

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Совершенствование технологии импульсного дефектографирования обмоток силовых трансформаторов

УДК 621.3.083.72621.314.222.6.045

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM09	Тан Лян		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Мытников А. В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Черемискина М. С.	-		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Костомаров П. И.	к.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Юшков А. Ю.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе подготовки магистров

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработать командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять полученные знания о физико-химических свойствах и процессах в диэлектрических материалах при разработке и эксплуатации электротехнических изделий
ПК(У)-2	Способен осуществлять технологическое сопровождение и координацию работ при производстве, контроле, испытаниях и диагностике электротехнических изделий
ПК(У)-3	Способен разрабатывать новые и модифицировать существующие конструкции кабельных изделий, электроизоляционные и высоковольтные системы
ПК(У)-4	Способен осуществлять эксплуатацию и диагностику электротехнического и высоковольтного электрооборудования

Календарный план

№ п/п	Содержание выполняемой работы	Дата начала работ	Дата окончания работ	Должность исполнителя
1	Определение темы исследования	16.02.22	17.02.22	Руководитель
2	Исследование соответствующей литературы	18.02.22	28.02.22	Исполнитель
3	Составление технических заданий	01.03.22	06.03.22	Руководитель
4	Создание базовой модели	07.03.22	12.03.22	Исполнитель Руководитель
5	Моделирование дефектов	14.03.22	20.03.22	Исполнитель Руководитель
6	Получение графиков реальными измерениями	21.03.22	04.04.22	Исполнитель Руководитель
7	Сравнение графиков	05.04.22	20.04.22	Исполнитель
8	Анализ результатов	21.04.22	06.05.22	Исполнитель
9	Выполнение сводной работы и отчета	08.05.22	18.05.22	Исполнитель
10	Проверка полноты и правильности	20.05.22	26.05.22	Исполнитель Руководитель
11	сдача и защита проекта	06.06.22	07.06.22	Исполнитель

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: ИШЭ (Инженерная школа энергетики)
 Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение: ОЭЭ (Электроэнергетики и электротехники)

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ «_____» _____ А.Ю. Юшков
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ09	Тан Лян

Тема работы:

Совершенствование технологии импульсного дефектографирования обмоток силовых трансформаторов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 11-2_с от 11.01.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.2022 г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>имитационная модель нормального и дефектного состояния трансформатора.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>разработка имитационной модели обмоток трансформатора и выполнение контроля механических дефектов в одноступенчатом режиме</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Т.Г.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина М.С.</p>
<p>Раздел на иностранном языке</p>	<p>Костомаров П.И</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Improving the technology of pulse flaw detection of windings of power transformers</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>11 марта 2022 года</p>
--	---------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭЭ ИШЭ	Мытников Алексей Владимирович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM09	Тан Лян		

Реферат

Магистерская диссертация: 120 с., 30 рис., 36 табл., 32 источников, 1 прил.

Ключевые слова: совершенствование, трансформатор, обмотка, дефектографирование и моделирование.

Объектом исследования являются имитационная модель нормального и дефектного состояния трансформатора.

Цель нашего исследования – разработка имитационной модели обмоток трансформатора и выполнение контроля механических дефектов в одноступенчатом режиме – как пути совершенствования метода диагностики обмоток высоковольтного трансформатора.

В процессе исследования использовался расчетный программный комплекс «MathCad», симулятор «Microcap» аналоговых/цифровых схем со встроенным редактором схем, современные программные продукты Microsoft Word, Microsoft Excel.

В процессе исследования проводился моделирование состояния имитационной модели нормального и дефектного трансформатора, и сравнение с реальными измерениями.

В результате исследования подтверждена эффективность одноступенчатого режима контроля состояния обмоток.

Область применения: диагностика и оценка механического состояния обмоток силовых трансформаторов.

Экономическая значимость работы: технология «одноступенчатого дефектографирования» позволит вывести диагностику обмоток методом НВИ на качественно новый уровень, позволяя выявлять дефекты на ранней стадии их развития под рабочим напряжением без отключения трансформатора от высоковольтной сети.

В будущем планируется внедрение одноступенчатого дефектографирования в производство.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ТПУ- Томский политехнический университет;

ИШЭ – Инженерная школа энергетики;

НВИ – Низковольтные импульсы;

АЧХ - Амплитудно-частотная характеристика;

СанПиН – Санитарные правила и нормы;

ГОСТ - Государственный стандарт;

ЧС – Чрезвычайная ситуация.

Оглавление

Введение.....	11
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	12
1.1 Проблема контроля состояния силовых трансформаторов	12
1.1.1 Виды конструкций силовых трансформаторов.....	12
1.1.2 Виды дефектов обмоток трансформаторов и их причины	12
1.2 Способы и методы диагностики контроля состояния обмоток и активной части трансформаторов	18
1.2.1 Тенденции развития методов испытаний	18
1.2.2 Анализ растворенных газов	19
1.2.3 Метод низковольтных импульсов	22
1.2.4 Метод частотного анализа (МЧА).....	24
1.2.5 Диагностика частичных разрядов	26
1.3 вывод по разделу	28
ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	29
2.1 Описание имитационной модели	29
2.2 Разработка имитационной модели	30
2.3 Принцип импульсного дефектографирования	31
2.4 Моделирование определения дефекта типа «радиальное смещение».....	34
2.5 Исследование процесса диагностики обмотки при наличии дефекта «аксиальное смещение».....	37
2.6 вывод по разделу	41
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	43
3.1 Предпроектный анализ	43
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	43
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	45
3.1.3 SWOT-анализ.....	48

3.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	51
3.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	52
3.2	Инициация проекта	52
3.2.1	Цели и результат проекта	52
3.2.2	Организационная структура проекта	54
3.2.3	Ограничения и допущения проекта.....	54
3.3	Планирование управления научно-техническим проектом.....	55
3.3.1	Иерархическая структура работ проекта	55
3.3.2	Контрольные события проекта	56
3.4	Бюджет научного исследования	59
3.5	Реестр рисков проекта	63
3.6	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	65
3.6.1	Оценка абсолютной эффективности исследования.....	65
3.7	Оценка социальной эффективности проекта	69
3.8	Оценка сравнительной эффективности исследования	70
3.9	Вывод по разделу	73
4	Социальная ответственность	76
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
4.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	77
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	79
4.2	Производственная безопасность.....	79
4.2.1	Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	80
4.2.2	Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.....	81
4.2.3	Расчет допустимого время пребывания в лаборатории	87
4.3	Экологическая безопасность.....	89

4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	89
4.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	90
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	91
4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	92
4.5 Вывод по разделу	95
Список литературы	99
Приложение А	102

Введение

Являясь основным оборудованием для преобразования энергии в энергосистеме, силовые трансформаторы играют все более заметную роль в повседневной жизни людей. Стабильная работа силовых трансформаторов связана с ежедневным потреблением электроэнергии промышленностью, сельскохозяйственным производством и населением. Тем не менее, силовые трансформаторы являются уязвимым оборудованием. Неисправности приведут к большим экономическим потерям, и существуют различные типы неисправностей трансформаторов. Электроэнергетики только очень хорошо понимают общие неисправности и знакомы с различными неисправностями методы обнаружения. Только тогда можно точно определить причину проблемы, принять соответствующие меры для ее решения и обеспечить стабильную работу энергосистемы.

Силовые трансформаторы считаются наиболее ценным имуществом на подстанциях. Однако большинство силовых трансформаторов в мире были установлены в прошлом веке, поэтому их расчетный срок службы подходит к концу. Поэтому в последние годы участились случаи отказов трансформаторов. Нет никаких сомнений в том, что это должно обеспечить эффективный способ диагностики деформации обмотки.

Например, персонал может в любой момент судить о рабочем состоянии трансформатора по изменению звука, вибрации, запаха, обесцвечивания, температуры и других явлений, а также анализировать причину, место и степень аварии. Поэтому проводится всесторонний анализ, и принимается окончательное решение о рабочем состоянии трансформатора в сочетании с различными результатами обнаружения.

Цель нашего исследования состоит в том, чтобы разработать имитационную модель обмоток трансформатора и выполнить контроль механических дефектов в одноступенчатом режиме – как пути совершенствования метода диагностики обмоток высоковольтного трансформатора.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.1 Проблема контроля состояния силовых трансформаторов

1.1.1 Виды конструкций силовых трансформаторов



Рисунок 1.1 – Конструкция силового трансформатора

Силовой трансформатор представляет собой статическое электрическое устройство, которое используется для преобразования определенного значения переменного напряжения (тока) в другое или несколько различных значений напряжения (тока) с той же частотой. Когда первичная обмотка запитана переменным током, создается переменный магнитный поток, а переменный магнитный поток индуцирует переменную электродвижущую силу во вторичной обмотке через магнитную проницаемость железного сердечника. На рисунке 1 представлена конструкция трансформатора ТМГ.

1.1.2 Виды дефектов обмоток трансформаторов и их причины

После того, как силовой трансформатор будет введен в эксплуатацию, он выйдет из строя из-за чрезмерной электрической нагрузки, проблем с материалами, экологических проблем или человеческого фактора. Однако большинство неисправностей не проявятся во времени, а будут постепенно

влиять на нормальную работу трансформатора при воздействии неблагоприятных факторов. Мы можем проанализировать статистику повреждений силовых трансформаторов высокого напряжения и причины их возникновения.

Статистика повреждений обмотки силового трансформатора представлена в таблице 1.1. [19].

Таблица 1.1 – Основные повреждения обмотки силового трансформатора

Повреждение	Причина возникновения повреждения
Смещение и деформация обмоток	Короткие замыкания линий и быстрые изменения нагрузки
Межвитковое или межслойное короткое замыкание	Высокая температура, которая обожжет изоляцию
Увлажнение и загрязнение изоляции обмоток	Нарушение герметичности трансформатора от токов короткого замыкания
Дефект грозоупорной обмотки	В трансформатор попала молния

В этом разделе мы обсуждаем радиальные, аксиальные смещения и даже короткое замыкание. На рис. 1.2 показан один из наиболее опасных отказов — радиальное смещение обмотки, вызванное действием радиальных динамических сил, создаваемых взаимодействием аксиального магнитного поля и тока в обмотке при коротком замыкании. Эта динамическая внутренняя сила вызывает механическое напряжение внутри обмотки и вызывает характерный bulking.

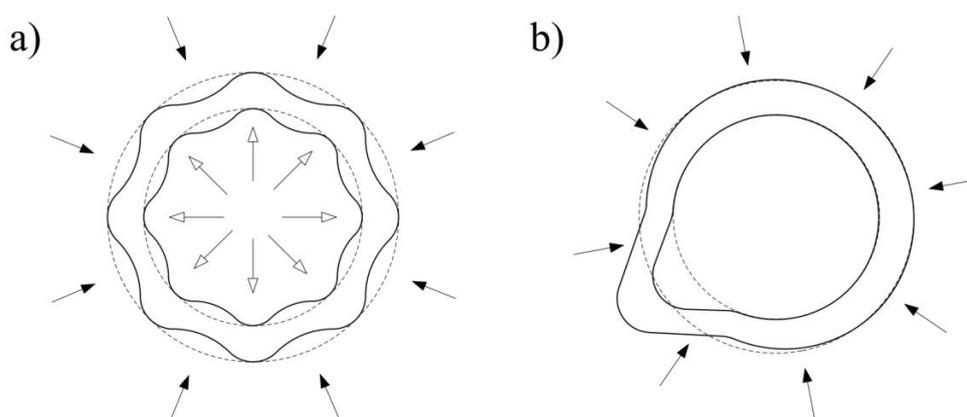


Рис. 1.2 схема радиального смещения обмоток

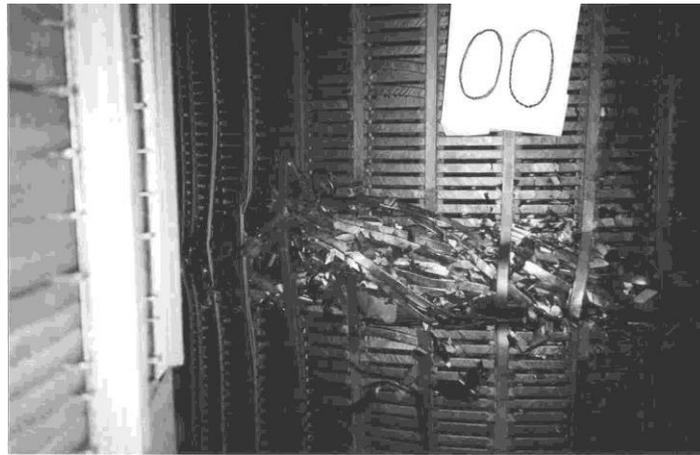


Рис.1.3 пример радиального смещения обмоток трансформатора

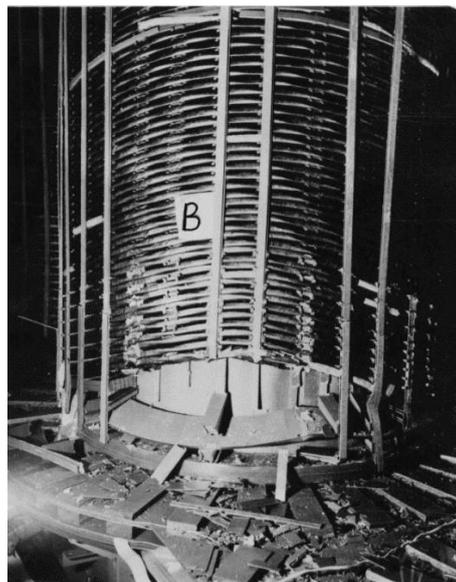


Рис.1.4 пример аксиального смещения обмоток трансформатора

Основными формами деформации обмотки трансформатора являются неустраняемые деформационные явления, такие как скручивание, вздутие, смещение обмотки, а наиболее распространенными и типичными формами являются межвитковое замыкание, разряд основной изоляции или полный пробой с повреждением изоляции. В повседневной жизни существует множество причин деформации трансформатора, в основном это следующие:

I На обмотки трансформатора воздействует ток короткого замыкания во время работы

Во время работы неизбежно воздействие различных токов короткого замыкания. Особенно в случае короткого замыкания на короткое расстояние и

неисправности розетки обмотка будет подвергаться очень большой ударной силе от тока короткого замыкания, что повысит температуру обмотки и ослабит механическую прочность соответствующих проводов. трансформатора, он будет деформирован или даже полностью утилизирован.

Вообще говоря, существует два вида электрической мощности трансформатора: одна — радиальная (поперечная) сила, а другая — аксиальная (продольная) сила.

① Радиальные (поперечные) силы

Направление тока и взаимное расположение катушек определяют влияние радиальной силы. В трансформаторе с двойной катушкой радиальная сила в основном играет роль запуска внутренней катушки и растяжения внешней катушки, чтобы увеличить относительный диаметр всей катушки Жесткость силы. Обычная практика состоит в том, чтобы поддерживать полосу изолирующим цилиндром, а затем наматывать ее катушкой, при этом катушка подвергается изгибающим и сжимающим усилиям, вызванным растяжкой. Следовательно, если результирующая сила превышает точку максимальной силы жесткости катушки, катушка будет деформирована или повреждена.

② Аксиальная (продольная) сила

Действие аксиальной силы на трансформатор в основном проявляется в том, что витки и сегменты изгибаются в продольном направлении, а прокладки между сегментами и сегментами будут сжиматься, а некоторые из них даже будут передаваться на железное ярмо и отделяться от ядро. Вообще говоря, отрезки проволоки на двух концах катушки подвержены большой силе изгиба, а блок в центре катушки по высоте подвержен большой силе сжатия. Когда распределение магнитного потенциала неравномерно или высота катушки различна, осевая сила более подвержена авариям трансформатора, чем радиальная сила.

Из этого мы можем видеть, что когда трансформатор подвергается воздействию тока, например, внезапному короткому замыканию во время

работы, каждая катушка будет генерировать сильное комбинированное радиальное усилие и аксиальное усилие.

II Сама обмотка трансформатора имеет ограниченную несущую способность

Из-за дефектов самой обмотки трансформатора, то есть ограниченной несущей способности, она плохо выдерживает ударную силу тока короткого замыкания, вызванного КЗ трансформатора, в результате чего происходит деформация обмотки. Согласно статистическому анализу национальных силовых трансформаторов 110 кВ за последние годы, большая скрытая опасность безопасной эксплуатации трансформатора заключается в деформации обмотки трансформатора, но в определенной степени деформация обмотки неизбежна. Тогда это особенно важно для проверки работоспособности обмоток трансформатора.

III Наличие некой мертвой зоны или неисправность системы защиты

Другая причина деформации обмотки трансформатора заключается в том, что в системе защиты есть определенная мертвая зона или отказ действия, потому что мертвая зона и отказ заставят трансформатор выдерживать стабильный ток короткого замыкания в течение более длительного времени, что в конечном итоге приведет к повреждению обмотки. деформация. Согласно статистике, когда встречается внешнее препятствие короткого замыкания, трансформатор повреждается из-за несвоевременного отключения, что составляет около 30% препятствия короткого замыкания.

IV Обмотки трансформатора деформируются от воздействия внешней силы

Трансформаторы неизбежно деформируются под действием внешних сил при транспортировке и монтаже, например, от сильных ударов машин или других предметов при монтаже.

V кумулятивный эффект, сокрытие ошибок

Согласно опыту нормальной эксплуатации трансформатора, как только обмотка трансформатора деформируется, возникает кумулятивный эффект, что приводит к эффекту порочного круга. Что такое кумулятивный эффект? Например, трансформатор 110 кВ, 31,5 МВА, после 6 лет эксплуатации сторона 10 кВ подвергалась множественным сильным ударам тока. После осмотра обнаружено, что обмотка трансформатора серьезно деформирована. Если проблема деформации не обнаружена вовремя, то время аварии трансформатора определить трудно. Например, после одного месяца работы одного трансформатора резко увеличилось содержание спецгаза в масле. После технического обслуживания было обнаружено, что вся обмотка 35 кВ была деформирована и утилизирована. Поэтому при деформации обмотки трансформатора авария произойдет не сразу, при повторном ударе током произойдет авария с пробоем изоляции даже при нормальной эксплуатации.

Поэтому усилить диагностику деформации обмотки трансформатора, вовремя обнаружить деформированную обмотку трансформатора и отремонтировать ее в соответствии с правилами, чтобы предотвратить серию необратимых аварий из-за деформации обмотки, а также сэкономить рабочую силу и материальные ресурсы.

С развитием современных технологий технического обслуживания трансформаторов появился мониторинг состояния. Современный научно-технический прогресс сделал микроэлектронную технику, сенсорную технику и вычислительную технику широко используемыми при контроле состояния высоковольтного оборудования в энергосистемах. Это снимает ограничение на сбор информации о трансформаторах, существовавшее в прошлом. В настоящее время энергосистема может записывать все виды соответствующих данных, влияющих на срок службы трансформатора, в режиме реального времени и непрерывно посредством онлайн-мониторинга трансформатора, чтобы своевременно обнаруживать скрытые неисправности и осуществлять техническое обслуживание основного состояния. И это может накапливать опыт онлайн-мониторинга, способствовать постоянному совершенствованию и

совершенствованию технологии онлайн-мониторинга и открывать новую ситуацию в обслуживании высоковольтных устройств.

1.2 Способы и методы диагностики контроля состояния обмоток и активной части трансформаторов

1.2.1 Тенденции развития методов испытаний

Прогресс науки и техники создал благоприятные условия для применения технологии обнаружения неисправностей силовых трансформаторов. В нынешнюю эпоху обнаружение неисправностей силовых трансформаторов предъявляет все новые и новые требования. Профессионализм технологии обнаружения неисправностей был значительно повышен не только для усиления применения нового оборудования для обнаружения трансформаторов, но и для повышения требований к качеству персонала для обнаружения. Только высококвалифицированный технический персонал может обеспечить эффективное использование соответствующего испытательного оборудования. Исходя из актуальных потребностей развития отрасли, электроэнергетические предприятия должны рассматривать воспитание профессиональных талантов как долгосрочную работу и постоянно повышать свой профессиональный уровень.

Широкое применение новых информационных технологий, таких как искусственный интеллект, при обнаружении неисправностей силовых трансформаторов не только сокращает цикл обнаружения неисправностей, но и повышает эффективность обнаружения неисправностей, указывая направление дальнейшего развития отрасли. С помощью информационных технологий, таких как технология искусственного интеллекта, инспекторы могут создать базу данных неисправностей трансформаторов, проанализировать некоторые распространенные трансформаторы в базе данных и уточнить решения для различных неисправностей трансформаторов. Intelligence Technology может выполнить задачу обнаружения неисправностей с помощью соответствующих баз данных. Кроме того, с помощью технологий и оборудования искусственного интеллекта инспекторы также могут осуществлять динамический мониторинг

работы трансформатора и своевременно устранять нештатные ситуации, что также повышает эффективность работы по обнаружению неисправностей.

1.2.2 Анализ растворенных газов

Программа профилактического обслуживания очень важна для увеличения срока службы трансформаторов и предотвращения нештатных ситуаций. С этой целью анализ растворенных газов (АРГ) и методы электрических испытаний могут применяться к силовым трансформаторам периодически или по мере необходимости. АРГ является широко используемым и признанным во всем мире диагностическим методом для обнаружения потенциальных внутренних неисправностей трансформатора. В масляных силовых трансформаторах зарождающиеся неисправности приводят к пробое изоляционных материалов, в результате чего происходит выделение некоторого количества газов. Состав этих газов зависит от типа и серьезности неисправности. Если известно количество газов, можно правильно интерпретировать неисправности силового трансформатора, такие как частичный разряд, искрение и перегрев. Таким образом, программа технического обслуживания силового трансформатора может быть изменена с помощью знаний АРГ. [19]

С повышением точности измерения газа в масле и расширением базы данных хроматографии неисправностей маслонаполненных трансформаторов многие методы диагностики были созданы и усовершенствованы в стране и за рубежом в соответствии с результатами исследований абсолютной концентрации и относительного содержания газа, таких как характеристический газ. метод, метод газового графика, метод отношения Подождите. Стандарты интерпретации и анализа растворенных газов в трансформаторном масле в различных странах в стране и за рубежом в основном основаны на международных стандартах, таких как IEC60599, IEEE C57.104, IEC60567 и ASTM D3612, и изменены и сформулированы в сочетании с фактической работой бытовые трансформаторы. Технология анализа растворенного газа в нефти в основном включает технологию обнаружения газа и технологию диагностики газа.

АРГ применяется с использованием проб масла, взятых из работающего силового трансформатора, для контроля состояния трансформатора. Может быть получена ранняя предупредительная информация о существующих или развивающихся неисправностях. Неисправности, протекающие медленно и без заметных признаков, особенно на начальных стадиях, можно предотвратить, и, таким образом, можно избежать потенциальной неисправности трансформатора.

При оценке результатов АРГ в литературе были разработаны различные методы определения, которые включают ключевой газ, треугольник Дюваля, коэффициент Роджера, коэффициент Дёрненбурга, методы коэффициента МЭК, логарифмическую номограмму[24]. Эти методы классифицируют неисправности с использованием справочных таблиц и диаграмм, составленных в соответствии с количеством или определенным соотношением газов. Чувствительность и точность этих методов связаны с накопленными знаниями, поскольку таблицы и графики собраны по результатам многолетнего опыта[26]. Некоторые газы образуются только в результате определенных разломов. В зависимости от типа и серьезности неисправности образующиеся газы различаются по типу и количеству. Если известны тип и количество газов, можно сделать точные комментарии по поводу отказа и принять превентивные меры предосторожности. Хорошо известно, что для оценки результатов АРГ можно использовать несколько традиционных методов. Из этих методов методы треугольника Дюваля и ключевого газа обычно имеют более высокую точность и согласованность классификации[29]. Таким образом, эти методы изучаются для интерпретации результатов АРГ силовых трансформаторов в этом исследовании.

Ключевой газовый метод

В методе ключевых газов, который основан на том, какие газы являются типичными или преобладающими при различных температурах, характерные «ключевые газы» используются для обнаружения определенных неисправностей.

Таблица 1.2: Интерпретация неисправностей на основе основных газов[22]

Обнаружен ключевой газ	Интерпретация
Водород (H ₂)	Электрический частичный разряд (эффект короны)
Этилен (C ₂ H ₄)	Термическая неисправность (электрические контакты)
Ацетилен (C ₂ H ₂)	Электрическая неисправность (дуга, искра)
Кислород (O ₂)	Неисправность уплотнения трансформатора
Этан (C ₂ H ₆)	Вторичный индикатор тепловой неисправности
Метан (CH ₄)	Вторичный индикатор дуги или серьезного перегрева
Угарный газ (CO)	Разложение целлюлозы
Углекислый газ (CO ₂)	Разложение целлюлозы

При проведении оценок по этому методу рассчитывают процентные значения горючих газов. Вероятные последствия неисправности могут быть основаны на избыточном газе или газах[25]. Обнаруженные ключевые газы и соответствующие им общие причины отказов приведены в таблице 1.2.

Метод треугольника Дюваля (DuvalTriangle Method – DTM)

Метод треугольника Дюваля представляет собой графическую репрезентативную диаграмму. Он использует только концентрации метана, ацетилена и этилена (в частях на миллион). Имеется треугольная диаграмма, которая разделена на различные области, как показано на рис. 1.5. Определение точки пересечения осуществляется по процентным значениям родственных газов в системе координат. Процентные значения этих газов рассчитываются в соответствии с уравнениями, приведенными в виде:

$$\%CH_4 = \frac{100 \times x}{x + y + z}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 \times y}{x + y + z}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{100 \times z}{x + y + z}$$

Здесь $x = [CH_4]$, $y = [C_2H_4]$, $z = [C_2H_2]$ представляют значения ppm растворенных газов в масле[22]. Типы неисправностей с помощью этого метода подразделяются на шесть классов: частичный разряд (ЧР), разряд низкой энергии (D1), разряд высокой энергии (D2), низкотемпературная тепловая неисправность

(T1), среднетемпературная тепловая неисправность (T2) и высокотемпературная неисправность. тепловая неисправность (T3) [26].



Рисунок 1.5 – Треугольник Дюваля

На самом деле, анализируя диагностические отчеты АРГ, метод треугольника Дюваля является более точной, чем любой другой метод. Он тоже широко используется в области диагностики.

1.2.3 Метод низковольтных импульсов

Основной принцип метода анализа низковольтных импульсов (метод НВИ) заключается в сравнении изменений сигналов во временной области между терминами возбуждения и отклика обмоток трансформатора, чтобы получить информацию о состоянии обмоток (рис.1.6). Конкретный метод заключается в следующем: подать стабильный низковольтный источник импульсного сигнала на один термин испытуемой обмотки трансформатора, затем синхронно записать данные о форме волны напряжения на сигнальном термине и на другом термине и, наконец, сравнить изменения времени, сигнал домена на термине возбуждения и термине отклика. В общем, как только обмотка деформируется, эквивалентные параметры емкости и индуктивности на обмотке будут изменяться синхронно, что означает изменение внутренних характеристик обмотки. Следовательно, подавая один и тот же низковольтный импульсный сигнал на обмотку трансформатора, а затем по изменению ответного сигнала до и после ее деформации можно получить информацию о состоянии обмотки.

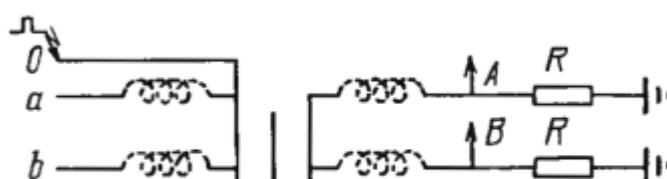


Рисунок 1.6– Схема импульсного дефектографирования трансформатора

Особенностью метода НВИ дефектоскопии трансформаторов является то, что его необходимо совмещать с фактическими измерениями в ограниченное время, включая большой объем данных измерений, обработку данных измерений, анализ и оценку результатов измерений (рис. 1.7).

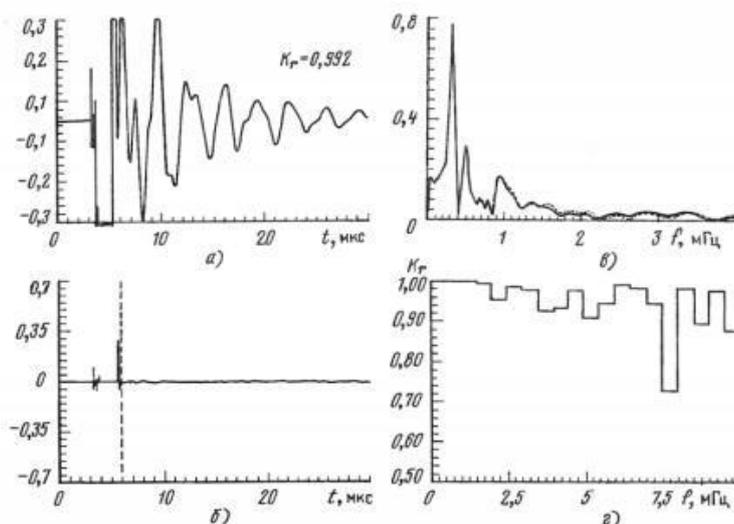


Рисунок 1.7 – Результаты импульсного дефектографирования трансформатора

Результирующий сигнал затем отображается и сохраняется в осциллографе, а затем разлагается на частотные спектры с помощью программы в mathcad.

Метод низковольтных импульсов может чувствительно и точно отражать дефекты осевой и радиальной деформации обмоток. Однако для поддержания воспроизводимости измерений требуются измерительные приборы с высокой стабильностью, постоянными стандартными формами сигналов и подключенными экранированными проводами. С развитием вычислительной техники и технологии цифрового хранения все больше преимуществ имеет запись временных сигналов в цифровом виде и передача их на компьютер для

различного анализа и обработки. Например, сглаживание, фильтрация, спектральный анализ, корреляционный анализ, анализ передаточной функции и т. д. могут выполняться для сигналов в цифровой форме. Внедрение этих методов может извлекать характеристики сигнала более эффективно, чем простой анализ во временной области, и более точно определять причину искажения сигнала.

1.2.4 Метод частотного анализа (МЧА)

Суть метода анализа АЧХ состоит в том, чтобы подать сигнал свипирующей частоты на один терминал обмотки трансформатора, синхронно записать выходной сигнал АЧХ на другой терминал, а затем построить соответствующее соотношение входных и выходных частот в разных частотных точках согласно к изменению частоты график спектра. Суть графика спектра состоит в том, чтобы отразить неравномерность распределения напряжения обмотки трансформатора при разных частотных состояниях. Когда кривая спектра достигает пика, это означает, что в этот момент распределение напряжения в обмотке может достичь экстремального состояния, что может привести к возникновению резонанса. Это должно сделать соответствующее суждение о структурных характеристиках обмотки путем изучения и анализа подобных конкретных изменений спектральной кривой.

Анализ частотной характеристики (АЧХ) является общепринятым инструментом для диагностики зарождающихся механических и электрических неисправностей внутри обмотки трансформатора. Метод АЧХ основан на графическом сравнении сигнатур частотной характеристики. Развертку АЧХ (SFRA) и импульсную АЧХ (IFRA) можно найти в зависимости от характера сигнала возбуждения. IFRA является эффективным дополнением к SFRA и также известен как метод передаточной функции (TF).

После изготовления трансформатора также определяется его структура катушки, а также определяются параметры составляющих распределенных параметров обмотки трансформатора. При воздействии на нее электрического напряжения может возникнуть деформация катушки, ее индуктивности,

емкости, сопротивление и другие параметры распределения изменятся, а также изменятся АЧХ обмотки. Сравнить количество и частоту резонансных пиков передаточной функции до и после обмотки. Сравнение по горизонтали изменения амплитуды и АЧХ Спектр трехфазной обмотки можно использовать для качественного и количественного анализа, чтобы судить о степени деформации обмотки трансформатора. Метод оценки деформации обмотки трансформатора обычно основан на следующих принципах.

В низкочастотном диапазоне (10-200 кГц) АЧХ емкостное сопротивление, образованное емкостью заземления обмотки и емкостью между лепешками, относительно велико, а индуктивное сопротивление относительно мало, т. е. индуктивность обмотки играет важную роль. Когда кривая частотной характеристики показывает, что точка резонанса уменьшается или изменяется в направлении высокой частоты, амплитуда сигнала увеличивается и т. д., можно предположить возможность общей деформации и смещения обмотки трансформатора.

Кривая АЧХ находится в средней полосе частот (200-600 кГц), играют роль как распределенная индуктивность, так и емкость обмотки, а АЧХ имеет больше резонансных пиков. Когда амплитуда резонансного пика изменяется, возможно смещение электрода; когда амплитуда резонансного пика серьезно отличается от нормы и точка резонанса смещается вперед, следует считать, что в катушке есть металлическое инородное тело; если имеется высокая полоса запираания, следует рассмотреть катушку Обрыв цепи или устройство РПН не на месте. Короче говоря, в этой полосе частот это ключевой диапазон для анализа АЧХ обмотки трансформатора. Если наблюдается значительное изменение АЧХ, например, частота резонансного пика смещается влево или вправо, или количество резонансных пиков уменьшается или увеличивается, это обычно указывает на скручивание обмотки, локальные явления деформации, такие как изгибы и шлепки.

Когда резонансный пик в полосе высоких частот (>600 кГц) АЧХ значительно изменяется, это обычно указывает на изменение емкости обмотки,

так как при высокой частоте увеличивается индуктивное сопротивление обмотки, которая в основном окружена распределенной емкостью между лепешками. Поэтому влияние на изменение резонансного пика невелико. Эта полоса частот в основном зависит от емкости. Поэтому общее смещение обмотки или изменение расстояния отвода до земли провод чейнджера является основным фактором, вызывающим изменение кривой частотной характеристики. На эту полосу частот легко влияет паразитная емкость цепи измерения по отношению к земле, масляным подушкам и положению человеческого тела. Если цепь тестового соединения подключена неправильно, трудно обеспечить повторяемость двух тестов. результаты в этой полосе частот, поэтому проводка цепи и внешняя среда во время теста должны быть как можно более согласованными.

1.2.5 Диагностика частичных разрядов

Одной из распространенных неисправностей силовых трансформаторов является нарушение изоляции. Важной причиной такого ухудшения изоляции или даже ее пробоя является частичный разряд в изоляционной конструкции трансформатора. Как внутренняя изоляционная структура электрооборудования, испытание на частичные разряды является важным параметром для измерения его надежности.

Возникновение частичных разрядов происходит в основном из-за действия трансформаторов, трансформаторов и другого высоковольтного электрооборудования под высоким напряжением, что вызывает разряд внутренней изоляции. Такой разряд существует только в части изоляции, и не может сразу вызвать пробой и прогар всей изоляционной сети, поэтому его называют частичным разрядом. Сила частичного разряда очень слаба, и его нельзя обнаружить только человеческим глазом и интуитивными ощущениями, его можно обнаружить только с помощью высокочувствительного прибора для проверки частичных разрядов.

Во время работы трансформатора изоляция в трансформаторе находится под действием рабочего напряжения. С повышением уровня напряжения

увеличивается и напряженность электрического поля, которую выдерживает изоляция, так что весьма вероятно возникновение частичных разрядов в слабая изоляция.

Следом частичного разряда является лишь небольшое пятно на твердой изоляции или дендритный след ожога. Хотя время частичного разряда очень мало, а энергия мала, он может причинить большой вред. Его длительное существование, несомненно, нанесет большой ущерб изоляционным материалам. Разряд будет генерировать озон, тепло, оксиды азота и другие химические вещества, которые вызовут коррозию и старение изоляции, что в конечном итоге приведет к термическому разрушению.

Во избежание повреждения оборудования и серьезных аварий в электросети, обнаружение частичных разрядов может использоваться для определения места возможного повреждения изоляции оборудования в будущем и своевременного ремонта.

Ультразвуковой метод

При испытательном напряжении в трансформаторе будут возникать частичные разряды, что приведет к появлению и быстрому распространению ультразвуковых волн. Если это высокочастотная электрическая помеха, которая в то же время передается в ее электрическую цепь, это означает, что в оборудовании имеется частичный разряд. В случае возникновения частичных разрядов в силовых трансформаторах ультразвуковой метод является эффективным методом контроля, который позволяет точно локализовать место частичного разряда в оборудовании и отслеживать его изменения. Поскольку этот метод в принципе прост, он широко используется в энергетике.

Метод импульсного тока

Метод импульсного тока заключается в том, чтобы поместить обнаруженный импеданс в контур для получения обмотки и заземляющего провода силового оборудования. Метод импульсного тока обладает высокой чувствительностью и позволяет не только измерять количество частичных

разрядов, но и определять их местонахождение. Сейчас часто для извлечения импульсной информации используют трансформатор тока пояса Роговского.

Метод высокочастотного тока

Метод высокочастотного тока представляет собой бесконтактный метод, генерируемый развитием обычного импульсного тока. Импеданс измеряется с помощью пояса Роговского, а в цепи связи предлагается крутой импульсный сигнал. Этот сигнал генерируется частичным разрядом. При обнаружении в реальном времени часто используется проверка структуры без обратной связи методом высокочастотного тока.

1.3 вывод по разделу

Таким образом, можно сделать следующие выводы: проанализированы источники распространенных неисправностей обмоток трансформаторов и их причины. А также рассмотрены методы диагностики трансформаторов тока и перечислить их характеристики.

ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основная задача экспериментов, описанных в этой главе, состояла в разработке адекватной, надежной и удобной для практической работы модели и проведения на этой модели экспериментов по выявлению механических дефектов обмотки. За основу были взяты пробные моделирования обмоток высоковольтного силового трансформатора марки ТМ-160/10-У1.

Чтобы лучше моделировать различные состояния обмоток трансформатора, устанавливаются следующие имитационные модели. В рамках этой модели исследуются различные дефекты обмоток и возможность их эффективной диагностики методом наносекундных импульсов.

2.1 Описание имитационной модели

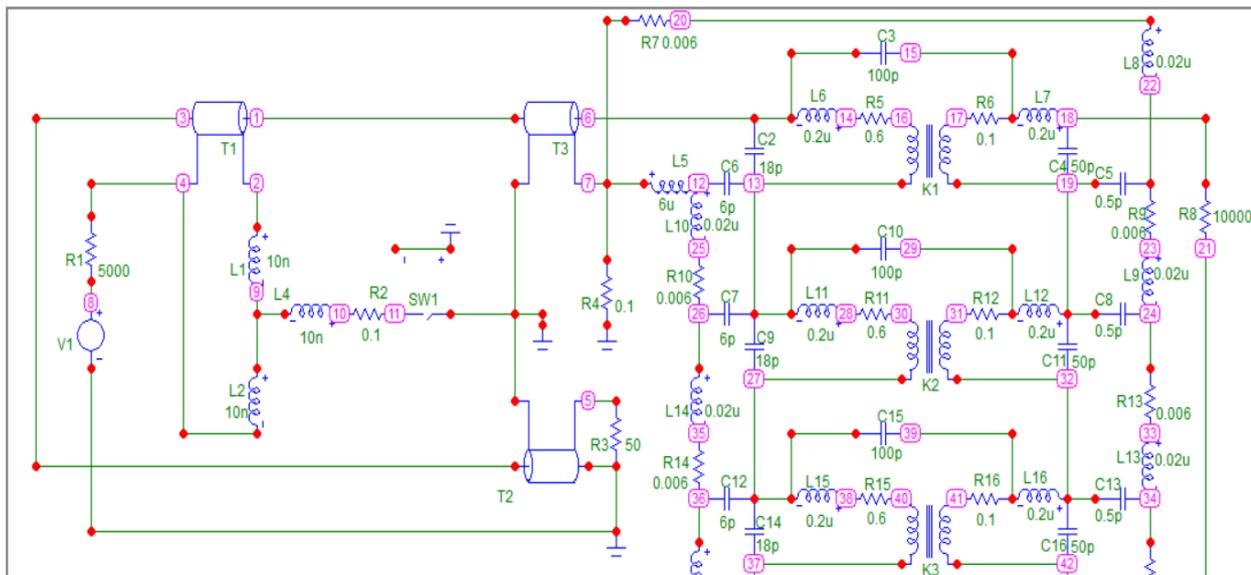


Рисунок 2.1 Схема имитационной модели

Как видно из приведенного выше рисунка, левая часть — это генератор импульсов, отвечающий за генерацию импульса. Правая часть — трехгрупповая модель обмотки трансформатора, левая — высоковольтная обмотка. Справа находится обмотка низкого напряжения. Среди них конденсаторы С6, С7 и С12 могут имитировать радиальное смещение витки обмотки, а конденсаторы С2, С9 и С14 могут имитировать аксиальное смещение витки обмотки. Если аксиальное

смещение витки обмотки очевидно, то есть соседние витки постепенно сближаются, то в конце происходит короткое замыкание.

В процессе моделирования сначала мы подключаем осциллограф между 6 и 7 и можем наблюдать форму сигнала входного импульса. Другой подключение выполняется между точками схемы 23 и 24, и наблюдаем за сигналом, выдаваемым катушкой. Этот метод является классическим и традиционным методом обнаружения импульсов. Он диагностирует дефекты обмотки трансформатора, сравнивая изменения последней формы выходного сигнала.

Теперь мы улучшаем этот классический метод и оставляем только импульсный вход, т. е. на осциллографе наблюдается только одна форма сигнала. Это улучшение основано на упрощении наблюдаемой формы волны. На этой основе мы проводим имитационные эксперименты.

2.2 Разработка имитационной модели

Задача моделирования – разработка имитационной модели трансформатора 10/0.4 кВ для возможности моделировать любой тип, локализацию и сочетание дефектов различной степени развития для проведения полного комплекса исследований контроля состояния обмоток силовых трансформаторов.

Схема контроля состояния обмоток трансформатора реализована следующим образом. Во-первых, на имитационной модели в программе «Microsar» импульсный сигнал формируется и регистрируется генератором импульсов, а разница в процессе моделирования сравнения может быть использована как подтверждение дефектного состояния системы. В настоящее время может быть выполнен только качественный анализ результатов моделирования.

Потом методы обработки сигналов используются для количественной оценки путем определения спектральных изменений при повреждении обмотки. Применение спектрального анализа сделает процесс изменения состояния обмотки трансформатора более наглядным и легким. Во время моделирования мы используем методы частотной характеристики для анализа различных

состояний обмоток трансформатора. При этом для построения АЧХ установлен численный спектральный анализ на основе дискретного преобразования Фурье. В этой части будет реализовано преобразование Фурье импульсного сигнала по следующей формуле в mathcad.

$$F_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S_k \cdot \exp\left(-j \frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (2.1)$$

где: N – количество измеренных за период значений сигнала;

S_k – значения сигнала, измеренные в дискретных временных точках;

F_n – комплексные амплитуды синусоидальных сигналов, составляющих исходный сигнал (обозначают одновременно амплитуду и фазу);

k – временной индекс входных отсчётов, $k=0, \dots, N-1$;

n – индекс, используемый в частотной области, $n=0, \dots, N-1$.

Путем разделения исходного импульсного сигнала на несколько гармоник и выполнения обратного преобразования Фурье импульсы преобразуются с использованием разного количества гармоник. Можно обнаружить, что когда количество гармоник равно 50 (т. е. ряд Фурье равен 50), разница между исходным импульсом и новым импульсом незначительна.

2.3 Принцип импульсного дефектографирования

Принцип анализа двухступенчатого метода заключается в том, что генератор импульсов подключается к входу обмотки и выдает низковольтный импульсный сигнал, одновременно записывая отклик с другого входа обмотки.

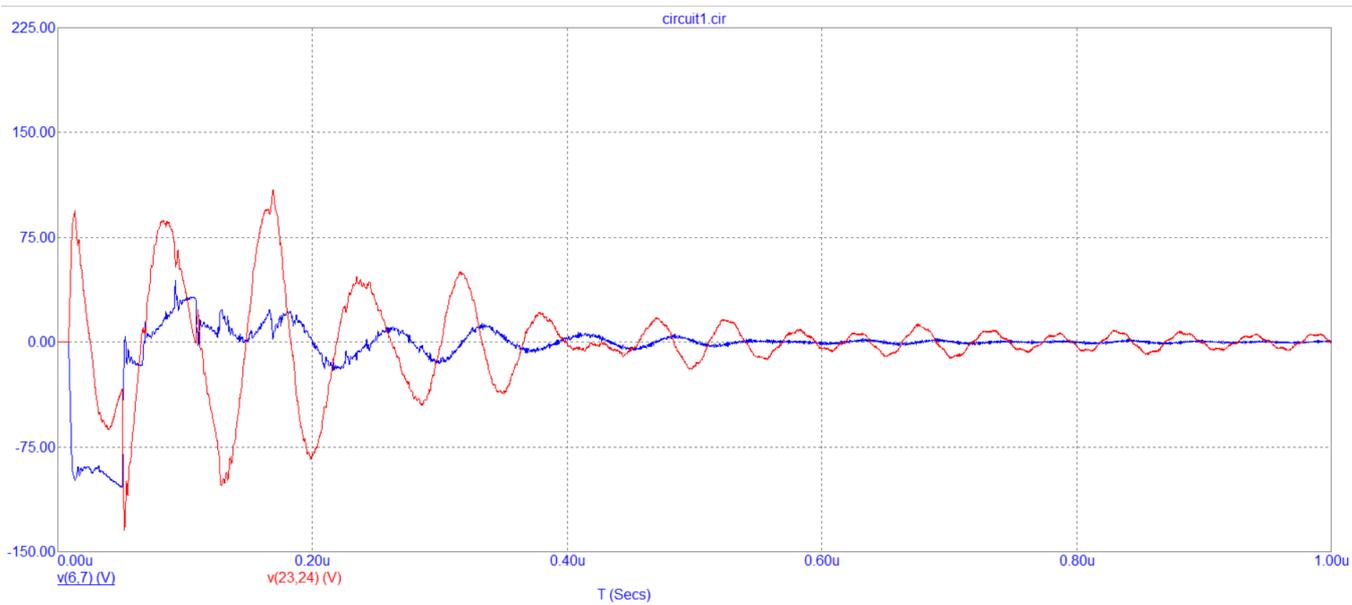


Рисунок 2.2 график анализом двухступенчатого метода

Принцип анализа одноступенчатого метода использует только подачу пробных импульсов и регистрацию отклика сигнала на осциллографе и последующий спектральный анализ. После разложения в спектр нужно найти отношение спектра отклика и зондирующего импульса.

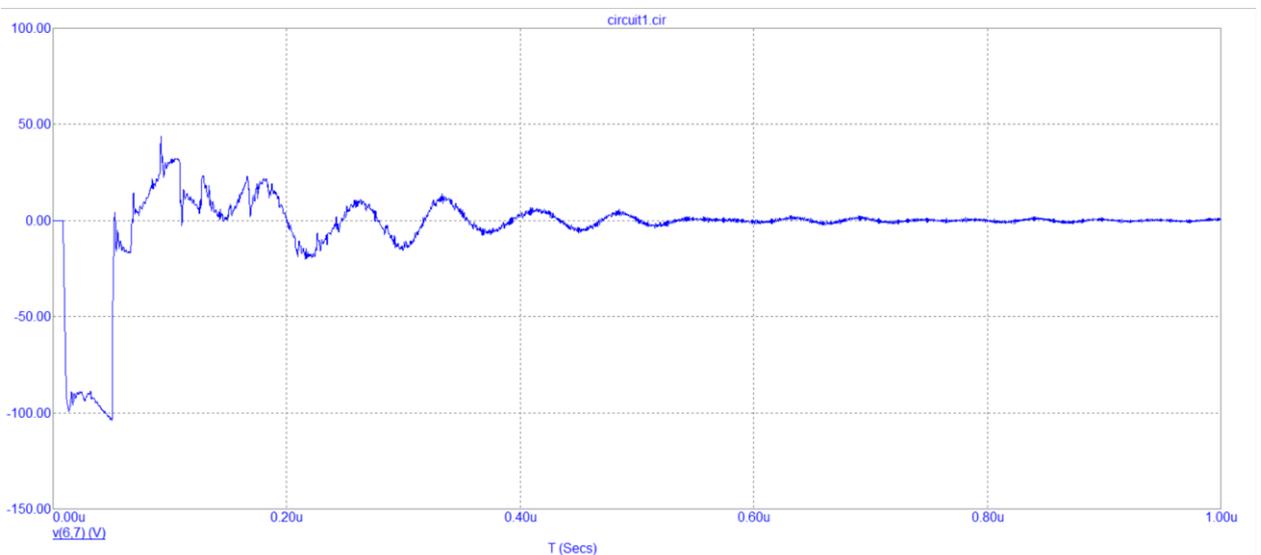


Рисунок 2.3 Форма волны на здоровой обмотке
определенная с помощью одноступенчатого метода на модели

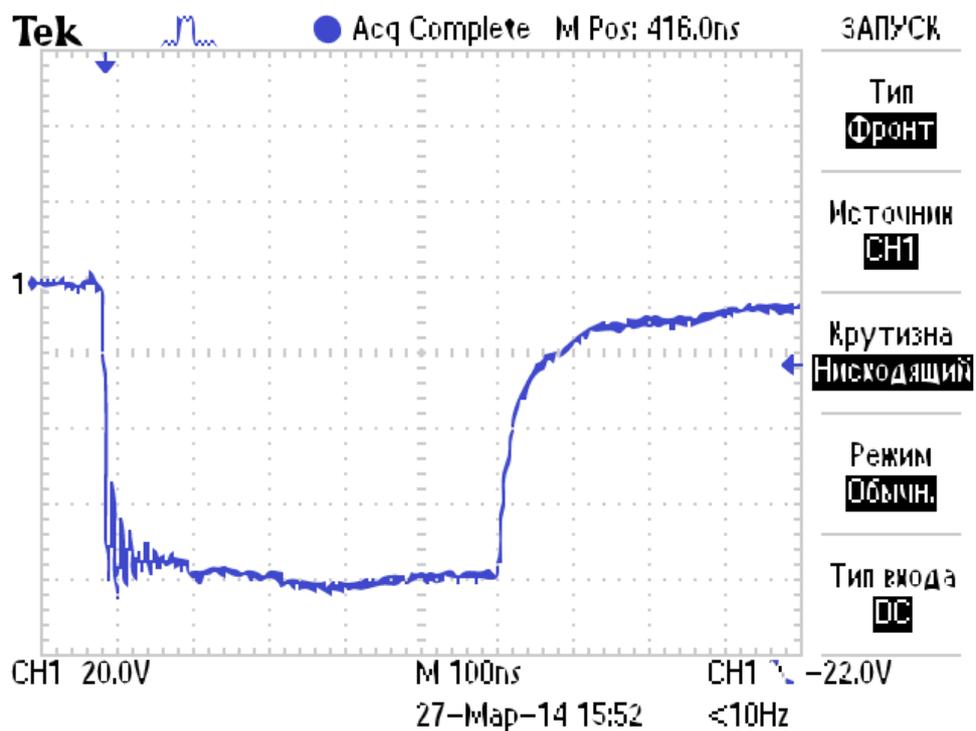


Рисунок 2.4 Форма волны на здоровой обмотке определенная с помощью одноступенчатого метода на реальной обмотке

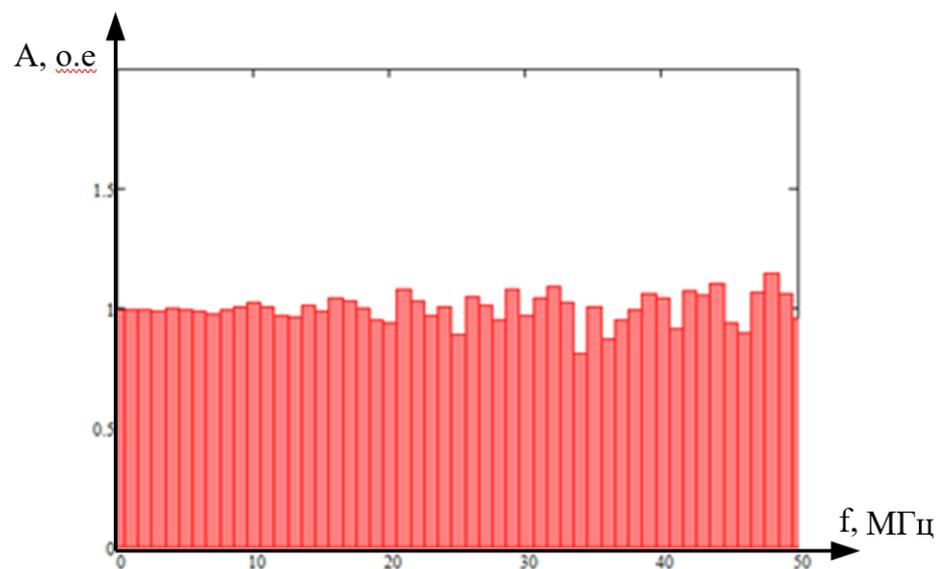


Рисунок 2.5 отношение АЧХ нормограмм здоровой обмотки спектральным анализом

Если амплитуда АЧХ существенно изменится, можно судить о неисправности и повреждении исследуемой обмотки трансформатора. Изменения на гистограмме могут служить прямым свидетельством наличия неисправности.

2.4 Моделирование определения дефекта типа «радиальное смещение»

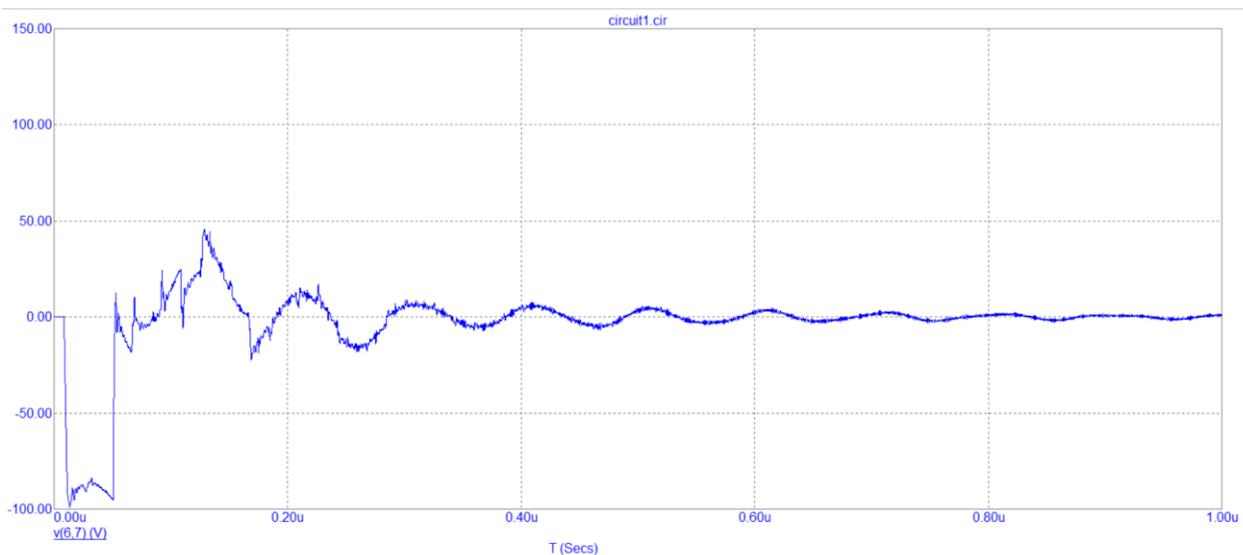


Рисунок 2.6 Осциллограмма зондирующего импульса при наличии дефекта «радиальное смещение» полученная на модели №1
C6=20p C7=6p C12=6p // C2=18p C9=18p C14=18p

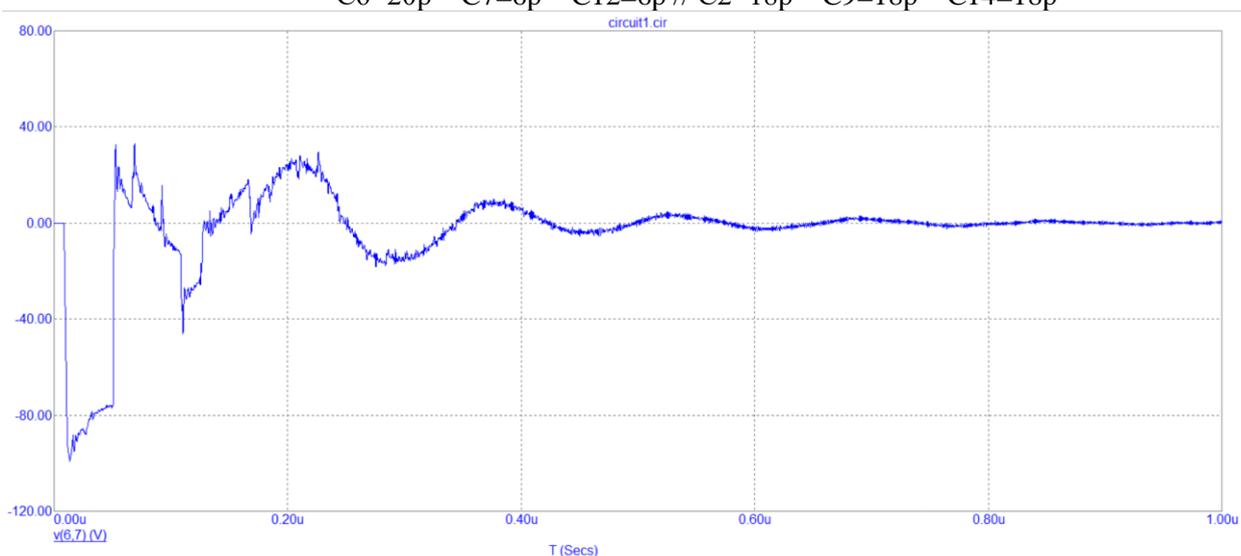


Рисунок 2.7 Осциллограмма зондирующего импульса при наличии дефекта «радиальное смещение» полученная на модели №2
C6=100p C7=6p C12=6p // C2=18p C9=18p C14=18p

Эта часть спектрального анализа была выполнена на карте нормалей и дефекте «радиальное смещение» в трех верхних витках обмотки.

На рисунках 2.8–2.12 показаны скриншоты импульсной волны и отношения дефекта к спектру нормальной обмотки зондируемого импульса трансформатора.

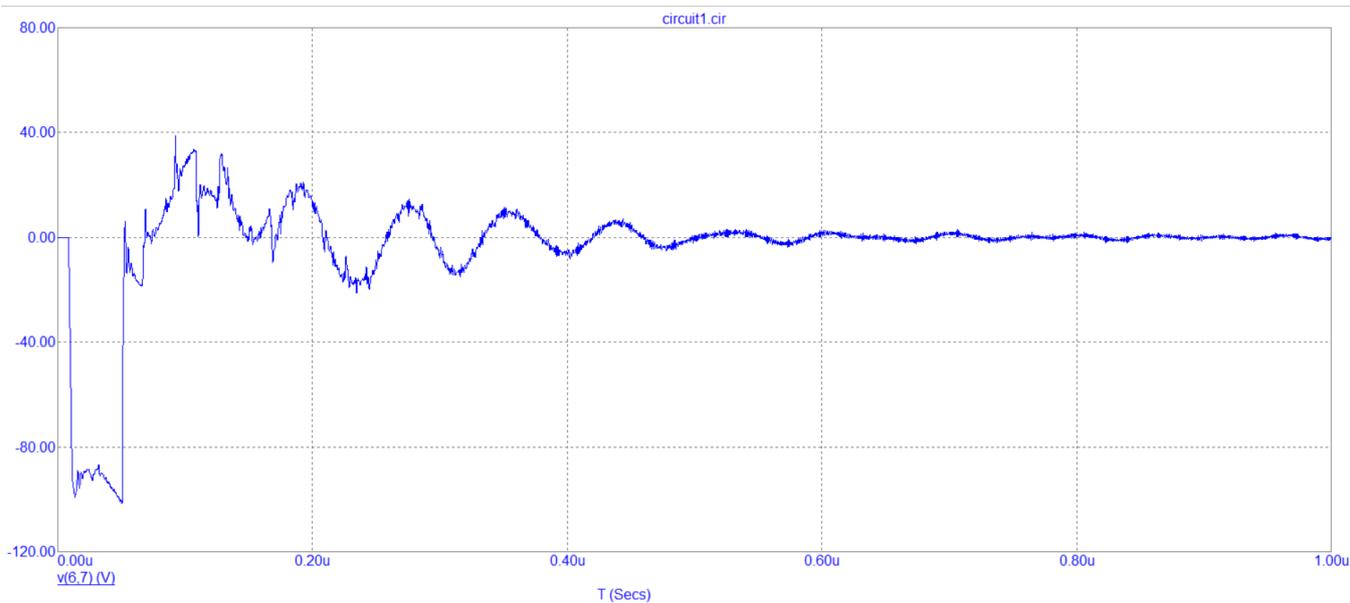


Рисунок 2.8 Осциллограмма зондирующего импульса при наличии дефекта «радиальное смещение» 3 витков, полученная на модели

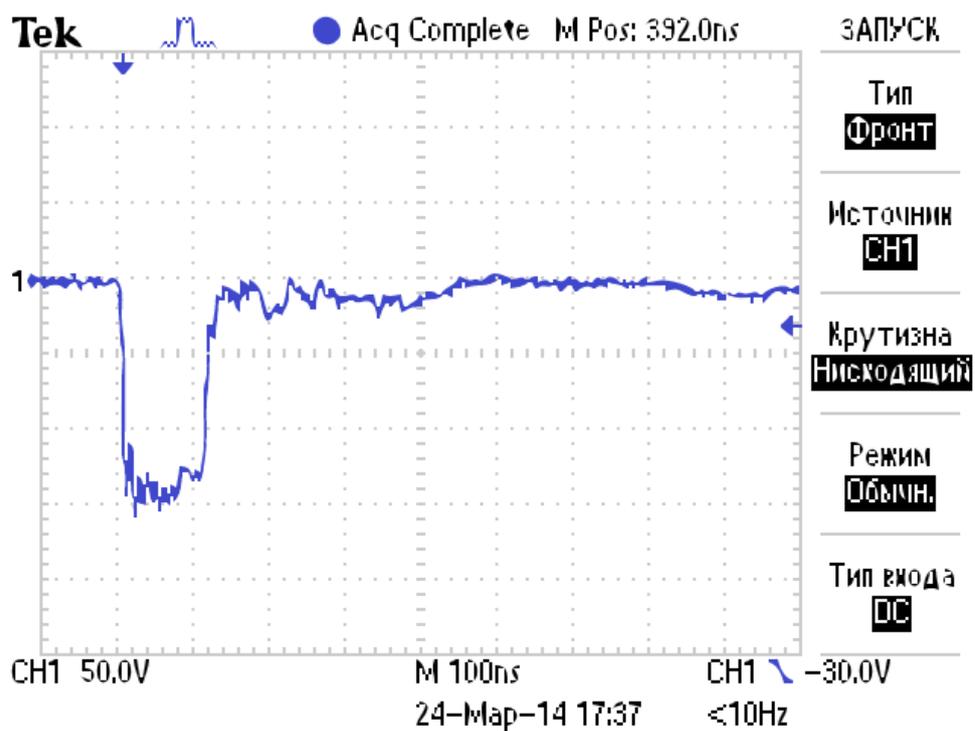


Рисунок 2.9 Осциллограмма зондирующего импульса при наличии дефекта «радиальное смещение» 3 витков, полученная на реальной обмотке

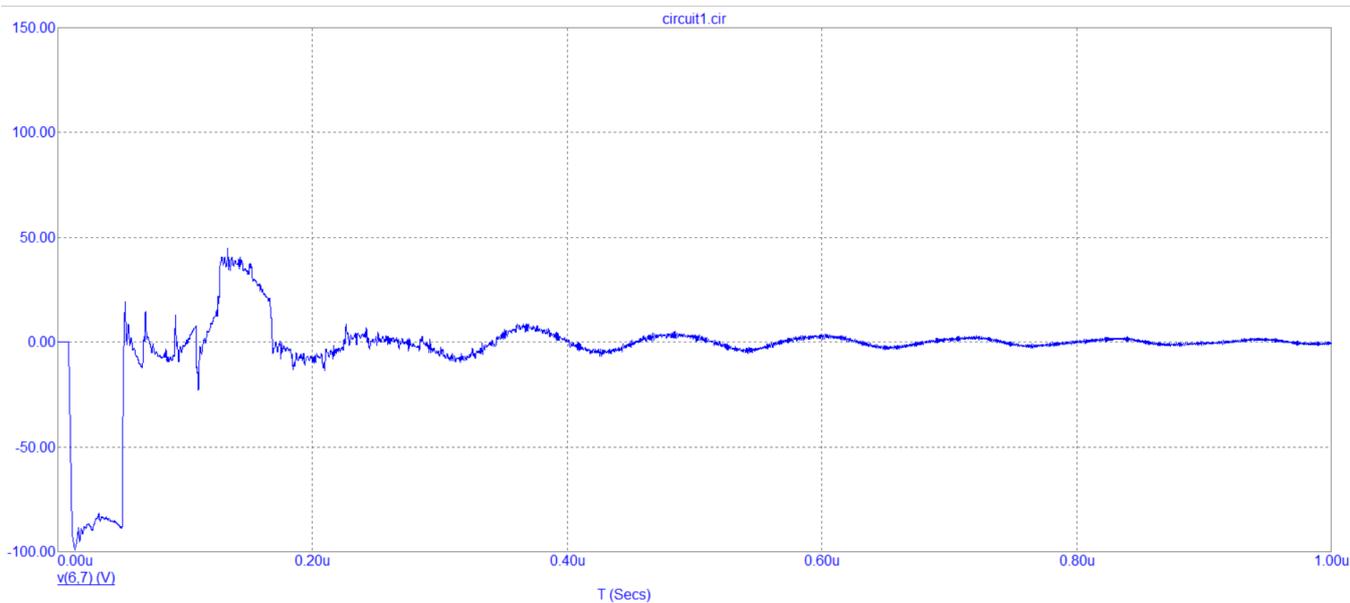


Рисунок 2.10 Форма волны на здоровой обмотке с дефектом «Радиальное смещение» 2 витков, определенная с помощью одноступенчатого метода

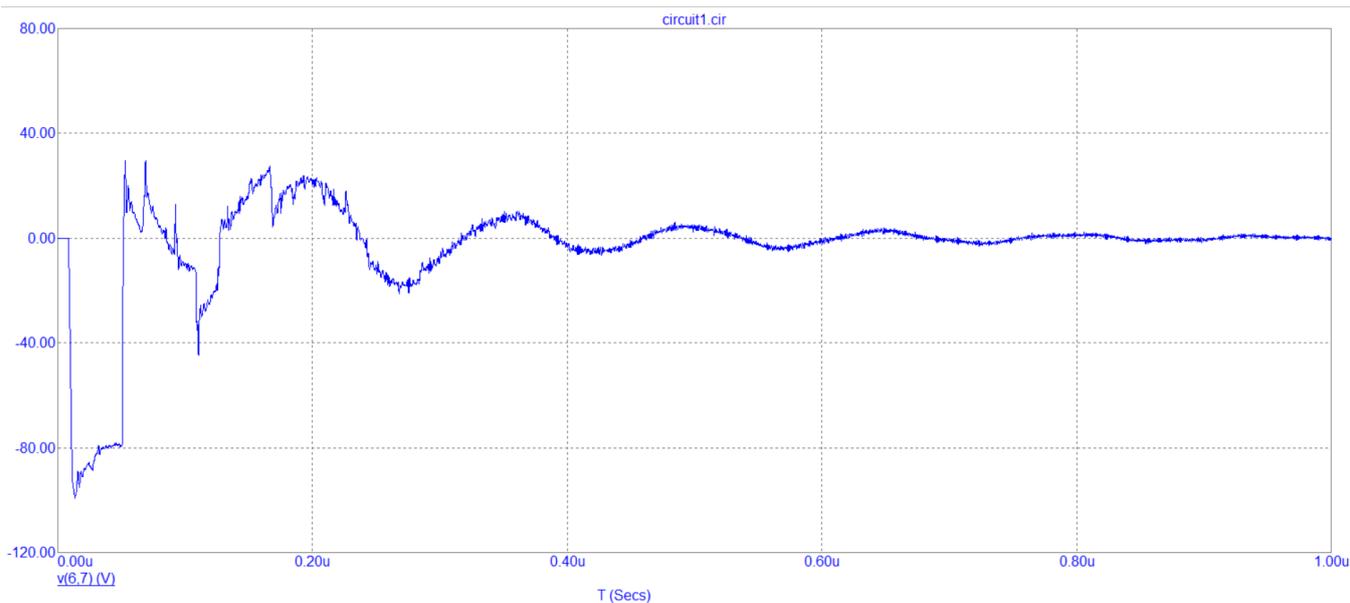


Рисунок 2.11 Форма волны на здоровой обмотке с дефектом «Радиальное смещение» 4 витков, определенная с помощью одноступенчатого метода

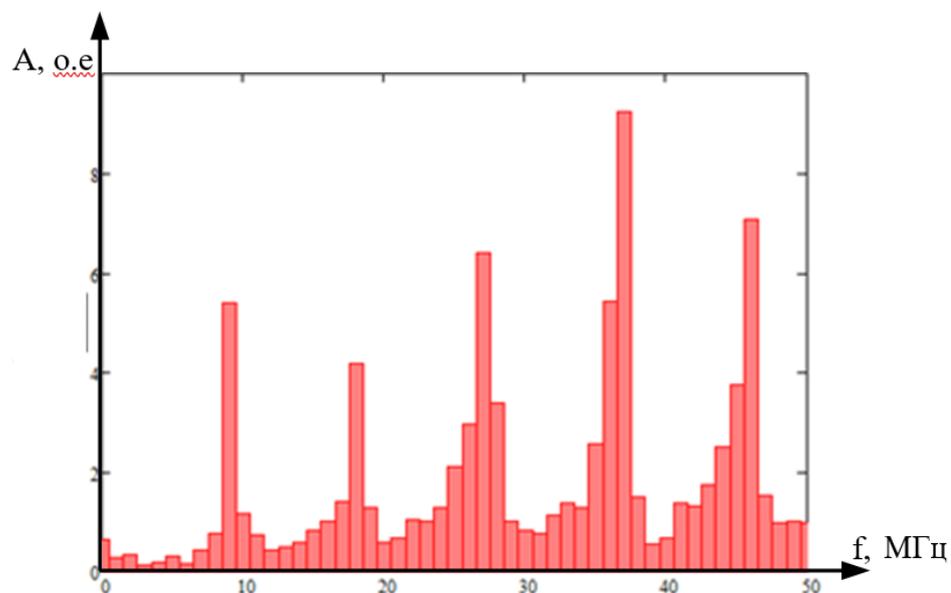


Рисунок 2.12 Отношение АЧХ спектров дефекта «радиальное смещение» 3 витков

2.5 Исследование процесса диагностики обмотки при наличии дефекта «аксиальное смещение»

В этом параграфе приедены результаты моделирования дефекта типа «аксиальное смещение» 4 витков обмотки.

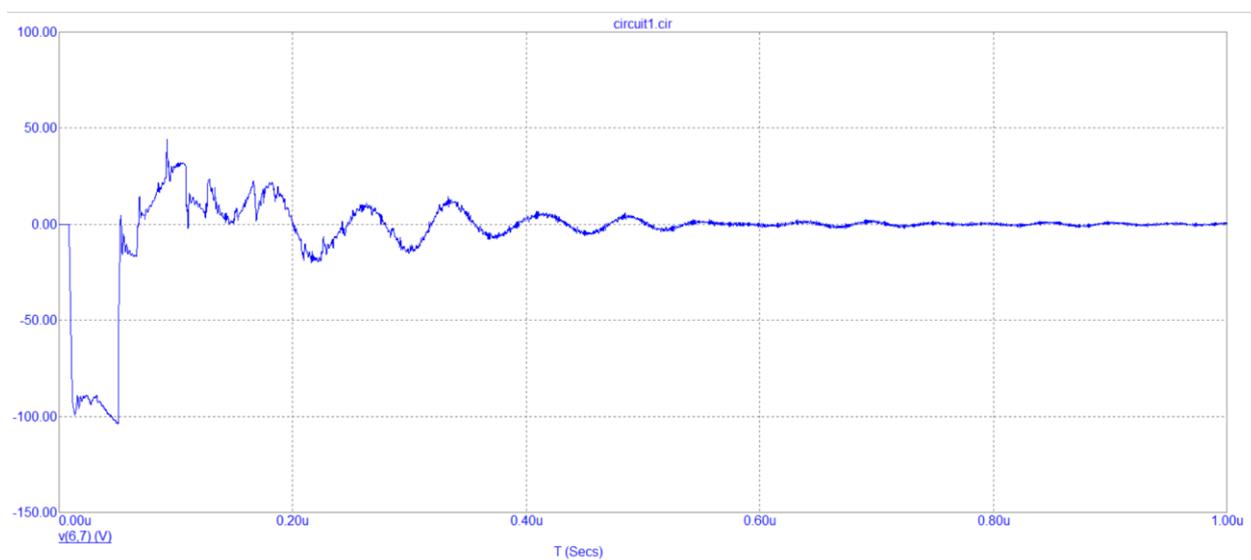


Рисунок 2.13 Осциллограмма зондирующего импульса при наличии дефекта «аксиальное смещение» полученная на модели №1

C2=20p C9=20p C14=18p

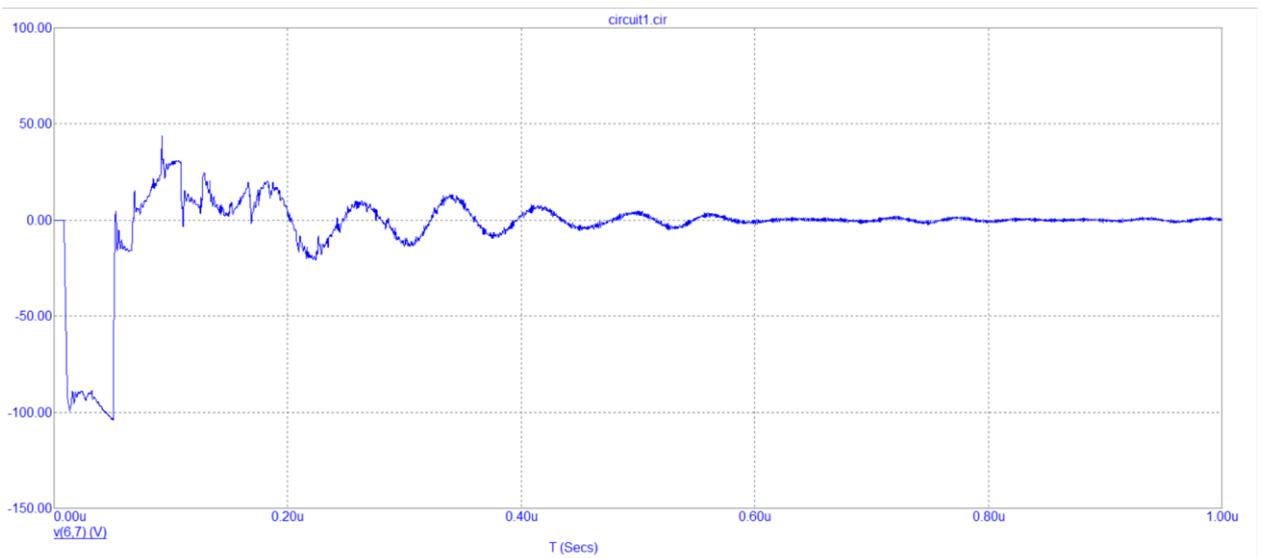


Рисунок 2.14 Осциллограмма зондирующего импульса при наличии дефекта «аксиальное смещение» полученная на модели №2 $C2=30p$ $C9=30p$ $C14=30p$

На рисунках 2.15–2.20 представлены скриншоты волн импульсов и отношения спектров с дефектом к здоровой обмотке зондирующего импульса трансформатора.

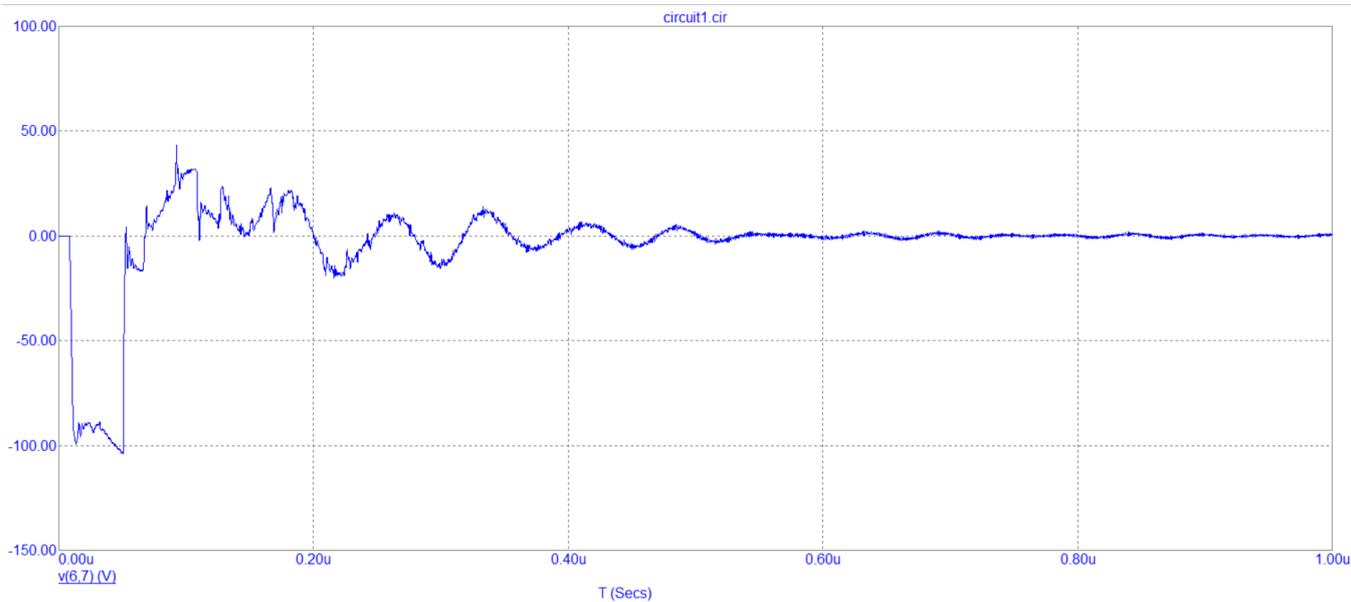


Рисунок 2.15 Форма волны с дефектом «аксиальное смещение» 4 витка, определенная с помощью одноступенчатого метода

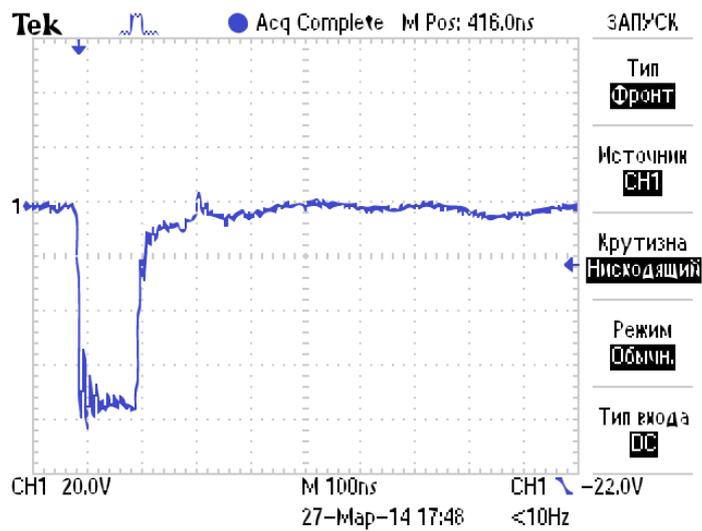


Рисунок 2.16 Осциллограмма зондирующего импульса для обмотки с дефектом «аксиальное смещение» 4 витка, полученная при обследовании реального трансформатора

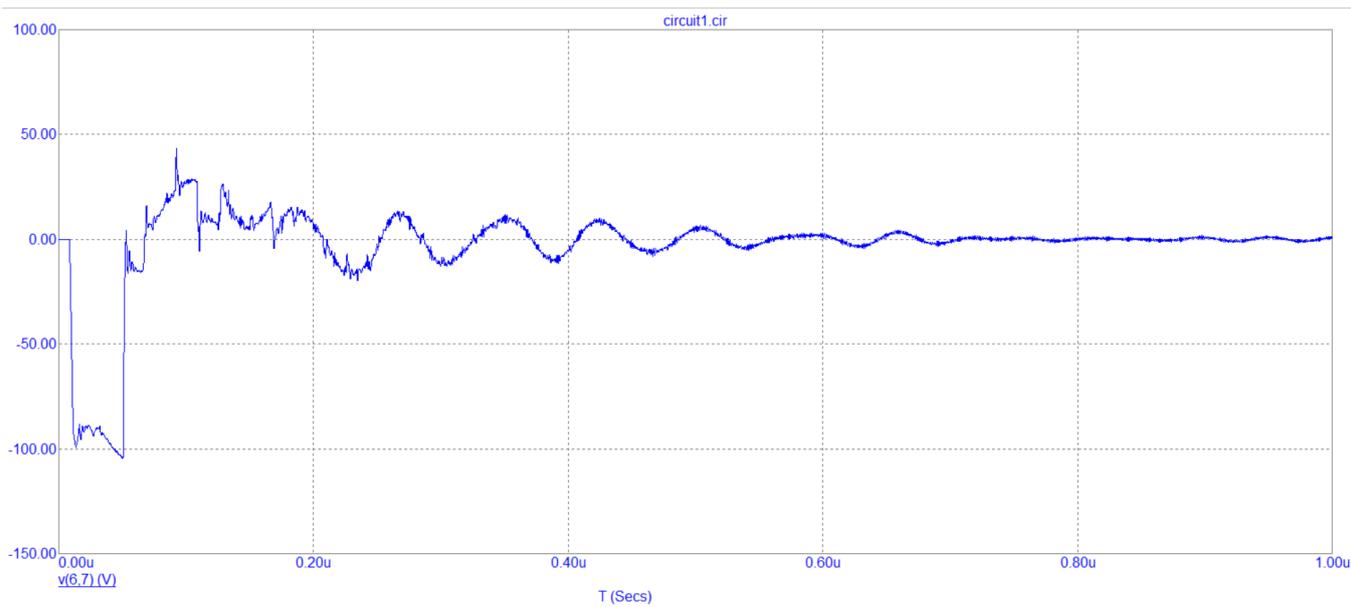


Рисунок 2.17 Форма волны на здоровой обмотке с дефектом «аксиальное смещение» 2 витков, определенная с помощью одноступенчатого метода

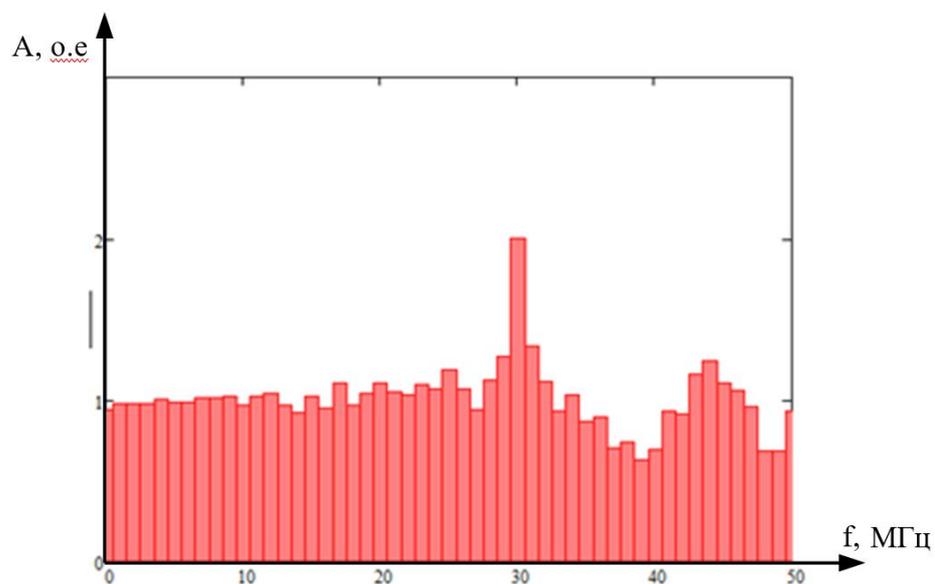


Рисунок 2.18 Отношение АЧХ спектров дефекта «аксиальное смещение» 2 витков

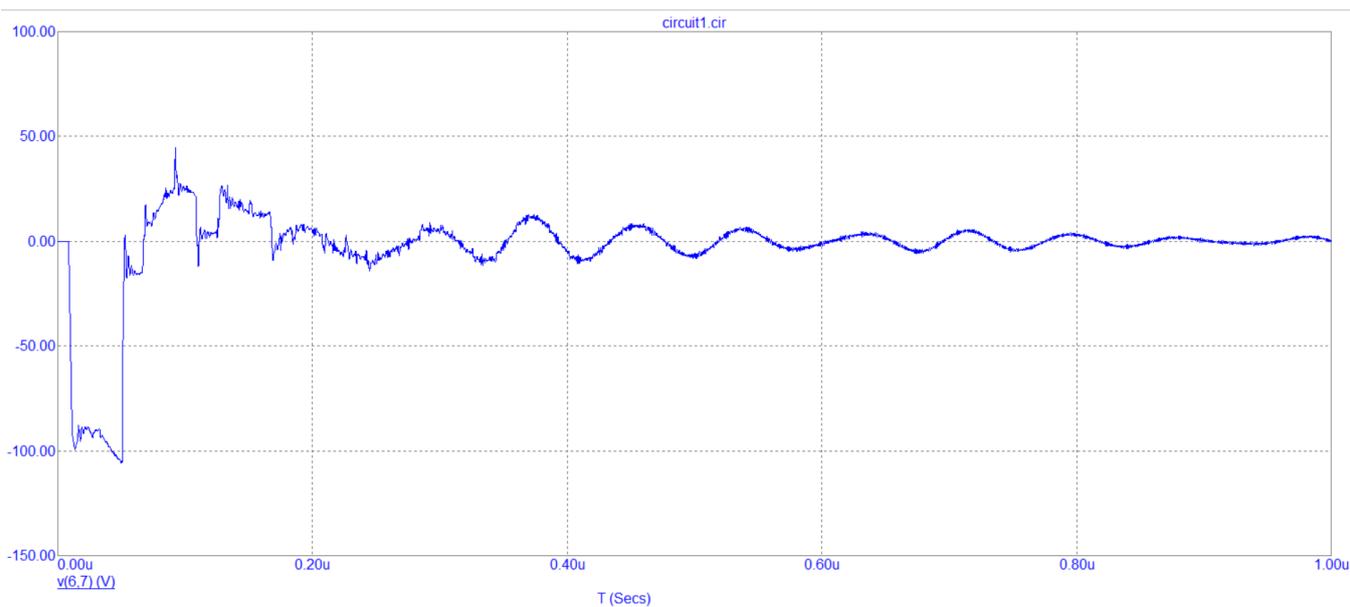


Рисунок 2.19 Форма волны на здоровой обмотке с дефектом «аксиальное смещение» 8 витков, определенная с помощью одноступенчатого метода

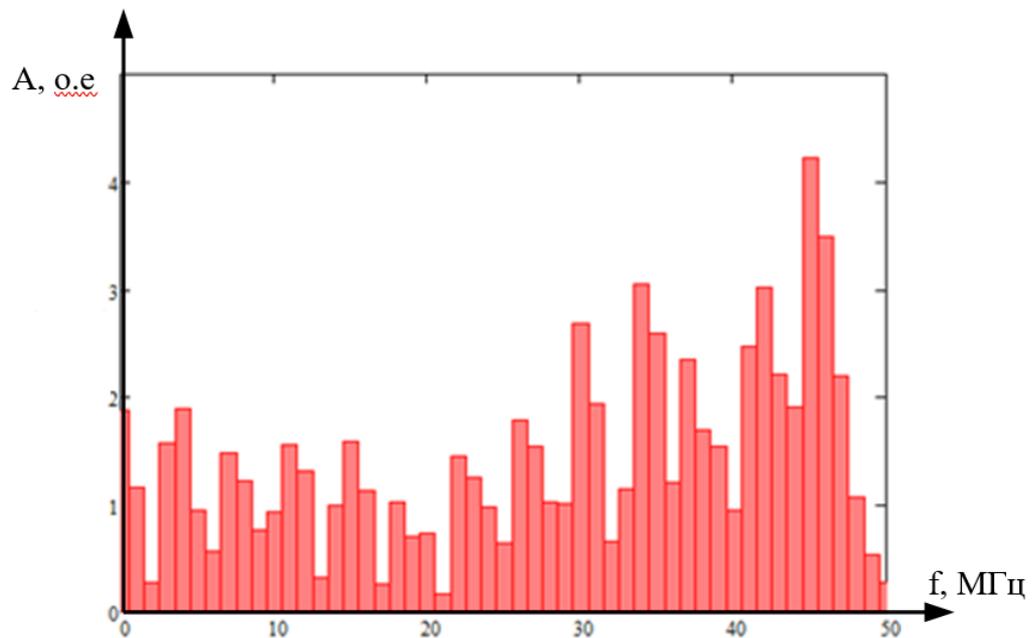


Рисунок 2.20 Отношение АЧХ спектров дефекта «аксиальное смещение» 8 витков

2.6 вывод по разделу

Из анализа и сравнения, приведенного выше рисунка видно, что при постоянном увеличении обмоток, имитирующих дефект, не только изменения формы импульсного сигнала могут постепенно отражаться на графике формы сигнала, но также можно увидеть больше изменений на графике спектра. Это показывает, что одноступенчатый метод выполним и может найти дефекты в обмотках трансформатора. Когда дефект явно не наблюдается, изменение спектрограммы может быть использовано для определения наличия дефектов.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ09	Тан Лян

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и Электротехника

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>	Ставка по депозитам – 7%, премия за риск – 5% (в соответствии с методологией, принятой в энергетической отрасли: Приказ N 5994 от 25.05.16 г., Постановление правительства N 442 от 04.05.2012г.). Дополнительная заработная плата 13%, 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Общая система налогообложения, ставка дисконтирования 12 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки научного исследования: - определение контрольных событий проекта; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета НИ: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Экономическая оценка эффективности инвестиций в проект

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i> 2. <i>Итоговая матрица SWOT-анализа</i> 3. <i>Иерархическая структура работ</i> 4. <i>График Ганта</i> 5. <i>Организационная структура проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		01.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ09	Тан Лян		01.03.2022

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Проработка вопросов финансового менеджмента является одной из основных задач при разработке любого проекта. Она позволяет трезво оценить коммерческий потенциал исследования, выявить уязвимые места и спланировать предстоящие этапы разработки.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Основной задачей технико-экономического расчёта является определение величины экономического эффекта от использования в общественном производстве основных и сопутствующих результатов, получаемых при решении поставленной задачи в данной диссертации, цель работы которой является разработка технологии контроля состояния обмоток трансформаторов и нестандартной аппаратуры для ее реализации.

Конечным результатом работы является диагностический комплекс, обладающий высокой чувствительностью и способностью обнаруживать дефекты на ранней стадии их развития. Своевременное обнаружение любого вида дефекта, на ранней стадии развития в обмотках трансформатора, позволит существенно сэкономить денежные ресурсы во время замены или ремонта неисправной части оборудования.

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Разрабатываемый комплекс для диагностики трансформаторного оборудования нацелен в первую очередь на рынок российских предприятий электроэнергетической отрасли, имеющих в своём ведении фонд трансформаторов, и в первую очередь это ПАО «ФСК ЕЭС». Также, в целевой рынок входят такие компании как:

- ООО «Газпром энерго»
- ООО "Эльмаш (УЭТМ)"
- АО «НК «Роснефть»

Сегментировать рынок услуг по разработке информационной системы можно по следующим двум наиболее значимым критериям: архитектура системы и размер нефтегазодобывающего предприятия.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке оборудования для диагностики трансформаторного оборудования

		Диагностические комплексы		
		Импульс-5 (диагностика методом низковольтных импульсов)	Megger FRAX- 101 (диагностика методом амплитудночастотного анализа)	Megger TTR310 (диагностика методом низковольтных импульсов)
Сфера деятельности компании	Электроэнергетика			
	Нефтегазовые			
	Производственные			



–ООО
«ЭЛЕКТРОПРИБОР»



ООО «Квадро
Электрик»



НПП «ЭКРА»

Как видно из таблицы 3.1, наиболее низкий уровень конкуренции наблюдается среди компаний, которые относятся к нефтегазовой сфере. Таким образом, в первую очередь планируется занять свободные сегменты рынка в нефтегазовой сфере, а также проводить конкурентную стратегию по внедрению разрабатываемого диагностического комплекса в электроэнергетические и производственные компании, которые на данный момент пользуются продуктами «Квадро Электрик», «ЭЛЕКТРОНПРИБОР», НПП «ЭКРА».

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Произведем оценку анализа конкурентоспособности разработки с помощью оценочной карты.

На рынке оборудования для диагностики силовых трансформаторов можно выделить два основных крупных конкурента. Это диагностические комплексы, предназначенные для диагностики механического состояния обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов (НВИ), производства фирм «ЭЛЕКТРОНПРИБОР» и «ЭКРА». Таким образом, оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений будет составлена для трех систем. В таблице 3.2, приведённой ниже, B_{ϕ} – разрабатываемый диагностический комплекс контроля состояния обмоток силовых трансформаторов на основе наносекундных прямоугольных импульсов, $B_{к1}$ – диагностический комплекс «ЭЛЕКТРОНПРИБОР», $B_{к2}$ – диагностический комплекс «ЭКРА».

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4

2. Помехоустойчивость	0,06	3	3	3	0,18	0,18	0,18
3. Надёжность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
4. Чувствительность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Потребность в ресурсах памяти	0,01	4	5	4	0,04	0,05	0,04
6. Функциональная мощность	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
7. Простота эксплуатации	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
10. Быстрота обучения персонала	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	1	5	4	0,05	0,25	0,2
3. Цена	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Финансирование научной разработки	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
Итого	1	69	60	63	4,52	3,51	3,72

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (3.1)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Анализ оценочной карты показал, что наивысший уровень конкурентоспособности (4,52 единицы) принадлежит разрабатываемой технологии контроля состояния обмоток силовых трансформаторов на основе наносекундных импульсов, так как технология обладает наибольшей чувствительностью, надежностью и функциональной мощностью, что является ключевым фактором при выборе диагностического оборудования. Выявление механических дефектов в обмотках силовых трансформаторов на ранних стадиях развития позволяет предотвратить масштабные аварии в энергосистеме, вовремя выводить оборудование в ремонт, тем самым продлевая срок службы оборудования. Разрабатываемая технология предполагает совместное использование метода низковольтных импульсов и метода амплитудно-частотного анализа, в то время как в основе диагностического оборудования остальных фирм-конкурентов лежит только один из перечисленных методов. Все вышеуказанные возможности разрабатываемого оборудования для диагностики силовых трансформаторов делают его наиболее конкурентоспособным по сравнению с конкурентами.

Диагностический комплекс фирмы «ЭКРА» также обладает высокой конкурентоспособностью, однако она уступает разрабатываемому комплексу из-за высокой цены и низкой чувствительности. Также данный комплекс значительно уступает разрабатываемому по функциональной мощности. Диагностический комплекс, производимый фирмой «ЭЛЕКТРОНПРИБОР», имеет самую низкую среди всех конкурентоспособность. Это связано с тем, что он имеет наибольшую цену, которая не соответствует уровню чувствительности и надёжности.

Таким образом, конкурентоспособность разрабатываемого диагностического комплекса достигнута благодаря следующим показателям:

- надёжность;
- чувствительность;

- функциональная мощность;
- низкая цена.

3.1.3 SWOT-анализ

Для комплексного анализа научно-исследовательского проекта был применён SWOT-анализ, который представляет собой комплексный анализ внешней и внутренней среды проекта. Он проводился в несколько этапов.

На первом этапе были выделены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для его реализации.

Сильные стороны проекта:

- С1. Наличие прототипа научной разработки;
- С2. Низкая стоимость;
- С3. Заявленная надёжность, чувствительность и функциональная мощность;
- С4. Удобство и простота эксплуатации;
- С5. Квалифицированный персонал;
- С6. Наличие финансирования (гранты РФФИ);
- С7. Доступ к инновационной инфраструктуре ТПУ.

Слабые стороны проекта:

- Сл1. Малый опыт работы одного из исполнителей проекта
- Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца
- Сл3. Низкая помехоустойчивость
- Сл4. Не постоянная занятость в работе над проектом отдельных исполнителей

Возможности:

- В1. Повышение стоимости конкурентных разработок.
- В2. Наличие связи с предприятиями изготовителями диагностических комплексов

➤ В3. Высокий уровень предложения на рынке комплектующих деталей

Угрозы:

➤ У1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой;

➤ У2. Введение дополнительных требований к сертификации продукции;

➤ У3. Низкий уровень проникновения на рынок.

На втором этапе происходило выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. По результатам данного этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – SWOT-матрица

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Наличие прототипа научной разработки С2. Низкая стоимость С3. Высокая надёжность, чувствительность и функциональная мощность С4. Удобство и простота эксплуатации С5. Квалифицированный персонал С6. Наличие финансирования (гранты РФФИ) С7. Доступ к инновационной инфраструктуре ТПУ</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Малый опыт работы одного из исполнителей проекта Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл3. Низкая помехоустойчивость Сл4. Не постоянная занятость в работе над проектом отдельных исполнителей</p>
<p>Возможности В1. Повышение стоимости конкурентных разработок. В2. Наличие у университета (ТПУ) связи с предприятиями-изготовителями диагностических комплексов В3. Высокий уровень предложения на рынке комплектующих деталей</p>	<p>В1С2С3С4 – Разработка стратегии конкуренции на рынке за счёт высоких технических характеристик комплекса и низкой стоимости по сравнению с конкурентами. В2С1С3С4С5С7 – Довести прототип научной разработки до 100% готовности к эксплуатации, а так же построить производство диагностического комплекса под ключ. Повысить существующие характеристики комплекса. В3С2 – Снижение стоимости продукта, без негативного влияния на его технические характеристики.</p>	<p>В1Сл2Сл3 – Использование материально-технической базы предприятий для проведения испытаний опытного образца и повышения его помехоустойчивости, В2Сл1 – Компенсировать недостаток опыта исполнителей проекта путем проведения консультаций с квалифицированными работниками предприятий.</p>
<p>Угрозы У1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой У2. Введение дополнительных требований к сертификации продукции У3. Низкий уровень проникновения на рынок</p>	<p>У1С4С5С6 – Быстрая подготовка квалифицированных кадров по работе с установкой за счёт её удобства и простоты эксплуатации на базе инновационной структуры ТПУ. У3С2С3С4 – Проработать стратегию проникновения на рынок, опираясь на сильные стороны разработки</p>	<p>У3Сл1 – Повысить помехоустойчивость для повышения спроса на разработку.</p>

3.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения. В таблице 3.4 приведены показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта.

Таблица 3.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективы направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2

12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	Итого баллов	40	34

Значение суммарного балла позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В нашем случае значение суммарного балла лежит в диапазоне от 44 до 30, что означает, что перспективность данного проекта средняя.

3.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве метода коммерциализации диагностического комплекса выбран инжиниринг, который предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

3.2 Инициация проекта

3.2.1 Цели и результат проекта

Приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
----------------------------------	----------------------------------

Руководитель и исполнители проекта	Получение акта о внедрение диагностического комплекса, написание публикаций, участие в конференциях для демонстрации полученных результатов, защита магистерской диссертации.
Университет (ТПУ), Отделение электроэнергетики и электротехники	Поднятие рейтинга университета благодаря публикационной активности полученных результатов магистерской диссертации, выполнение показателей кафедры посредством публикационной активности полученных результатов магистерской диссертации; привлечение грантов
ПАО «ФСК ЕЭС»	Ожидают использование диагностического комплекса для решения задач диагностики, повышения её эффективности; улучшение финансового состояния предприятия
РФФИ	Эффективное использование денежных средств, финансовые отчёты.

В таблице 3.6 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения поставленных целей.

Таблица 3.6 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка технологии контроля состояния обмоток трансформаторов и нестандартной аппаратуры для ее реализации
Ожидаемые результаты проекта:	Диагностический комплекс, обладающий высокой чувствительностью и способностью обнаруживать дефекты на ранней стадии их развития.
Критерии приемки результата проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие руководства пользователя; 2. Наличие расчётно-пояснительной записки
Требования к результату проекта:	Требование:
	1. Должна быть обеспечена заявленная чувствительность
	2. Корректная и эффективная работа диагностического комплекса при его проверке
	3. Корректное определение вида дефекта обмотки силового трансформатора
	4. Заявленная надежность и помехозащищенность

3.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 3.7 представлены члены рабочей группы, а также представлены роль и функции каждого участника проекта.

Таблица 3.7 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час
1	Мытников Алексей Владимирович; ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ИШЭ, ОЭЭ; доцент	Руководитель	Контроль за исполнением проекта, проверка правильности расчетов, выполненных исполнителями	500
2	Тан Лян студент ИШЭ ОЭЭ	Магистрант	Выполнение проекта	1700
Итого:				2200

3.2.3 Ограничения и допущения проекта

В таблице 3.8 представлены ограничения и допущения проекта.

Таблица 3.8 – Ограничения и допущения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта:	1693995,6 руб.
1.1. Источник финансирования	ФГАОУ ВО НИ ТПУ
2. Сроки проекта:	
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	20.05.2021г.
2.2. Дата завершения проекта	01.06.2022 г.
3. Прочие ограничения и допущения	Бюджетное ограничение
	Ограничение по времени
	Ограниченные человеческие ресурсы
	Ограниченность в техническом оснащении

3.3 Планирование управления научно-техническим проектом

3.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

На рисунке 3.1 представлена иерархическая структура работ по проекту.

Диагностический комплекс контроля состояния обмоток силовых трансформаторов

1. Подготовительный этап

1.1. Постановка целей и задач

1.2. Составление технического задания на проект

1.3. Разработка календарного плана

2. Сбор и анализ информации

2.1. Подбор и изучение литературы

2.2. Обсуждение литературы

3. Проектирование

3.1. Составление принципиальных схем устройства

3.2. Расчёт схемы

3.3. Эскизное проектирование

3.4. Рабочее проектирование

4. Опытные-конструкторские Работы

4.1. Закупка оборудования

4.2. Изготовление экспериментального образца

4.3. Лабораторные испытания

4.4. Доработка и доводка опытного образца по результатам лабораторных

испытаний

5. Документирование

5.1. Руководство пользователя

5.2. Расчётно- пояснительная записка

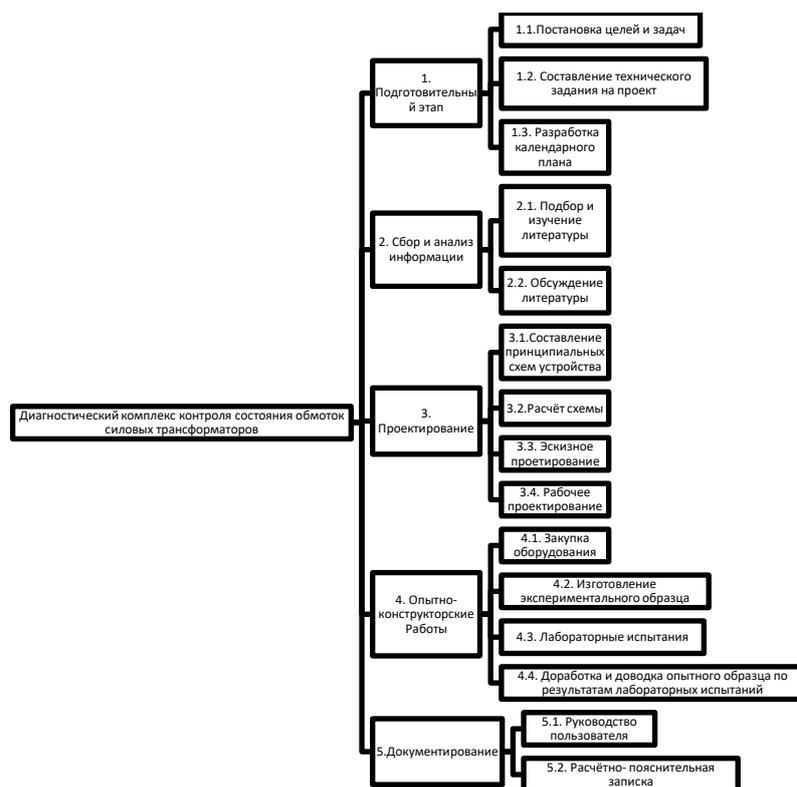


Рисунок 3.1 Иерархическая структура работ по проекту

3.3.2 Контрольные события проекта

Планирование работ необходимо для эффективного распределения ресурсов и времени. В данном проекте имеются два исполнителя (руководитель и инженер), между которыми необходимо распределить работы и обязанности. В таблице 3.9 приведен перечень этапов и работ, а также их исполнитель.

Таблица 3.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Код работ ы (из ИСР)	Название	Длитель- ность, дни	Дата начала окончания работ	Состав участников (ФИО ответств. исполнителей)
1.1	Постановка цели и задач	8	10. 10.2021 - 18.10.2021	Мытников А.В Тан Лян
1.2	Составление технического задания на проект	5	19.10.2021 - 21.10.2021	Мытников А.В
1.3	Составление календарного плана	6	22.10.2021 - 27.10.2021	Мытников А.В
2.1	Поиск литературы	10	27.10.2021 - 5.11.2021	Тан Лян

2.2	Ознакомление литературой	с20	6.11.2021 - 26.11.2021	Тан Лян
2.3	Обсуждение литературы	10	27.11.2021 - 4.12.2021	Мытников А.В Тан Лян
3.1	Проектирование электрической схемы устройства	14	20.02.2022 - 6.03.2022	Тан Лян
3.2	Сбор макета	3	10.03.2022 - 13.03.2022	Тан Лян
3.3	Составление программы анализа данных	2	14.03.2022 - 16.03.2022	Тан Лян
4.1	Подбор средств измерения и источника ИН	2	17.03.2022 - 18.03.2022	Мытников А.В Тан Лян
4.2	Сборка схемы измерения	1	19.03.2022	Тан Лян
4.3	Лабораторные испытания	6	22.03.2022 - 27.03.2022	Мытников А.В Тан Лян
4.4	Анализ результатов	30	29.03.2022 - 27.04.2022	Тан Лян
5.1	Чертеж электрической схемы испытаний	7	28.04.2022 - 4.05.2022	Тан Лян
5.2	Разработка технической документации метода диагностики	27	05.05.2022 - 31.05.2022	Мытников А.В Тан Лян
	Итого:	149		

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (табл.3.10).

3.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (табл. 3.11)

Таблица 3.11 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи (в руб.)						
	Сырье, материалы покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1.	227	299802	781126	78112,6	257771,58	138478,2	1693995,6

Расчет *стоимости материальных затрат* (табл.3.12) производится по действующим прейскурантам или договорным ценам.

Таблица 3.12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	A4	100	1,45	145
Канцтовары	Ручка	3	25	75
Всего за материалы				220
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				7
Итого по статье C_M				227

Специальное оборудование для научных работ

В статью специальное оборудование для научных работ включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (табл.3.13). Все оборудование, использованное во время экспериментов, принадлежит университету, поэтому следует вычислить сумму амортизационных отчислений за их время использования. Время пользования составляет 6 дней. Таблица 3.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.
1.	Осциллограф TDS 2024 C	1	229 074
2.	Осциллограф TDS-1012	1	59 438
3.	Генератор импульсного напряжения	1	11 290
	итого:	3	299802

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Базовый оклад для инженеров 21611 руб., для доцента 36174 руб.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (3.2)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (не учитывается);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (не учитывается);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

$$Z_{MP} = 36174 \cdot 1,3 = 47026 \text{ руб.}$$

$$Z_{MI} = 21611 \cdot 1,3 = 28094 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (3.3)$$

Среднедневная заработная плата для руководителя и инженера соответственно

$$Z_{\text{днР}} = \frac{47026 \cdot 10,4}{251} = 1948 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{днИ}} = \frac{28094 \cdot 10,4}{275} = 1062,5 \text{ руб.}$$

Где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно - технического персонала, раб. дн. (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (3.4)$$

$$Z_{\text{оснР}} = 1948 \cdot 251 = 488948 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{оснИ}} = 1062,5 \cdot 275 = 292178 \text{ руб.}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 3.15);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 3.15 руб., для доцента и инженера.

Таблица 3.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб.	$k_{пр}$	$k_д$	k_p	$Z_м$, руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	36174	-	-	1,3	47026	1948	251	488948
Инженер	21611	-	-	1,3	28094	1062,5	275	292178

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 10 % от суммы основной заработной платы).

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (3.5)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

$$Z_{допР} = 0,1 * 488948 = 48894,8$$

$$Z_{допИ} = 0,1 * 292178 = 29217,8$$

В табл. 3.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 3.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата ,руб.	488948	292178
Дополнительная зарплата , руб.	48894,8	29217,8

Зарплата исполнителя, руб.	537842,8	321395,8
Итого по статье $C_{зп}$, руб.	859238,6	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.6)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 30%.

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 537842,8 = 161352,84 \text{ руб.}$$

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 321395,8 = 96418,74 \text{ руб.}$$

Таблица 3.17 – Отчисления на социальные нужды

	Руководитель	Инженер
Заработная плата, руб.	537842,8	321395,8
Отчисления на СН, руб.	161352,84	96418,74
всего, руб.:	257771,58	

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.7)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов равный 16%.

$$C_{наклР} = 0,16 \cdot 537842,8 = 87054,9 \text{ руб.}$$

$$C_{наклИ} = 0,16 \cdot 321395,8 = 51423,3 \text{ руб.}$$

3.5 Реестр рисков проекта

Любой проект связан с неопределенностью и рисками. Под проектными рисками понимается, как правило, предполагаемое ухудшение итоговых показателей эффективности проекта. Причиной возникновения рисков являются неопределенности, существующие в каждом проекте.

Возможные риски проекта представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Реестр рисков проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Недостаточность финансирования	Отсутствие возможности оплаты расходов	2	4	Средний	Привлечение сторонних инвесторов, планирование финансовых ресурсов	Не получение гранта
2	Потеря всех наработок (уничтожение жесткого диска)	Потеря временных и финансовых ресурсов	1	5	Средний	Хранение наработок в облачном хранилище	ЧП (пожар, землетрясение), поломка оборудования
3	Созданный диагностический комплекс не отвечает требованиям	Отсутствие спроса на продукт	3	3	Средний	Тщательный расчёт схем, проверка результатов расчётов	Ошибка расчётов вследствие невнимательности исполнителя
4	Получение недостоверных результатов измерений, и как следствие ошибочных данных	Получение неверного результата работы диагностического комплекса	4	5	Высокий	Проведение доп. консультаций с научным руководителем; калибровка прибора; повышение требований к условию эксперимента	Отсутствие необходимых знаний и навыков по проведению измерений
5	Поломка оборудования	Получение неверного результата	4	5	Высокий	Постоянное наблюдение за работой прибора	Брак производства

3.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

3.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (3.8)$$

где: $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 3.19. При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации - 10 %.
 $Ag=Сперв*На/100$, себ=1693995,6 р., Выручка=себестоимость*1,25=2117494.5 р

Таблица 3.19 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	2117494.5	2117494.5	2117494.5	2117494.5
2	Итого приток, руб.	0	2117494.5	2117494.5	2117494.5	2117494.5
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1693995,6	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	592898,46	592898,46	592898,46	592898,46
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	1524596,04	1524596,04	1524596,04	1524596,04
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	304919,21	304919,21	304919,21	304919,21
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	1219676,83	1219676,83	1219676,83	1219676,83
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-1693995,6	1389076,39	1389076,39	1389076,39	1389076,39
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-1693995,6	1157100,63	964019,01	802886,15	669534,82
12	∑ ЧДД		3593540,61 руб.			
13	Итого NPV, руб.		1899545,01 руб.			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t} \quad (3.9)$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 736216 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить

инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1 \quad (3.10)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{3593540,61}{1693995,6} = 2.12$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 3.20 и на рисунке 3.1.

Таблица 3.20 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	- 1693995,6	1389076,39	1389076,39	1389076,39	1389076,39	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	

	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198		
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153		
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112		
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095		
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077		
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062		
3	Дисконтированный денежный поток, руб.							
	0,1	- 1693995,6	1262670,44	1147377,10	1043196,37	948739,17	2707987,5	
	0,2	- 1693995,6	1157100,63	964019,01	802886,15	669534,82	1899545,0	
	0,3	- 1693995,6	1068199,74	822333,22	632029,76	486176,74	1314743,9	
	0,4	- 1693995,6	991800,54	708428,96	505623,81	361159,86	873017,6	
	0,5	- 1693995,6	926513,95	616749,92	409777,54	275037,13	534082,9	
	0,6	- 1693995,6	868172,74	541739,79	338934,64	212528,69	267380,3	
	0,7	- 1693995,6	816776,92	465340,59	271982,51	155576,56	15681,0	
	0,8	- 1693995,6	772326,47	429224,60	237532,06	131962,26	-122950,2	
	0,9	- 1693995,6	730654,18	384774,16	202805,15	106958,88	-268803,2	
	1,0	- 1693995,6	694538,20	347269,10	173634,55	86122,74	-392431,0	



Рисунок 3.2 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки

доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,71.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $71\% - 20\% = 51\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 3.21).

Таблица 3.21 – Дисконтированный срок окупаемости

Наименование показателя	Шаг расчета				
	0	1	2	3	4
Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	- 1693995,6	1 157100,63	9 64019,01	8 02886,15	669534,82
То же нарастающим итогом, руб.	- 1693995,6	- 536894,97	4 27124,04	1 230010,19	1899545,01
Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{дск} = 1 + (536894,97 / 964019,01) = 1,55$ года				

3.7 Оценка социальной эффективности проекта

Оценка социальной эффективности научного проекта позволяет учитывать социально-экономические последствия для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные,

экологические и иные внеэкономические эффекты. Результаты оценки социальной эффективности представлены в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Критерии социальной эффективности

До	После
Невозможность диагностики механического состояния обмоток трансформатора без его разбора	Разработанный диагностический комплекс позволяет проводить исследования по определению состояния обмоток силовых трансформаторов в целом, неразборном виде
Средняя степень риска возникновения аварии в энергосистеме	Снижение степени риска возникновения аварии в энергосистеме за счет своевременного и точного обнаружения механических дефектов обмоток силовых трансформаторов

3.8 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (3.11)$$

где: $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (3.12)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 3.23).

Таблица 3.23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	ПО			
	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Информативность результатов	0,2	5	2	4
2. Точность	0,3	5	3	4

3. Сложность	0,15	4	5	3
4. Трудоемкость	0,25	4	4	3
5. Надежность	0,1	4	3	4
Итого:	1	22	17	18
Интегральный показатель ресурсоэффективности:		4,5	3,35	3,6

$$I_m^p = 0,2 * 5 + 0,3 * 5 + 0,15 * 4 + 0,25 * 4 + 0,1 * 4 = 4,5$$

$$I_m^{a1} = 0,2 * 2 + 0,3 * 3 + 0,15 * 5 + 0,25 * 4 + 0,1 * 3 = 3,35$$

$$I_m^{a2} = 0,2 * 4 + 0,3 * 4 + 0,15 * 3 + 0,25 * 3 + 0,1 * 4 = 3,6$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a} \quad (3.13)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (3.14)$$

где: $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 3.24.

Таблица 3.24– Сравнительная эффективность разработки

№ П/П	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки (меньше – лучше)	0,94	1	0,99
2	Интегральный ресурсоэффективности разработки (больше – лучше)	4,5	3,35	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,787	3,35	3,637
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,5	1,4	1,32

3.9 Вывод по разделу

По итогам выполнения раздела была проведена оценка экономической эффективности и ресурсоэффективности проекта. Также был выбран целевой сегмент для распространения товара с низким проникновением конкурентов на рынок. Были спланированы этапы работы, определена трудоёмкость реализации проекта и построен календарный график, сформирован бюджет проекта. По результатам расчёта экономических показателей эффективности возврата инвестиций можно сделать вывод о том, что проект является инвестиционно-привлекательным (выгодным).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5AM09		Тан Лян -	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	магистратура	Направление/ специальность	13.04.02 Электроэнергетика и Электротехника

Тема ВКР:

Совершенствование технологии импульсного дефектографирования обмоток силовых трансформаторов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p style="text-align: center;">Введение</p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации/</p>	<p><i>Объект исследования: обмотки высоковольтного трансформаторов</i></p> <p><i>Область применения __ отрасль электротехники __</i></p> <p><i>Рабочая зона: лаборатория</i></p> <p><i>Размеры помещения _____ 4,55x2,10x2,50 _____</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны _ обмотки высоковольтного трансформатора с несколькими различными видами дефектов _</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне __ Создавать дефекты нужно путём введения в схемы ёмкости. Значение ёмкости подбирать путем многократного зондирования модели. Потом смоделировать других дефекта. __</i></p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <p style="text-align: center;">:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p>– ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>– ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации</p> <p style="text-align: center;">:</p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>– перечислить вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы.</p> <p>– Повышенный уровень шума на рабочем месте;</p>

<p>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>– <i>Повышенный уровень напряженности электростатического поля;</i></p> <p>– <i>Повышенный уровень электромагнитных полей</i></p> <p>– <i>Неудовлетворительный микроклимат</i></p> <p>– <i>Поражение электрическим током</i></p> <p>– <i>Пожаровзрывоопасность</i></p> <p><i>Расчет будет производиться по фактору: Равномерное искусственное освещение.</i></p> <p><i>Средства защиты:</i></p> <p>- <i>Автоматический выключатель</i></p> <p>- <i>Система пожаротушения</i></p> <p>- <i>Защитное заземление.</i></p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p> <p>– Указание воздействия на атмосферу;</p> <p>– Указание воздействия на гидросферу;</p> <p>– Указание воздействия на литосферу;</p>	<p><i>Воздействие на селитебную зону: существование шума</i></p> <p><i>Воздействие на литосферу: Загрязнение почв</i></p> <p><i>Воздействие на гидросферу: возможно разлитие трансформаторного масла</i></p> <p>– <i>Воздействие на атмосферу: Выделение вредного газа (озон)</i></p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p> <p>– Перечислить возможные ЧС при эксплуатации;</p> <p>– выбор наиболее типичной ЧС;</p>	<p>Возможные ЧС</p> <p>– Пожар;</p> <p>– поражение электрическим током;</p> <p>– Взрыв из-за повреждения оборудования;</p> <p>Наиболее типичная ЧС</p> <p>– Пожар.</p> <p>– применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;</p> <p>– применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;</p>
<p align="center">Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM09	Тан Лян -		15.05.2022

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

При проведении экспериментов с использованием электрического тока следует соблюдать правила техники безопасности. Помимо опасности поражения электрическим током и пожара, существуют также факторы, такие как электрические и магнитные поля промышленной частоты .

Напряжения и токи в проводах линий электропередач создают электромагнитные поля в пространстве и блуждающие токи в земле. Вследствие этого могут возникнуть мешающие и даже опасные влияния на биосферу. Электромагнитные поля отрицательно воздействуют на человека. В связи с этим нормирование и контроль воздействия электромагнитного поля являются важными задачами для обеспечения безопасности работ в электроустановках посредством технических и организационных мероприятий.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основные правовые гарантии обеспечения промышленной безопасности регулируются Трудовым кодексом Российской Федерации (2001 г. и последующими изменениями и дополнениями). Законодательство о труде Российской Федерации регулирует правоотношения между работниками и работодателями, включая, но не ограничиваясь правами и вознаграждениями, нормированием труда, отпусками и др.

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 071, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

В процессе работы отделение должно соблюдать правила техники безопасности, предусмотренные законом:

- Обеспечение безопасности работников при эксплуатации оборудования и инструментов, сырья и материалов, используемых в производстве;
- Операторы работают посменно в соответствии с установленным временем - каждый человек работает непрерывно не более 8 часов в день (долговременная работа будет отвлекать внимание оператора, что приведет к увеличению аварийности) ;
- Проведение необходимых периодических медицинских осмотров сотрудников;
- Несовершеннолетним и лицам с медицинскими противопоказаниями запрещается работать во взрывоопасных зонах;
- Регулярная проверка техники безопасности на производственных площадках.

4.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Проблемами приспособления производственной среды к возможностям человеческого организма занимается эргономика. Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых

движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.

Планировка рабочего места должна оставлять достаточно места для передвижения людей и работы оборудования, при этом необходимо учитывать ограничения, налагаемые рабочей одеждой и оборудованием. При этом планировка рабочей зоны должна обеспечивать необходимую связь оператора с оборудованием и между операторами (зрительную, слуховую, тактильную и т.д). В то же время работникам должно быть предоставлено соответствующее время и место для отдыха, чтобы снизить рабочую утомляемость и повысить эффективность работы.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40–80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 071, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина" рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования: органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля; наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля; органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз; расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места; расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин.

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15°.

4.2 Производственная безопасность

В процессе разработки нового метода диагностики трансформаторов требуются электронные осциллографы и персональные компьютеры. Согласно нормативному документу «ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», [5] вредные факторы и факторы риска, связанные с оборудованием и организационными рабочими местами, которые могут возникнуть в этом процессе, могут быть рассмотрены в

следующих аспектах.

4.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Можно перечислить опасные и вредные факторы, характерные для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы следующей.

Таблица 4.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Вредные факторы	
Повышенный уровень шума на рабочем месте ^{[7][9]}	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» СП 51.13330.2011 «Свод правил защита от шума»
Повышенный уровень напряженности электростатического поля; ^{[7][9]}	ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. «Система стандартов безопасности труда электростатические поля допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» ГОСТ ИЕС 61340-5-1-2019 «Электростатика Защита электронных устройств от электростатических явлений общие требования»
Неудовлетворительный микроклимат ^{[7][9]}	ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные Параметры микроклимата в помещениях»
Повышенный уровень электромагнитных полей ^{[7][9]}	ГОСТ Р 54148-2010 «Воздействие на человека электромагнитных полей от бытовых и аналогичных электрических приборов Методы оценки и измерений»

Опасные факторы	
Поражение электрическим током	ГОСТ Р 58698-2019 «Защита от поражения электрическим током Общие положения для электроустановок и электрооборудования»

4.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При разработке технологии диагностики трансформаторов в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является ЭВМ, возможность поражения электрическим током. Использование серверного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышперечисленные вредные факторы, относится С П 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке^[10].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ[11], создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений[11], представленных в таблице 4.2:

Таблица 4.2 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5Гц – 2кГц	250 нТл

	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 4.2. соответствуют нормам.

Анализ опасных производственных факторов

Электробезопасность:

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ и осциллографом, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации ^[12]. Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы. Уровень напряжения для питания ЭВМ в данной аудитории 220 В, для серверного оборудования 380 В. По опасности поражения электрическим током помещение 071, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18–20°, с влажностью 40-50%)[12].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей

зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ[13].

Кроме того, электрическое поле может стать причиной воспламенения или взрыва паров горючих материалов и смесей в результате возникновения электрических разрядов при соприкосновении предметов и людей с машинами и механизмами.

Степень опасности каждого из указанных факторов возрастает с увеличением напряженности электрического поля.

Нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля (ЭП) на промышленной частоте для персонала установлены в ГОСТ 12.1.002 – 84:

Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25 кВ/м. Пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня.

При напряженности ЭП свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10 мин.

Допустимое время пребывания в ЭП напряженностью свыше 5 до 20 кВ/м включительно вычисляют по формуле

$$T, \text{ часов} = (50 / E) - 2;$$

где T - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч;

E - напряженность воздействующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

Анализ вредных производственных факторов

Освещение:

В аудитории 071, 8 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В случаях работы с документами следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300–500 лк[13]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк[13].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения)[13].

Таблица 4.3 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость плоскость плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дисконтинентальности, М, более	Коэффициент пульсации и Кп, %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			

	ПЛОСКОСТЬ И НАД ПОЛОМ, М							
Кабинеты	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	≤5%(работа с ЭВМ) ≤20%(при работе с документацией)

Согласно [12] освещение в аудитории 071 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Шум:

При работе с ЭВМ в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Таблица 4.4 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест [14]

N пп.	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
---	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Согласно [36] уровень шума в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ не более 80 дБА и соответствует нормам.

Микроклимат:

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 071, 8 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Аудитория 071, 8 корпуса ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на

рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) ^[12]

Таблица 4.5 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 4.6 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно ^[12] микроклимат аудитории 071, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

4.2.3 Расчет допустимого время пребывания в лаборатории

Расчеты будут производиться по данным лабораторной работы, проведенной в марте 2022 года, так как в экспериментах ВКР будет использоваться то же оборудования (или аналогичное по конструктивному исполнению), что и в той лабораторной работе. Были получены замеры электрического и магнитного поля возле электроустановки (ЛАТР), которые представлены в таблице 4.7 и 4.8.

Модули векторов напряженности электрического поля (E) и магнитного поля (H) определяются по формулам:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Таблица 4.7 – Результаты измерений электрического поля

Расстояние от прибора до источника, м	U ₁ /U ₂ , В	E _x , кВ/м	E _y , кВ/м	E _z , кВ/м	E, кВ/м	Примечание
0	0/0	0	0	0	0	установка откл.
0	10/3500	2,4	2,4	2,05	3,965	установка вкл.
	20/7000	4,3	4,5	3,3	7,045	
	25/8750	4,25	4,05	3,5	6,835	
	30/10500	6,1	5	5,5	9,616	
1,5	10/3500	0,08	0,07	0,05	0,117	
	20/7000	0,12	0,13	0,1	0,203	
	25/8750	0,16	0,15	0,11	0,245	
	30/10500	0,16	0,17	0,12	0,262	
3	10/3500	0,01	0,01	0,01	0,017	
	20/7000	0	0,01	0,01	0,014	
	25/8750	0	0,01	0	0,01	
	30/10500	0,01	0,01	0,01	0,017	

Таблица 4.8 Результаты измерений магнитного поля

Величина тока в проводнике, А	H _x , А/м	H _y , А/м	H _z , А/м	H, А/м	Примечание
Расстояние 0,5 м					
0,0	0,028	0,012	0,11	0,1141	установка отключена
0,5	0,142	0,027	0,12	0,1879	установка включена
1,0	0,28	0,025	0,31	0,4185	
1,5	0,4	0,013	0,47	0,6173	
2,0	0,6	0,05	0,63	0,8714	
Расстояние 1,5 м					
0,0	0,042	0,013	0,073	0,08522	установка отключена
0,5	0,045	0,012	0,077	0,08998	установка включена
1,0	0,058	0,004	0,045	0,07352	
1,5	0,06	0,007	0,031	0,06789	
2,0	0,53	0,008	0,07	0,08817	
Расстояние 3 м					

0,0	0,045	0,012	0,066	0,08077	установка отключена
0,5	0,062	0,007	0,062	0,08796	установка включена
1,0	0,062	0,005	0,04	0,07395	
1,5	0,056	0,007	0,039	0,0686	
2,0	0,052	0,008	0,063	0,0821	

Эксперименты показали, что при увеличении напряжения или тока высоковольтной установки увеличивается соответственно напряженности обеих полей. При этом увеличение расстояния до установки в разы уменьшает влияние этих напряженностей.

Так как значение напряженности электрического поля достигало выше 5 кВ/м, рассчитаем допустимое время пребывания по формуле из СанПиН 1.2.3685-21:

$$\text{При } 20\text{кВ: } T = (50/7.045)^{-2} = 5.1\text{ч}$$

$$\text{При } 25\text{кВ: } T = (50/6.835)^{-2} = 5.3\text{ч}$$

$$\text{При } 30\text{кВ: } T = (50/9.616)^{-2} = 3.2\text{ч}$$

4.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

На экологию опасность может оказывать сам объект исследования ВКР – трансформатор. Трансформаторы являются источниками физических, химических загрязнений для окружающей среды.

Исследование производится при выведенном из работы трансформатором, и, если это требуется, разобранном состоянии.

4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Разработка технологии диагностики трансформаторов проводится с использованием осциллографа и ЭВМ, которые не наносит вреда окружающей среде.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы ^[12]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.
3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.
4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.
5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.
6. Получается специальная официальная формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.
7. После оформления всех необходимых документов компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах^[13].

4.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также работа с помощью различных программных комплексов.

Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей ^[15].

По происхождению чрезвычайные ситуации делятся по следующим признакам: природного характера, техногенного характера, биолого-социального характера.

ЧС природного характера возникают при естественных природных явлениях, происходящих в окружающей среде, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Техногенные ЧС связаны с производственной деятельностью человека и классифицируются по типам аварий, которые являются источниками основных видов чрезвычайных ситуаций техногенного характера, и частично характеризуют также сферу и особенности проявления этих опасных событий.

ЧС биолого-социального характера обусловлены жизнедеятельностью болезнетворных (патогенных) микроорганизмов. Повышение устойчивости производственных объектов достигается за счет проведения соответствующих организационно–технических мероприятий, которым предшествует исследование устойчивости конкретного объекта.

Наиболее вероятным в моем случае будет ЧС техногенного характера (пожар производственного помещения). Превентивной мерой по предупреждению ее возникновения будет знание и соблюдения правил пожарной безопасности.

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности, являются: пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, токсичные продукты горения и термического разложения, дым и пониженная концентрация кислорода ^[16].

4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 071, 8 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 071, 8 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 4.9 – Типы используемых огнетушителей при пожаре электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П- Па.

Таблица 4.10 – Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П- Па	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.



Рисунок 4.1 – План эвакуации при пожаре учебного корпуса №8
Противопожарная защита должна достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;

- применением основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормированными показателями пожарной опасности;
- применением пропитки конструкций объектов антипиренами и нанесением на их поверхности огнезащитных красок (составов);
- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;
- организацией с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара;
- применением средств противодымной защиты.

4.5 Вывод по разделу

В этой главе обсуждается социальная ответственность, связанная с проектом.

Согласно "Правила Устройства Электроустановок", сценарии применения проекта определены как Электропомещения - помещения или отгороженные (например, сетками) части помещения, в которых расположено электрооборудование, доступное только для квалифицированного обслуживающего персонала. Во время эксперимента с высоким напряжением из-за опасности эксперимента персоналу необходимо войти в огороженное или эффективно защищенное место для проведения эксперимента, поэтому только квалифицированный персонал может войти в рабочую зону.

В соответствии с «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» работодатели или предприятия должны проводить вводное обучение и в электроустановках напряжением выше 1000 В работники из числа оперативного персонала, единолично обслуживающие электроустановки, и старшие по смене должны иметь группу по электробезопасности не ниже IV, остальные работники в смене - группу не ниже III. Одновременно не

допускаются работы в неосвещенных местах. Освещенность участков работ, рабочих мест, проездов и подходов к ним должна быть равномерной.

По СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", Фактические значения показателей уровня шума на рабочем месте соответствуют нормативным значениям 80 дБА для напряженности легкой степени при легкой физической нагрузке. Уровень шума в рассматриваемом производственном помещении не превышает допустимых норм.

Что касается взрывопожарной и пожарной опасности, согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», во время экспериментальной эксплуатации следует избегать дуговых разрядов, и в то же время следует обеспечить защиту изоляции электрооборудования и защиту изоляции операторов, а также строго запретить курение и использование открытого огня для обеспечения безопасности лаборатории.

Заключение

Используемый метод диагностики представляет собой низковольтный метод наносекундных импульсов, который был модернизирован для более быстрого и надежного контроля состояния обмоток силового трансформатора.

На основе проведенного сравнения можно сделать вывод, что по сравнению с классическим, одноступенчатый метод имеет следующие достоинства:

Во-первых, он является более эффективным, так как использует только одну ступень – зондирующий импульс. Это позволяет сократить время диагностики по сравнению с "классическим" двухступенчатым методом.

Во-вторых, данный метод демонстрирует повышенную точность диагностических измерений - она обеспечивается за счёт сокращения элементов измерительной цепи и количества помех, искажающих результат измерений.

В-третьих, одноступенчатый метод более технологичный. На практике одну ступень измерений проще реализовать. Сокращается время проведения измерений и уменьшается вероятность ошибки.

В-четвертых, данный метод имеет перспективу реализации диагностики под рабочим напряжением. То есть можно использовать одноступенчатый метод на производстве, так как возможно подключение генератора зондирующих импульсов (через разделительный конденсатор и ПИН-датчик ввода) непосредственно к обследуемой обмотке. Это невозможно осуществить в классическом методе.

Установлена принципиальная возможность осуществления контроля механического состояния обмоток силового высоковольтного трансформатора, используя только одну ступень диагностической процедуры, а именно, зондирующий импульс, в отличие от классического метода низковольтных импульсов. Наличие одной ступени существенно повышает потенциальную эффективность импульсного дефектографирования за счёт сокращения времени

на обследование активной части, снижение погрешности измерений и возможности реализации контроля состояния активной части под рабочим напряжением при подключении генератора зондирующих импульсов через ПИН-датчик высоковольтного ввода.

Разработанная модель и пути моделирования контроля состояния обмотки позволят проводить эксперименты в лаборатории без привлечения сложного оборудования и выездов на подстанции с отключением и расшиновкой трансформаторов.

Совпадение сигналов, полученных на модели и на реальном оборудовании позволяет считать модель адекватной и точной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ
- [2] ГОСТ 12.2.033-78 «Рабочее место при выполнении работ стоя»
- [3] ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина" рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
- [4] ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное.
- [5] ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы классификация.
- [6] ГОСТ 22269–76 Система "Человек-машина" рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
- [7] Методика проведения испытаний силовых трансформаторов [Электронный ресурс] // ОЛИМП. URL: <http://www.olimp02.ru/doc/metodika-ispytaniya-silovyh-transformatorov-6-10-kv.pdf> (дата обращения: 03.03.2022)
- [8] International Standard «High-voltage test techniques – Partial discharge measurements» – IEC 60270, Third edition, 2000-12
- [9] Смирнов С.А. Преобразования оптических сигналов. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 113 с.
- [10] СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда", 2020 г.
- [11] СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011 г.
- [12] «Электробезопасность» для студентов всех специальностей ЭЛТИ. Томск, изд. ТПУ, 2010. – 8 с.
- [13] СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996 г.
- [14] ГОСТ 30494-2011, Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, 2011 г.

- [15] ВКР. Раздел «Социальная ответственность» Скачкова Л.А. // [Электронный ресурс] ЭИОС ТПУ – Режим доступа: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=4289> (дата обращения: 29.04.2022).
- [16] ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования . – Москва: Изд-во стандартов, 1992 – 64 с
- [17] International Standard «High-voltage test techniques – Patial discharge measurements» – IEC 60270, Third edition, 2000-12
- [18] S.S.M. Ghoneim, S.A. Ward, Dissolved gas analysis as a diagnostic tool for early detection of transformer faults, *Advances in Electrical Engineering Systems (AEES)*, 1(3), 152-156, 2012.
- [19] Standard IEC 60599, Guide for the interpretation of dissolved gas analysis and gas-free, 2007.
- [20] S. Zhang, Analysis of some measurement issues in bushing power factor tests in the field, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(3), 1350-1356, 2006.
- [21] M. Duval, Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 5(6), 22-27, 1989.
- [22] M. Duval, J. Dukaram, Improving the reliability of the transformer gas-in-oil diagnosis, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 21(4), 21-27, 2005.
- [23] M. Duval, A review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 18(3), 8-17, 2002.
- [24] R.R. Rogers, IEEE and IEC Codes to Interpret Incipient Faults in Transformers, Using Gas in Oil Analysis, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 13(5), 349-354, 1978.
- [25] S. Saranya, U. Mageswari, N. Roy, R. Sudha, Comparative study of various dissolved gas analysis methods to diagnose transformer faults, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(3), 592-595, 2013.N.A. Muhamad, B.T. Phung, T.R. Blackburn, K.X. Lai, Comparative study and analysis of DGA methods for transformer mineral oil, *2007 IEEE Lausanne Power Tech Proceedings*, Lausanne, Switzerland, 1-5 July, 2007, pp.45-50.

- [26] A.S. Alghamdi, N.A. Muhamad, A.A. Suleiman, DGA Interpretation of Oil Filled Transformer Condition Diagnosis, *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 13(5), 229-232, 2012.
- [27] K. Bacha, S. Souahlia, M. Gossa, Power transformer fault diagnosis based on dissolved gas analysis by support vector machine, *Electric Power Systems Research*, 83(1), 73-79, 2012.
- [28] Диагностика обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов // [Электронный ресурс] Энергетика. Оборудование Документация – Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhiv/diagnostika-obmotok-silovyh-transformatorov-metodom-nizkovoltnyh-impulsov.html>
- [29] Фуфурин Н. П. Инструкции по эксплуатации трансформаторов. - 1976.- 135с.
- [30] Лавринович А. В. Разработка технологии контроля состояния обмоток электродвигателей на основе импульсного метода / А. В. Лавринович, А. В. Мытников ; науч. рук. А. В. Мытников // Интеллектуальные энергосистемы : труды V Международного молодёжного форума, 9-13 октября 2017 г., г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2. — [С. 145-148].
- [31] Лавринович А. В. Диагностический комплекс для эффективного контроля состояния обмоток высоковольтных трансформаторов / А. В. Лавринович, А. В. Мытников // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331, № 11. — [С. 48-59].
- [32] Тан Лян. Диагностика активных частей трансформаторов на основе инновационного импульсного дефектографирования / Тан Лян ; науч. рук. А. В. Мытников // Бутаковские чтения : материалы I Всероссийской с международным участием молодежной конференции, 15-16 декабря 2021 г., Томск. — Томск, 2021. — [С. 128-132].

Приложение А

Improving the technology of pulse flaw detection of windings of power transformers

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM09	Тан Лян		

Консультант школы отделения (НОЦ) ОЭЭ ИШЭ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников А. В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Костомаров П. И.	к.ф.н.		

Томск-2022

Introduction

As the main energy conversion equipment in the power grid, power transformers are playing an increasingly prominent role in people's daily lives. The stable operation of power transformers is associated with the daily consumption of electricity by industry, agricultural production and the population. However, power transformers are vulnerable equipment. Faults will result in large economic losses, and there are various types of transformer faults. The power industry only understands common faults very well and is familiar with various fault detection methods. Only then can the cause of the problem be accurately determined, appropriate measures taken to solve it, and ensure the stable operation of the power system.

Power transformers are considered the most valuable asset in substations. However, most of the world's power transformers were installed in the last century, so their design life is coming to an end. Therefore, in recent years, cases of transformer failures have become more frequent. There is no doubt that this should provide an effective way to diagnose winding deformation.

For example, personnel can judge the operating condition of a transformer at any time by the change in sound, vibration, odor, discoloration, temperature and other phenomena, and analyze the cause, location and extent of the accident. Therefore, a comprehensive analysis is carried out, and the final decision is made on the working condition of the transformer, combined with various detection results.

The purpose of this master's thesis is to consider three common failure models and existing methods for diagnosing the state of power transformers and to create a single-stage method for monitoring the mechanical state of windings based on the low-voltage pulse method.

1.1 The problem of monitoring the state of power transformers

1.1.1 Types of designs of power transformers

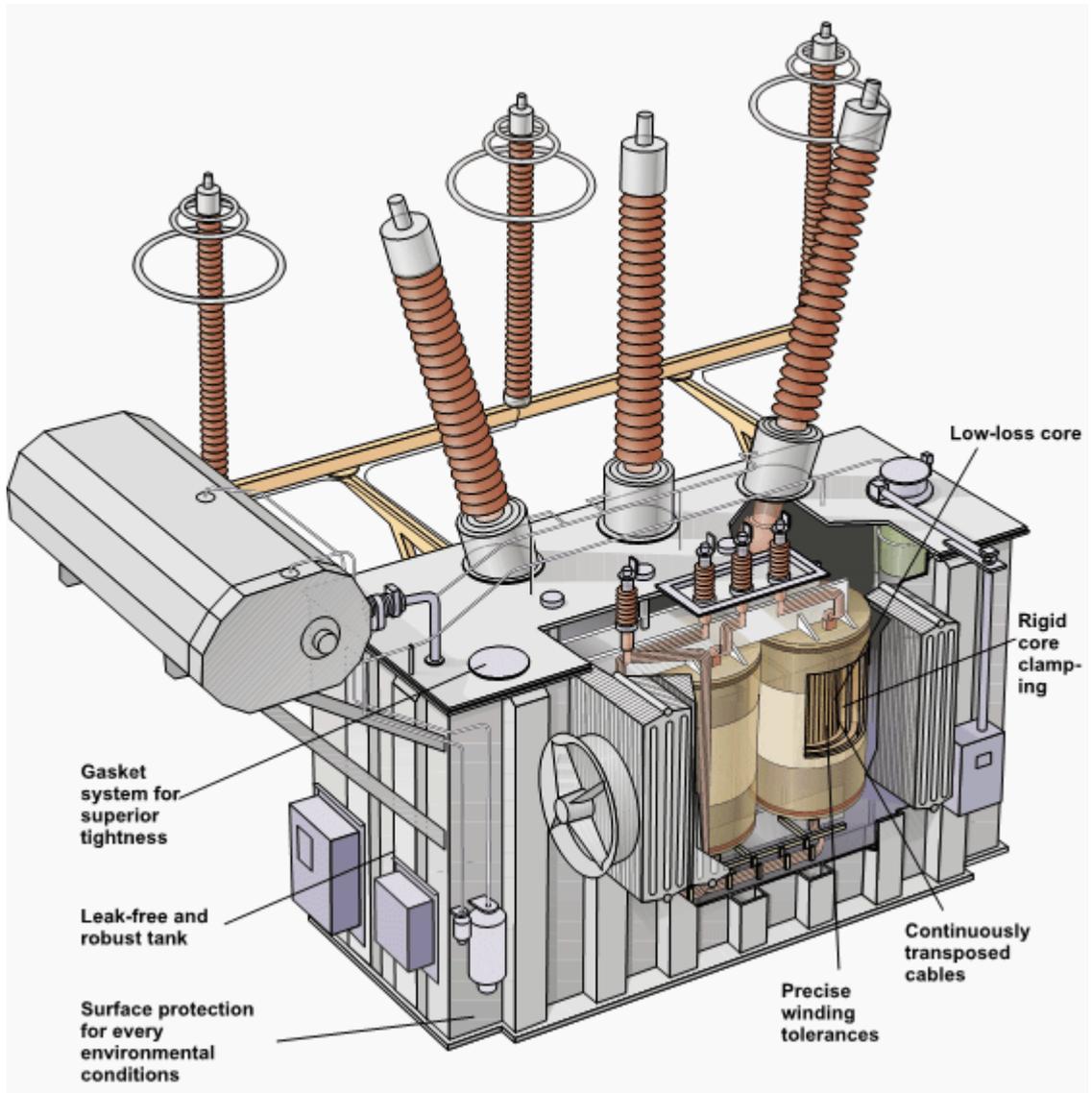


Figure 1.1 - The design of the power transformer

A power transformer is a static electrical device that is used to convert a given value of alternating voltage (current) to another or several different values of voltage (current) at the same frequency. When the primary winding is energized with alternating current, an alternating magnetic flux is created, and the alternating magnetic flux induces an alternating electromotive force in the secondary winding through the magnetic permeability of the iron core. Figure 1 shows the design of the power transformer.

1.1.2 Types of transformer winding defects and their causes

Once a power transformer is put into service, it will fail due to excessive electrical load, material issues, environmental issues, or human error. However, most faults will not appear in time, but will gradually affect the normal operation of the transformer when exposed to adverse factors. We can analyze the damage statistics of high voltage power transformers and their causes.

Table 1.1 shows the statistical data on the damage of power transformers.

Table 1.1 - Main damages of power transformers

node	Damage	Cause of damage	The nature and consequences of the development of damage
Winding	Burnout of turn insulation and winding turns	Continuous failure of the through current short circuit on the low voltage side of the transformer	Insulation and coil burnout, oil decomposition, copper melting and spattering, and insulation failure
	Winding deformations	Insufficient electrical resistance of the windings	Damage to the insulation due to deformation of the windings with possible damage to the transformer
	Humidification and contamination of the winding insulation	Violation of the tightness of the transformer to short-circuit currents	Decreased electrical strength of the oil barrier insulation and breakdown of the first oil channel, which can cause: - development of "creeping discharge"; - - ionization breakdown of the coil insulation due to the displacement of oil by water vapor from the insulation capillaries; transformer damage
	Winding insulation wear	Reducing the mechanical resistance of the winding insulation	Destruction of the insulation of the windings with the subsequent occurrence of a turn short circuit or a short circuit to another winding at a moderate through short-circuit current with internal damage to the transformer
	Defect in the manufacture of lightning-resistant winding	Touching the loops of the lightning-proof windings of the separating partition	Under conditions of transformer vibration, it leads to abrasion of the insulation of the loops and the development of breakdown

In this section, we discuss radial, axial misalignments, and even short circuits. On fig. 1.2 shows one of the most dangerous failures - the radial displacement of the

winding caused by the action of radial dynamic forces created by the interaction of the axial magnetic field and the current in the winding during a short circuit. This dynamic internal force causes mechanical stress within the winding and causes the characteristic bulking.

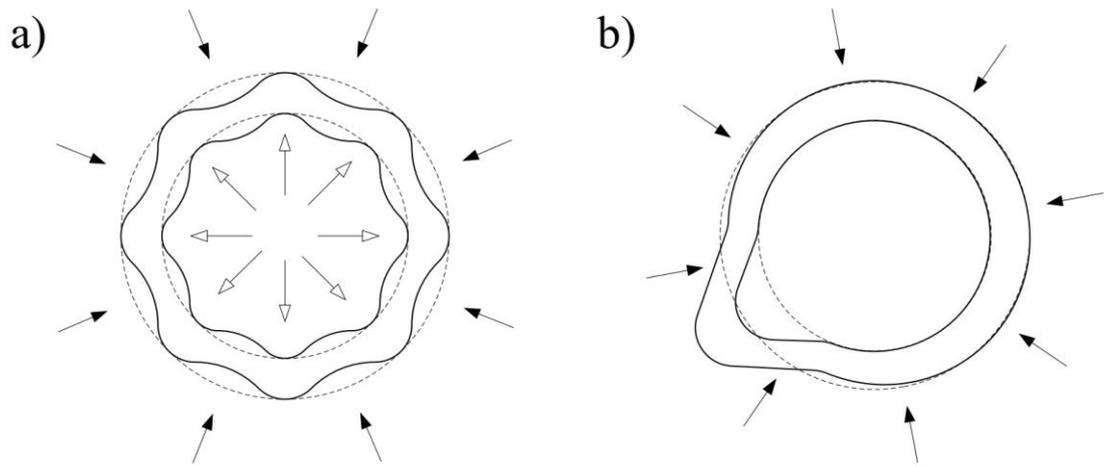


Figure 1.2 diagram of the radial displacement of the windings

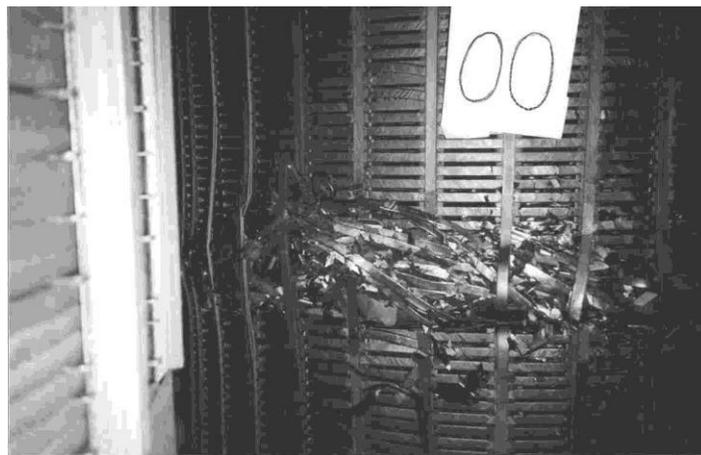


Figure 1.3 example of radial displacement of transformer windings



Figure 1.4 example of axial displacement of transformer windings

The main forms of transformer winding deformation are unrecoverable deformation phenomena, such as twisting, swelling, winding displacement, and the most common and typical forms are turn-to-turn short circuit, basic insulation discharge or complete breakdown with insulation damage. In daily life, there are many reasons for the deformation of the transformer, mainly as follows:

I The transformer windings are affected by short circuit current during operation

During operation, exposure to various short-circuit currents is unavoidable. Especially in the case of a short circuit and a failure of the socket, the winding will be subjected to a very large shock force from the short circuit current, which will increase the temperature of the winding and weaken the mechanical strength of the respective wires. transformer, it will be deformed or even completely recycled.

Generally speaking, there are two kinds of electrical power transformer, one is radial (transverse) force, and the other is axial (longitudinal) force.

① Radial (transverse) forces

The direction of the current and the mutual arrangement of the coils determine the influence of the radial force. In the dual coil transformer, the radial force mainly plays the role of starting the inner coil and stretching the outer coil, so as to increase

the relative diameter of the entire coil. The force rigidity. The common practice is to support the strip with an insulating cylinder and then wind it with a coil, the coil being subjected to bending and compressive forces caused by stretch. Therefore, if the resulting force exceeds the maximum stiffness point of the coil, the coil will be deformed or damaged.

② Axial (longitudinal) force

The effect of the axial force on the transformer is mainly that the turns and segments bend in the longitudinal direction, and the spacers between the segments and segments will be compressed, and some of them will even be transferred to the iron yoke and separated from the core. Generally speaking, the pieces of wire at the two ends of the spool are subject to a large bending force, and the block at the center of the spool in height is subject to a large compressive force. When the distribution of the magnetic potential is uneven or the height of the coil is different, the axial force is more prone to transformer failure than the radial force.

From this we can see that when the transformer is subjected to current, such as a sudden short circuit during operation, each coil will generate a strong combined radial force and axial force.

II The winding itself of the transformer has limited bearing capacity

Due to the defects of the transformer winding itself, that is, the limited bearing capacity, it does not withstand the shock force of the short circuit current caused by the short circuit of the transformer, as a result of which the winding is deformed. According to the statistical analysis of the national 110kV power transformers in recent years, the big hidden danger of the safe operation of the transformer is the deformation of the transformer winding, but to a certain extent, the deformation of the winding is inevitable. Then it is especially important to check the performance of the transformer windings.

III Presence of some dead zone or malfunction of the protection system

Another reason for the deformation of the transformer winding is that there is a certain dead zone or action failure in the protection system, because the dead zone and failure will force the transformer to withstand a stable short circuit current for a longer

time, which will eventually damage the winding. deformation. According to statistics, when an external short circuit obstacle is encountered, the transformer is damaged due to untimely disconnection, which is about 30% of the short circuit obstacle.

IV Transformer windings are deformed by external force

Transformers inevitably deform under the influence of external forces during transportation and installation, for example, from strong impacts of machines or other objects during installation.

V cumulative effect, hiding errors

According to the experience of normal transformer operation, as soon as the transformer winding is deformed, there is a cumulative effect, which leads to a vicious circle effect. What is a cumulative effect? For example, a 110 kV transformer, 31.5 MVA, after 6 years of operation, the 10 kV side was subjected to multiple strong current surges. After inspection, it was found that the transformer winding was seriously deformed. If the deformation problem is not detected in time, it is difficult to determine the time of the transformer failure. For example, after one month of operation of one transformer, the content of special gas in the oil increased sharply. After maintenance, it was found that the entire 35 kV winding was deformed and disposed of. Therefore, when the transformer winding is deformed, an accident will not occur immediately, with a repeated electric shock, an accident will occur with insulation breakdown even during normal operation.

Therefore, strengthen the diagnosis of transformer winding deformation, detect the deformed transformer winding in time and repair it according to the regulations, so as to prevent a series of irreversible accidents due to winding deformation, and save labor and material resources.

With the development of modern technologies for the maintenance of transformers, condition monitoring has appeared. Modern scientific and technological progress has made microelectronic technology, sensor technology and computer technology widely used in monitoring the state of high-voltage equipment in power systems. This removes the restriction on collecting information about transformers that existed in the past. At present, the power system can record all kinds of relevant data

affecting the life of the transformer in real time and continuously through the online monitoring of the transformer, so as to timely detect latent faults and carry out maintenance of the main state. And it can accumulate online monitoring experience, promote the continuous improvement and improvement of online monitoring technology, and open up a new situation in the maintenance of high-voltage devices.

1.2 Methods and methods for diagnosing the control of the state of the windings and the active part of transformers

1.2.1 Trends in test methods

The progress of science and technology has created favorable conditions for the application of power transformer fault detection technology. In the current era, power transformer fault detection has more and more new requirements. The professionalism of fault detection technology has been greatly enhanced, not only to strengthen the application of new transformer detection equipment, but also to improve the quality requirements of detection personnel. Only highly qualified technical personnel can ensure the efficient use of the appropriate test equipment. Based on the current needs of the development of the industry, electric power enterprises should consider the cultivation of professional talents as a long-term work and constantly improve their professional level.

The widespread application of new information technologies such as artificial intelligence in power transformer fault detection not only shortens the fault detection cycle, but also improves the fault detection efficiency, pointing the direction for the future development of the industry. With the help of information technology such as artificial intelligence technology, inspectors can create a transformer fault database, analyze some common transformers in the database, and refine solutions for various transformer faults. Intelligence Technology can perform the troubleshooting task using the appropriate databases. In addition, with the help of artificial intelligence technology and equipment, inspectors can also dynamically monitor the operation of the transformer and deal with abnormal situations in a timely manner, which also improves the efficiency of fault detection work.

1.2.2 Dissolved gas analysis

A preventive maintenance program is very important to extend the life of transformers and prevent abnormal situations. To this end, dissolved gas analysis (DGA) and electrical test methods can be applied to power transformers periodically or as needed. DGA is a widely used and worldwide recognized diagnostic method for detecting potential internal transformer faults. In oil-filled power transformers, incipient faults lead to the breakdown of insulating materials, resulting in the release of a certain amount of gases. The composition of these gases depends on the type and severity of the fault. If the amount of gases is known, power transformer faults such as partial discharge, sparking and overheating can be correctly interpreted. Thus, the power transformer maintenance program can be modified with the knowledge of the DGA.[4]

There is a wide range of diagnostic methods designed for the analysis of dissolved gases. Some of them are simpler and use only sums or individual ratios of gases, along with guidelines for determining different warning levels. Others are more complex as they use multiple gas ratios and relate them to a precise range of values.

DGA is applied using oil samples taken from an operating power transformer to monitor the condition of the transformer. Early warning information about existing or developing faults can be obtained. Faults that occur slowly and without noticeable signs, especially in the initial stages, can be prevented, and thus potential transformer failure can be avoided.

When evaluating the results of DGA, various methods of determination have been developed in the literature, which include key gas, Duval triangle, Roger coefficient, Dörnenburg coefficient, IEC coefficient methods, logarithmic nomogram[9]. These methods classify faults using look-up tables and diagrams according to the quantity or ratio of gases. The sensitivity and accuracy of these methods are related to the accumulated knowledge, since the tables and graphs are collected from the results of many years of experience[10]. Some gases are formed only as a result of certain faults. Depending on the type and severity of the fault, the resulting gases vary in type and quantity. If the type and quantity of gases are known, accurate comments can be made on the failure and preventive measures can be taken.

It is well known that several traditional methods can be used to evaluate DGA results. Of these methods, the Duval triangle and key gas methods usually have higher classification accuracy and consistency. Therefore, these methods are being explored to interpret the results of the DGA of power transformers in this study.

Key gas method

In the key gas method, which is based on which gases are typical or predominant at different temperatures, characteristic "key gases" are used to detect certain faults.

Table 1.2: Fault interpretation based on key gases [4]

Detected key gas	Interpretation
Hydrogen (H ₂)	Electrical partial discharge (corona effect)
Ethylene (C ₂ H ₄)	Thermal fault (electrical contacts)
Acetylene (C ₂ H ₂)	Electric fault (arc, spark)
Oxygen (O ₂)	Transformer seal fault
Ethane (C ₂ H ₆)	Secondary indicator of thermal fault
Methane (CH ₄)	Secondary indicator of an arc or serious overheating
Carbon Monoxide (CO)	Cellulose decomposition
Carbon Dioxide (CO ₂)	Cellulose decomposition

When making estimates using this method, percentages of combustible gases are calculated. The likely consequences of a malfunction can be based on excess gas or gases [4]. The identified key gases and their corresponding common failure causes are shown in Table 1.2.

Duval Triangle Method (DTM)

The Duval triangle method is a graphical representational chart. It uses only the concentrations of methane, acetylene and ethylene (ppm). There is a triangular chart that is divided into different areas, as shown in fig. 1.5. The intersection point is determined by the percentage values of related gases in the coordinate system. The percentages of these gases are calculated according to the equations given as:

$$\%CH_4 = \frac{100 \times x}{x + y + z}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 \times y}{x + y + z}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{100 \times z}{x + y + z}$$

Here, $x = [\text{CH}_4]$, $y = [\text{C}_2\text{H}_4]$, $z = [\text{C}_2\text{H}_2]$ represent the ppm values of dissolved gases in oil [6]. Fault types with this method are classified into six classes as partial discharge (PD), low-energy discharge (D1), high energy discharge (D2), low temperature thermal fault (T1), medium temperature thermal fault (T2) and high temperature thermal fault (T3) [9].

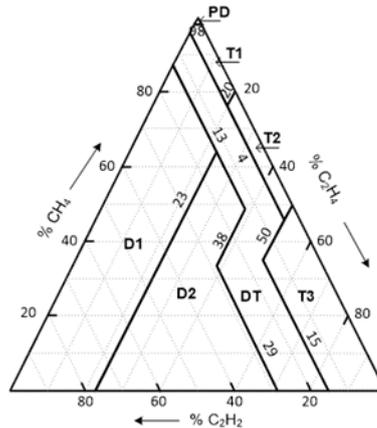


Fig. 1.5. Duval triangle diagram

Indeed, according to some published reports, the Duval triangle method provides more accurate and consistent diagnostic results than any other method currently available.

Doernenburg Ratio Method (DRM)

A description of the Dornenburg method can be found in the IEEE C57.104-1991 manual. It has lost its popularity in some parts of the world due to its complexity and conversion to other approaches based on the use of the Rogers ratio and basic gas ratios, but, in comparison with other methods diagnostics, the Dornenburg ratio method still retains its value as one of the most effective and affordable diagnostic methods. To use the Dornenburg ratio method, the concentration of one of the main gases (H₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, or CH₄) must be at least twice the corresponding L1 concentrations, as shown in Table 1.3. When this criterion is met, four possible ratios can be calculated if they contain the main gas of interest.

Table 1.3 - Dissolved gas concentration

main gas	L1 concentration (ppm)
hydrogen (H ₂)	100
methane (CH ₄)	120
Carbon monoxide (CO)	350
acetylene (C ₂ H ₂)	35
ethylene (C ₂ H ₄)	50
ethane (C ₂ H ₆)	65

The damage diagnostic method is based on the ranges of four ratios (Table 1.4).

Table 1.4 - Ratios of the main gases (Dornenburg ratio method)

Proposed result of damage diagnostics	Ratios 1 (R1) CH ₄ /H ₂		Ratios 2 (R2) C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄		Ratios 3 (R3) C ₂ H ₂ /CH ₄		Ratios 4 (R4) C ₂ H ₆ /C ₂ H ₂	
	Oil	Gas production	Oil	Gas production	Oil	Gas production	Oil	Gas production
	thermal decay	>1,0	>0,1	<0,75	<1,0	<0,3	<0,1	>0,4
Corona discharge (low energy PD)	<0,1	<0,01	insignificant		<0,3	<0,1	>0,4	>0,2
Arc discharge (high energy PD)	>0,1	>0,01	>0,75	>1,0	>0,3	>0,1	<0,4	<0,2

Rogers Ratio Method (RRM)

The Rogers ratio method (Table 4) is developed from the Dornenburg method and is used in exactly the same way, but instead of requiring significant concentrations of major gases, the Rogers ratio method can be used when concentrations exceed the values given in Table 1.5 (instead of doubling them).

Table 1.5 - Ratios of the main gases (Rogers ratio method)

case	Ratios 1 (R1) CH ₄ /H ₂	Ratios 2 (R2) C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	Ratios 3 (R3) C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	Type of damage
0	<0,1	>1,0	<1,0	Normal condition
1	≥0,1; <0,5	≥1,0	≥1,0	Low Energy Discharge
2	≥0,1; <1,0	≥0,6; ≥3,0	≥2,0	High Energy Discharge
3	≥1,0	<0,01	<1,0	Thermal damage, t<300°C
4	≥1,0	<0,1	≥1,0; <4,0	Thermal damage, t<700°C
5	≥1,0	<0,2	≥4,0	Thermal damage, t>700°C

Although more accurate, the Dornenburg, Rogers, and basic gas ratio methods have the disadvantage that when some combinations of gases do not fall within the specified range of values in the calculation, the type of damage cannot be determined.

1.2.3 Low voltage pulse method

The low voltage pulse method (LPV) has been known for many years as the most sensitive method for detecting residual deformations in power transformer windings due to electrodynamic effects.

The essence of the method is to apply a low-voltage rectangular pulse to one of the transformer windings, register and analyze the transient pulse current, which is the reaction of the windings to this pulse (Fig. 1.6). Comparative analysis of the differences in the curves of the pulsed transient current before and after the electrodynamic action underlies the LPV method.

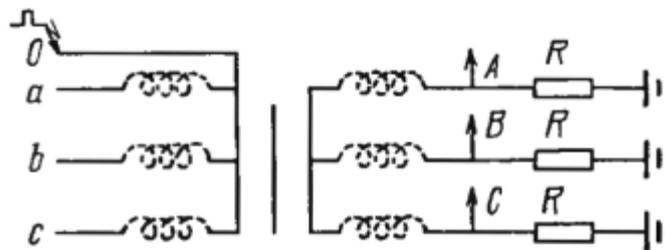


Figure 1.6 - Scheme of pulse flow detection of a transformer

A feature of the flaw detection of transformers by the LPV method is the need to combine in a limited time the actual measurements, which include a large amount of measurement data, processing of measurement data, analysis and evaluation of measurement results (Fig. 1.7).

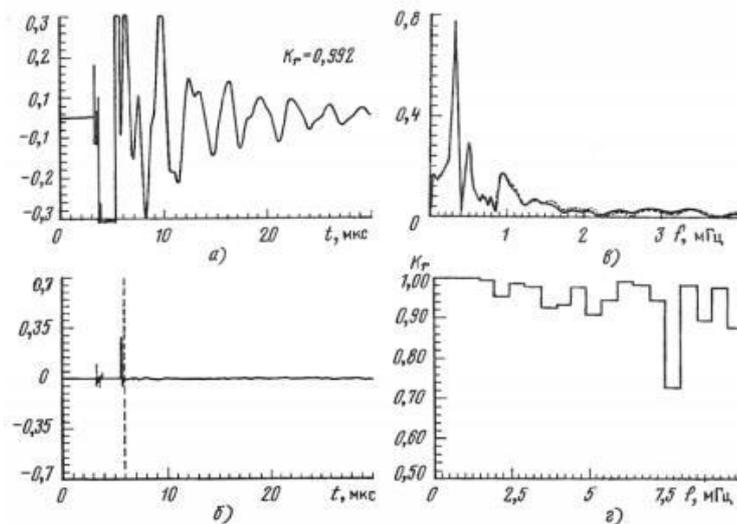


Figure 1.7 - Results of pulse flaw detection of the transformer

Thanks to modern oscilloscopes, it is possible to save the received signal results and decompose them into spectra in advance in a prepared program in Mathcad.

Advantages of LPV:

- possesses high sensitivity;
- difference from traditional methods, that LPV can determine almost all types of deformations in the transformer;
- no need to disassemble the transformer

Disadvantages of LPV:

- when diagnosing presumptive damage based on the results of LPV, it is necessary to use the accumulated experience of flaw detection and the catalog of damage to power transformers compiled on the basis of the results of electrodynamic tests;
- only a qualitative assessment of deformations is possible, and it is not always possible to interpret changes in the LPV curves with full confidence.

1.2.4 Frequency Response Analysis (FRA)

The LPV method has a number of disadvantages, which, to the full extent, do not allow solving the problem of finding deformations in the transformer.

A more preferred method for finding deformations is the frequency response analysis (FRA) method. This method is less dependent on the measurement scheme (the mutual arrangement of the measuring cables, the influence of the busbar near the

measurement object, external interference in the conditions of an operating substation, etc.), and also allows one to quantify the residual deformations that occur in the windings [5].

Frequency response analysis (FRA) is a common tool for diagnosing incipient mechanical and electrical faults inside a transformer winding. The frequency response method is based on a graphical comparison of frequency response signatures. Sweep frequency response (SFRA) and pulse frequency response (PFRA) can be found depending on the nature of the excitation signal. PFRA is an effective complement to SFRA and is also known as the transfer function (TF) method.

After the manufacture of the transformer, its coil structure is also determined, and the parameters of the components of the distributed parameters of the transformer winding are also determined. When an electric voltage is applied to it, deformation of the coil may occur, its inductance, capacitance, resistance and other distribution parameters will change, and the frequency response of the winding will also change. Compare the number and frequency of resonant peaks in the transfer function before and after the winding. Horizontal Comparison of Change in Amplitude and Frequency Response The spectrum of a three-phase winding can be used for qualitative and quantitative analysis to judge the degree of deformation of a transformer winding.

Conclusion

Thus, the following conclusions can be drawn: the sources of common faults in transformer windings and their causes are analyzed. And also considered methods for diagnosing current transformers and list their characteristics.

In the above diagnostic methods, the low-voltage pulse method and the frequency response analysis can be combined, which can improve the diagnostic accuracy and efficiency. Especially when there is a small defect and the existence of the defect cannot be observed on the waveform diagram, the existence of the defect can be determined by the change of the spectrogram.

The used diagnostic technology is based on the method of low-voltage nanosecond pulses, which has been upgraded in order to implement a more reliable, fast and reliable control of the state of the power transformer windings.

Compared with the classical, one-stage method has the following advantages:

Firstly, it is more efficient, since it uses only one stage - the probing pulse. This reduces the diagnostic time compared to the "classical" two-stage method.

Secondly, this method demonstrates an increased accuracy of diagnostic measurements - it is provided by reducing the elements of the measuring circuit and the amount of noise that distorts the measurement result.

Thirdly, the single-stage method is more technologically advanced. In practice, one measurement step is easier to implement. The measurement time is reduced and the probability of error is reduced.

Fourthly, this method makes it possible to implement diagnostics under operating voltage. That is, it is possible to use a single-stage method in production, since it is possible to connect a probing pulse generator (through an isolation capacitor and input PIN sensor) directly to the winding under test. This cannot be done in the classical method.

References

- [1] Lavrinovich A. V., Mytnikov A. V. Development of technology for monitoring the state of electric motor windings based on the pulse method; scientific hands A. V. Mytnikov // Intelligent energy systems: Proceedings of the V International Youth Forum, October 9-13, 2017, Tomsk: in 3 volumes - Tomsk: TPU Publishing House, 2017. - V. 2. - [C . 145-148].
- [2] Lavrinovich A. V. Diagnostic complex for effective monitoring of the state of windings of high-voltage transformers / A. V. Lavrinovich, A. V. Mytnikov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University [TPU Bulletin]. Engineering of georesources. - 2020. - T. 331, No. 11. - [S. 48-59].
- [3] Pavlov A. A. Analysis of the results of pulse flaw detection of high-voltage transformers: Bachelor's thesis / AA Pavlov; National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), School of Power Engineering (ISE), Department of Electricity and Electrical Engineering (PEE); scientific hands A. V. MYTNIKOV — Tomsk, 2021.
- [4] M. Duval, Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer, IEEE Electrical Insulation Magazine, 5(6), 22-27, 1989.
- [5] M. Duval, J. Dukaram, Improving the reliability of the transformer gas-in-oil diagnosis, IEEE Electrical Insulation Magazine, 21(4), 21-27, 2005.
- [6] M. Duval, A review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers, IEEE Electrical Insulation Magazine, 18(3), 8-17, 2002.
- [7] R.R. Rogers, IEEE and IEC Codes to Interpret Incipient Faults in Transformers, Using Gas in Oil Analysis, IEEE Transactions on Electrical Insulation, 13(5), 349-354, 1978.
- [8] S. Saranya, U. Mageswari, N. Roy, R. Sudha, Comparative study of various dissolved gas analysis methods to diagnose transformer faults, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 3(3), 592-595, 2013.N.A. Muhamad, B.T. Phung, T.R. Blackburn, K.X. Lai, Comparative study and analysis of DGA methods for transformer mineral oil, 2007 IEEE Lausanne Power Tech Proceedings, Lausanne, Switzerland, 1-5 July, 2007, pp.45-50.

[9] A.S. Alghamdi, N.A. Muhamad, A.A. Suleiman, DGA Interpretation of Oil Filled Transformer Condition Diagnosis, Transactions on Electrical and Electronic Materials, 13(5), 229-232, 2012.

[10] K. Bacha, S. Souahlia, M. Gossa, Power transformer fault diagnosis based on dissolved gas analysis by support vector machine, Electric Power Systems Research, 83(1), 73-79, 2012.