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$ЗП = ЗП_{\text{т}} + ЗП_{\text{доп}}, \quad (60)$$

где $ЗП_{\text{т}}$ – тарифный фонд заработной платы (по окладам),

$ЗП_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата за неотработанное время (8% для инженера, 16% для руководителя от $ЗП_{\text{т}}$),

$$ЗП_{\text{доп}} = (0,08 - 0,16) \cdot ЗП_{\text{т}}. \quad (61)$$

Тарифная заработная плата $ЗП_{\text{т}}$ определяется исходя из уровня окладов сотрудников НИ ТПУ. Уровень оклада для руководителя составит 16751,29 руб., для инженера 14584,35 руб. Коэффициент премий 0,1.

Уровень премий для руководителя:

$$ЗП_{\text{п}} = 16751,29 \cdot 0,1 = 1675,13 \text{ руб.}$$

Уровень премий для инженера:

$$ЗП_{\text{п}} = 14584,32 \cdot 0,1 = 1458,43 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника за 21 рабочий день:

$$ЗП_{\text{м}} = ЗП_{\text{т}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (62)$$

где $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёта заработной платы для руководителя за рабочий день:

$$ЗП = 16751,29 \cdot 1,3 / 26 = 837,57 \text{ руб.}$$

Расчёта заработной платы для инженера за рабочий день:

$$ЗП = 14584,35 \cdot 1,3 / 21 = 902,84 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 57.

Таблица 57 – Расчёт заработной платы

Исполнители	$ЗП_{\text{т}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$ЗП_{\text{м}}$, руб.
Руководитель	16751,29	1,3	837,57	14	11725,98
Инженер	14584,35	1,3	902,84	136	122786,24
Итого:					134512,22

Дополнительная заработная плата за неотработанное время для руководителя:

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,16 \cdot 11725,98 = 1876,16 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата за неотработанное время для инженера:

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,08 \cdot 122786,24 = 9822,9 \text{ руб.}$$

$$ЗП = 134512,22 + (1876,16 + 9822,9) = 146211,28 \text{ руб.}$$

8.3.3. Отчисления на социальные цели

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Величина данных отчислений составит:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (63)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (134512,22 + (1876,16 + 9822,9)) = 39623,26 \text{ руб.}$$

8.3.4. Накладные расходы

В накладных расходах учитываются прочие затраты при проектировании: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Значение накладных расходов находят как:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 15) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (64)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов составляет 16%.

$$З_{\text{накл}} = 134512,22 \cdot 0,16 = 21521,96 \text{ руб.,}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта приведено в таблице 58.

Таблица 58 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Примечание	
	руб.	В%
Материальные затраты НТИ	1405,5	0,60
Оборудование	27000	11,45
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	146211,28	62,02
Накладные расходы	21521,96	9,13
Отчисления во внебюджетные фонды	39623,26	16,81
Бюджетные затраты НТИ	235762	100

Расчет бюджета затрат научно-исследовательского проекта составил 235762 тыс. рублей

8.4. Оценка рисков при создании проекта

Оценку рисков для данной исследовательской работы производится исходя из групп, под действие которых, попадает проект.

8.4.1. Описание групп рисков

Риски проекта по своему составу можно объединить в указанные ниже группы в исходя из их характера (Социальные, Экономические, Экологические, Технические, и Политические).

К социальным рискам относятся:

- Несоблюдение техники безопасности

К экономическим рискам можно отнести:

- Рост цен
- Непредвиденные расходы

Технологические риски включают в себя:

- Неисправность оборудования

Политические риски:

- Нарушение действующих нормативных законодательных норм

8.4.2. Оценка важности группы рисков

При оценке важности рисков, оценивается вероятность их наступления. По шкале от 0 до 100 процентов:

- 100 – Наступит точно
- 75 – Скорее всего, наступит
- 50 – Ситуация неопределенности
- 25 – Риск, скорее всего не наступит
- 0 – Риск не наступит

Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i .

Внутри каждой группы оценка идет от простого к сложному. Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице.

Возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать влекущие за собой нежелательные последствия, сведены в табл. 59.

Таблица 59 – Реестр рисков

	Риск	Потенциальное воздействие	Вер- ть	Влия- ние	Уро- вень	Способы смягчения	Условия наступления
1	Несоблюдение техники безопасности	Травматизм на рабочем месте	0,28	4	Низ.	Контроль состояния рабочего оборудования	Невнимательность на рабочем месте
2	Рост цен	Необходимость переоценки затрат на проектирование	0,3	2	Ср.	Поиск стабильных материальных источников	В зависимости от обстоятельств
3	<i>Непредвиденные расходы</i>	Повышение затрат на проектирование	0,25	1	Ср.	Содержание резервных средств	В зависимости от обстоятельств
4	Неисправность оборудования	Задержка в ходе выполнения работ	0,15	3	Выс	Своевременное обслуживание оборудования	В ходе текущей эксплуатации
5	Нарушение действующих нормативных законодательных норм	Согласно действующих законов РФ	0,02	4	Низ.	Мониторинг обновлений законов и нормативных актов	Плохое знание законов и нормативных актов.

Отслеживание рисков и осуществление мероприятий по их смягчению будет способствовать успешной реализации проекта.

8.5. Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научно-исследовательского проекта вычисляется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (65)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 60.

Таблица 60 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Повышение уровня надежности системы	0,45	5
Уровень проникновения на рынок	0,20	4
Цена	0,10	2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,25	4
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi}=0,45 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 2 + 0,25 \cdot 4 = 4,25$$

Данная магистерская диссертация относится к научно-исследовательским работам (НИР), которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме, т.е. теоретического и экспериментального характера.

Была определена группа потенциальных потребителей для данного исследования, разработан и составлен линейный график работ. Длительность работ в календарных днях руководителя составляет 17 дней, а инженера 217. Длительность работ в рабочих днях преподавателя равняется 14 дней, а инженера 136 дней. Общая продолжительность выполнения проекта - 239 дей. Объем рассчитанного бюджета данного проекта составляет 235762 рубля. Оценка ресурсоэффективности показала достаточно неплохой результат (4,25

из 5), что свидетельствует об эффективности реализации данного научного исследования.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности важен при выполнении исследования. Его высокое значение говорит об эффективности использования результатов исследования.