

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Прогнозирование работоспособности силовых трансформаторов на основе ХАРГ	
УДК 621.314.222.6-192	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Логинова Елена Павловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Тихонов Д.В.	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>
P7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>
P11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.</i>

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭЭС

_____ Сулайманов А. О.

(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
5AM5A	Логиновой Елене Павловне

Тема работы:

Прогнозирование работоспособности силовых трансформаторов на основе ХАРГ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№593/с от 03.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.17
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данными к работе являются данные анализов силовых трансформаторов, полученных на основе ХАРГ.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">Анализ основных проблем, при оценке состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования;Анализ результатов ХАРГ.
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.
Приложение А	Воробьева В. В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Introduction	
1. Main methods of diagnostics of power transformers	
1.1. Thermovision inspection	
1.2. Vibration diagnostic	
1.3. HARG	
1.3.1 The defects of power transformers revealed at measurement of the gases dissolved in oil	
1.3.3 Chromatographs	
Conclusions	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Тихонов Д.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Логинова Елена Павловна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 167 страниц, 32 рисунка, 23 таблицы, 23 источника, 5 приложений.

Ключевые слова: Хроматографический анализ растворённых в масле газов, лепестковая диаграмма, треугольник Дюваля, отношения пар газов, интерпретация данных ХАРГ.

Объектом исследования являются силовые (авто) трансформаторы.

Цель работы – на основе данных ХАРГ составить рекомендации по дальнейшей эксплуатации высоковольтных трансформаторов.

Для достижения поставленной цели провели диагностику (авто) трансформаторов и оценили полученные результаты. Провели анализ полученных данных.

Область применения: электроэнергетика.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 в соответствии с ГОСТ Р 1.5-2004, графический материал – построение конструктивного чертежа в программе Microsoft Visio. Работа представлена в распечатанном виде на листах формата А4 и на диске CD R (в конверте на обороте обложки).

Сокращения:

- ХАРГ – хроматографический анализ газов;
- РПН – регулирование под напряжением;
- ИКТ - прибор инфракрасной техники;
- ВН – высшее напряжение;
- НН – низшее напряжение;
- СН – среднее напряжение;
- АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
- НВИ – низковольтные импульсы.

Оглавление

Введение	11
1 Основные методы диагностики силовых трансформаторов.....	13
1.1 Тепловизионное обследование	13
1.2 Вибродиагностика.....	17
1.3 Метод измерения угла диэлектрических потерь силовых трансформаторов.....	21
1.4 Метод измерения сопротивления изоляции обмоток.....	26
1.5 Метод измерения сопротивления обмоток постоянному току.....	30
1.6 Частотный метод.....	35
1.6.1 Метод частотного анализа (МЧА).....	35
1.6.1 Метод низковольтных импульсов (НВИ).....	35
1.7 Метод измерения частичных разрядов.....	37
1.7.1 Методика проведения акустического обследования трансформаторного оборудования.....	38
1.7.2 ХАРГ	46
1.8.1 Дефекты силовых трансформаторов, выявляемые при измерении растворенных в масле газов.....	40
1.8.2 Методика отбора проб	42
1.8.3 Хроматографы.....	46
1.8.4 Факторы, вызывающие увеличение газов.....	49
1.8.5 Факторы, вызывающие уменьшение газов	50
1.8.6 Случайные факторы.....	51
1.8.7 Метод Дюваля («треугольник Дюваля»).....	52
1.8.8 Метод «лепестковых диаграмм»	54
1.8.9 Метод МЭК 60599.....	56
2 Экспериментальные данные и их анализ.....	59
2.1 Оборудование.	59
2.3 Анализ по методу «лепестковых диаграмм».....	59
2.3 Анализ по методу «треугольника Дюваля».	65
2.4 Диагностика силовых трансформаторов с использованием методик РД 153-34.0-46.302-00 и МЭК 60599.	72
3 Обсуждение полученных результатов.....	74
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	79

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	79
4.1 Планирование научно-техническим исследованием	79
4.3 Бюджет научного исследования	57
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	57
4.3.2 Основная заработная плата	57
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	90
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	57
4.3.5 Накладные расходы.....	92
4.3.6 Формирование бюджета затрат на научное исследование.....	92
4.4 Определение научно-технической эффективности НИ	93
5 Социальная ответственность	98
Аннотация	98
Введение.....	99
5.1 Производственная безопасность.....	100
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.	100
5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования.....	101
5.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	111
5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	112
Заключение.....	115
Список использованных источников.....	117
Приложение А	120
Приложение Б.....	140
Приложение В	144
Приложение Г.....	153
Приложение Д.....	160
CD диск в конверте на обратной стороне обложки	

Введение

Современные промышленные предприятия работают в цикле непрерывного производства, перебои в работе которых приводят к тяжелым экономическим потерям. Это накладывает повышенные требования к системам производства и распределения электрической энергии, а, следовательно, и к элементам, составляющим эти системы.

Одними из главнейших элементов систем распределения электрической энергии являются силовые трансформаторы. Своевременное обнаружение дефектов трансформаторов позволяет предотвратить возникновение аварийных ситуаций, а также эффективнее планировать вывод трансформаторов из работы для проведения ремонтных работ.

Хроматографический анализ растворенных в масле газов (ХАРГ) является одним из наиболее распространенных видов неразрушающего диагностирования состояния маслonaполненного оборудования.

Данный метод разработан в начале 70-х годов прошлого века в Англии, и с того момента нашел широкое применение в большинстве развитых стран.

В настоящее время все крупные энергетические компании и трансформаторостроительные фирмы широко применяют ХАРГ, используя при этом различные системы оценки и определения типа дефекта трансформатора.

Несмотря на имеющийся положительный опыт применения ХАРГ, существуют и целый ряд проблем, которые возникают при оценке состояния высоковольтного маслonaполненного оборудования с использованием данного метода. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения основного спектра таких проблем, и путей их решения.

Актуальность работы

Высоковольтное маслonaполненное электрооборудование является основной и неотъемлемой частью Единой энергетической системы России, обеспечивающей непрерывное бесперебойное электроснабжение. В настоящее время наблюдается значительный износ существующего парка

электрооборудования как в России, так и за рубежом. Экономически нецелесообразно заменять весь парк электрооборудования, отработавшего нормативный срок. Гораздо эффективнее совершенствовать и развивать существующие методы диагностики, которые в основном направлены на контроль изоляции, в частности, трансформаторного масла, являющегося наиболее информативной средой. Однако используемые способы контроля изоляции зачастую дороги и не всегда дают достоверный результат.

При диагностировании высоковольтного маслонаполненного электрооборудования важно выявить дефект, развивающийся в электрооборудовании, что позволит своевременно его отремонтировать, продлить срок службы, а также предотвратить аварийные ситуации.

В настоящее время используется много диагностических методов, но основным является хроматографический анализ газов, растворенных в масле (ХАРГ). Проведенный обзор литературных источников позволяет сделать заключение, что этот метод давно используется, хорошо себя зарекомендовал и актуальной задачей является его совершенствование. После проведения ХАРГ важно правильно интерпретировать полученные результаты и дать заключение о том, какие процессы протекают в маслонаполненном электрооборудовании и как его дальше эксплуатировать.

1 Основные методы диагностики силовых трансформаторов

1.1 Тепловизионное обследование

Тепловизионное диагностирование силовых трансформаторов и автотрансформаторов является довольно сложной процедурой, так как при образовании локальных дефектов в трансформаторах они «заглушаются» естественными тепловыми потоками от магнитопровода и обмоток. К тому же функционирование охлаждающих устройств, которое способствует ускоренной циркуляции масла, сглаживает распределение температур в месте дефекта.

При анализе результатов компьютерной диагностики необходимо учитывать конструктивные особенности трансформаторов, тип используемой

системы охлаждения обмоток и магнитопровода, условия и продолжительность эксплуатации, технологию изготовления и множество других факторов.

На погрешность измерения влияют массивные металлические части трансформаторов, в том числе бак, прессующие кольца, экраны, шпильки и т.п., в которых тепло выделяется за счёт добавочных потерь от вихревых токов, наводимых полями рассеяния.

С помощью тепловизионной техники в силовых трансформаторах можно выявить следующие дефекты:

- витковое замыкание в обмотках интегрированных трансформаторов тока;
- неисправности контактной системы регулирования под напряжением (РПН);
- возникновение магнитных полей рассеяния в трансформаторе за счёт нарушения изоляции отдельных компонентов магнитопровода (консоли, шпильки и т.п.);
- дефекты в системе охлаждения трансформатора (маслонасосы, фильтры, вентиляторы и т.п.) и оценка её эффективности;
- изменение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора (образование застойных зон) в результате шламообразования, конструктивных просчётов, разбухания или смещения изоляции обмоток (характерно для трансформаторов с большим сроком эксплуатации);
- нагревы внутренних контактных соединений обмоток низкого напряжения (НИ) с выводами трансформатора;
- обрывы шинок заземления;
- нагревы на аппаратных зажимах высоковольтных вводов;
- неисправность обогрева приводов РПН и т.п [1].

При тепловизионном контроле электрооборудования следует применять тепловизоры с разрешающей способностью по температуре не

ниже 0,1 °С. Верхний предел температурного диапазона должен быть не менее 200°С, нижний-не менее – 10 °С. Диапазон температур среды, на которой рассчитан тепловизор, должен быть не хуже следующего: от - 20 °С до +50 °С.

Для исключения влияния солнечной радиации тепловизионный контроль необходимо проводить в ночное время суток (предпочтительно после полуночи) или в облачную погоду. При острой необходимости в электроустановках при солнечной погоде рекомендуется производить для каждого объекта поочередно из нескольких диаметрально противоположных точек.

При тепловизионном контроле должны учитываться следующие факторы:

- солнечная радиация;
- скорость ветра;
- расстояние до объекта;
- тепловое отражение и т.п.

В рабочей тетради оператора-тепловизионщика (памяти ПК, тепловизора) фиксировать: наименование контролируемого объекта, его диспетчерское наименование, токовую нагрузку, внешнее состояние поверхности, погодные условия.

Снимаются термограммы поверхностей бака трансформатора в местах расположения отводов обмоток, по высоте бака, по периметру трансформатора, верхней его части, в местах болтового крепления колокола бака, системы охлаждения и их элементов и т.п.

При обработке термограмм сравниваются между собой нагревы крайних фаз, нагревы однотипных трансформаторов, динамика изменения нагревов во времени и в зависимости от нагрузки, определяются локальные нагревы, места их расположения, осуществляется сопоставление мест нагрева с расположением элементов магнитопровода, обмоток, оценивается эффективность работы систем охлаждения [2].

Тепловизор или его сканер должны устанавливаться на штативе, по возможности как можно ближе к трансформатору, на оси средней фазы, при использовании объектива 7-12°. К тому же тепловизор должен обеспечивать как аудио, так и видеозапись.

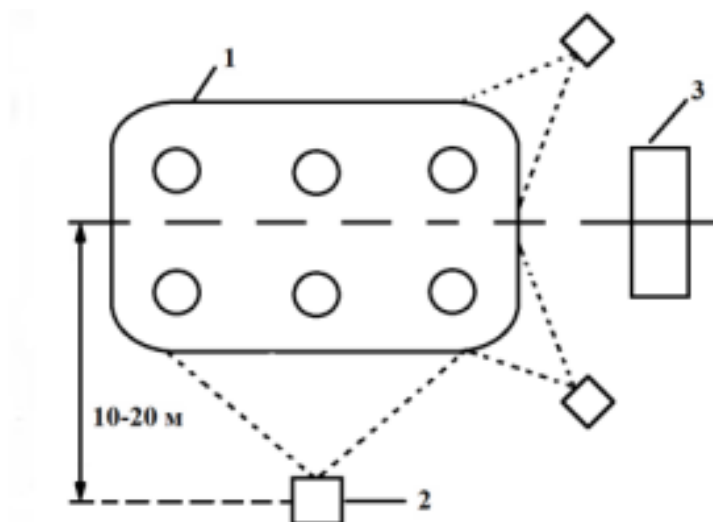


Рисунок 1 – Методика термографической съемки.

Тепловизор (2) во всех точках съёмки должен находиться на одинаковом расстоянии от трансформатора (I). Необходимо обеспечить как минимум 4 точки съёмки, максимальное же значение количества точек съёмки зависит от типа системы охлаждения и его расположения. Например, при использовании выносной системы охлаждения (3), количество точек съёмки увеличивается до 6.

Далее осуществляется склеивание результатов съёмки в единый развернутый «тепловой» план. Участки плана с повышенными температурами нагрева сопоставляются с технической документацией на трансформатор, которая характеризует конструктивное расположение отводов обмоток, катушек, зон циркуляции масла, магнитопровода и его элементов и т.п. При этом фиксируется работа систем охлаждения, оценивается зона циркуляции масла, создаваемая каждой из них. Следует обращать внимание на образование аномальных тепловых зон на поверхности бака трансформатора из-за смещения потоков масла.

Система охлаждения трансформатора является важным функциональным узлом, значительно влияющим на работу всего трансформатора, а контроль за ней является наиболее сложной и ответственной задачей. Чтобы определить неисправность в системе охлаждения трансформатора приборами ИКТ оператор должен иметь высокую квалификацию.

В настоящее время выработаны два подхода, которые позволяют эффективно оценить работу системы охлаждения трансформаторов:

1) Оценка средней температуры однотипного оборудования, работающего при одной нагрузке, в одинаковых условиях окружающей среды. Опыт показывает, что разница средних по баку температур одинаковых трансформаторов, которые работают при одной нагрузке и в одинаковых условиях, больше чем на 2 °С, может быть признаком нарушения нормальной работы системы охлаждения.

2) Контроль температуры патрубков входа и выхода масла из системы охлаждения и сравнение с данными типовых заводских испытаний. Анализ результатов тепловых испытаний и многочисленный опыт тепловизионных обследований позволяют установить среднюю разницу температур входа-выхода масла, характерную для каждого вида системы охлаждения. Отклонение от этого значения более чем на 1-1,5 °С уже служит признаком неисправной работы охладителя [1].

1.2 Вибродиагностика

Вибрация – механические колебания контролируемой точки агрегата относительно среднего, нейтрального положения. Вибрация свойственна всем работающим механизмам. Вибрация – один из наиболее информативных и обобщенных параметров, который может быть применен для “безразборной” оценки текущего технического состояния оборудования, для диагностики причин повышенной вибрации.

По мере развития неисправностей в машине происходит изменение динамических процессов, происходят качественные и количественные

изменения сил, воздействующих на детали машин. В результате изменяется как сам уровень механических колебаний, так и их форма. С физической точки зрения вибрация на поверхности бака мощного трансформатора качественно и количественно хорошо коррелируется с состоянием прессовки обмотки и магнитопровода. Изменение степени прессовки в процессе эксплуатации приводит к изменению общей вибрационной картины, усилению вибрации, изменению ее частоты, появлению модулированных колебаний. С данными изменениями довольно часто сталкиваются работники эксплуатационных служб, которые выполняют осмотры работающих трансформаторов.

На практике достаточно часто техническое состояние активной части трансформатора контролируется следующими вибрационными характеристиками: виброускорение, виброскорость и виброперемещение. Для количественного описания вибросигналов наиболее широко используются виброперемещение и виброскорость.

Для измерения вибрации используется переносной виброанализатор в режиме измерения виброускорений, виброскоростей или среднеквадратичных значений виброперемещений.

При обследовании датчик последовательно устанавливается в каждом секторе, и снимаются показания прибора. Результаты вибрационного обследования сводятся в табл.1.

Таблица 1 – Результаты вибрационного обследования

Сектор	СКЗ виброперемещения на уровне по высоте, мкм				
	I	II	III	IV	V
1	13	71	59	58	26
2	14	116	81	59	31
3	-	167	95	67	21
4	18	83	26	132	53
5	24	43	37	73	60
6	23	93	73	58	19
7	20	62	87	41	37
8	17	87	75	46	20
9	22	53	43	55	45
10	31	44	78	70	27
11	32	50	81	77	19
12	14	110	100	31	21
13	22	34	52	49	32
14	24	29	56	55	23
15	36	48	20	27	24
16	7	35	26	24	39
17	8	68	47	24	43
18	12	56	21	23	15
Предельно допустимое значение	60				

По значениям в таблице строится эпюра среднеквадратичных значений виброперемещений поверхности бака (рис. 2).

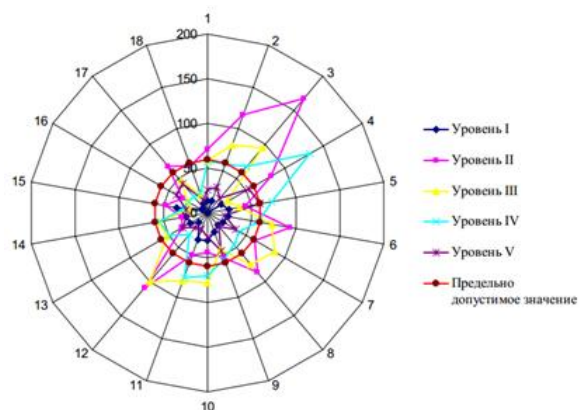


Рисунок 2 – Эпюра среднеквадратичных значений виброперемещений поверхности бака.

Результаты, полученные при вибрационном обследовании трансформатора, сравниваются между собой, а также с результатами предыдущих измерений.

Для трансформаторов не существует нормируемых значений по вибрации. Однако существует опыт накопленный некоторыми организациями который можно использовать при выдаче результатов вибрационного обследования. Так по опыту НИЦ "ЗТЗ-Сервис" нормально работающий трансформатор характеризуется следующими значениями вибрационных параметров:

- ускорение – ниже 10 м/с;
- виброскорость – ниже 10 мм/с;
- виброперемещение – 100 мкм.

Данные ряда организаций показывают, что уровень виброскорости ниже 6...10 мм/с может быть использован как некий барометр отсутствия ослабления прессовки обмоток и магнитопровода [3].

1.3 Метод измерения угла диэлектрических потерь силовых трансформаторов

Тангенсом угла диэлектрических потерь называется отношение активной составляющей тока (I_a), протекающего через изоляцию при приложении к ней переменного напряжения, к его емкостной составляющей (I_c) (рис. 3). Этот показатель принято выражать в процентах:

$$\operatorname{tg} \delta, \% = \frac{I_a}{I_c} 100 = 100 \operatorname{tg} \delta, \quad (1)$$

Как известно, условия работы изоляции на переменном токе тяжелее, чем на постоянном, при одинаковых напряжениях переменного и постоянного тока. При переменном токе в изоляции возникают потери энергии, получившие название диэлектрических.

Из рис.3 видно, что активная составляющая полного тока I_a состоит из $I_{\text{СКВ}}$ и активной составляющей $I'_{\text{аб}}$. Емкостная составляющая I_c равна сумме тока геометрической емкости I_{Γ} и емкостной составляющей тока $I''_{\text{аб}}$. Потери в изоляции создаются, как можно видеть из рис.3, в основном абсорбционным током $I_{\text{аб}}$, активная составляющая которого при частоте 50 Гц значительно больше $I_{\text{СКВ}}$. Потери в изоляции будут равны:

$$P=I_a U \cos \varphi=I_c U t g \delta, \quad (2)$$

где δ – угол между полным током и его емкостной составляющей.

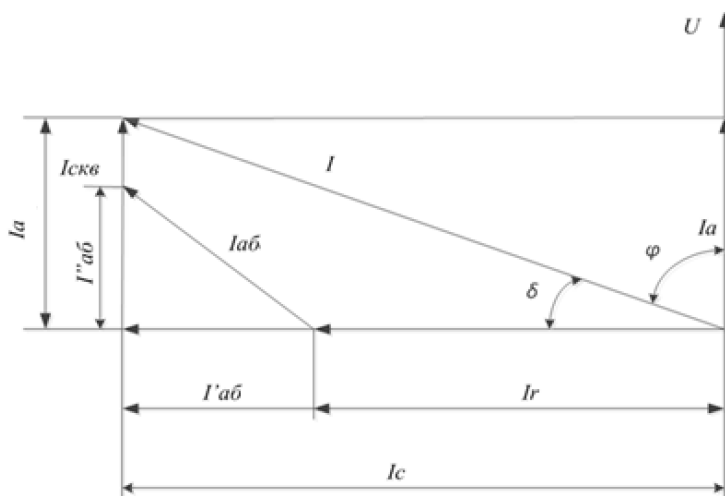


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов через диэлектрик с потерями

Увлажнение и другие дефекты изоляции вызывают увеличение активной составляющей тока I_a и вместе с тем увеличение диэлектрических потерь и $\operatorname{tg} \delta$. Показатель $\operatorname{tg} \delta$ является почти столь же чувствительным к изменению состояния изоляции, как и потери в изоляции, так как с увлажнением и появлением других дефектов в изоляции активная

составляющая растет во много раз быстрее, чем емкостная, а угол δ не превышает нескольких градусов.

Диэлектрические потери зависят не только от состояния изоляции, но и от ее размеров и от приложенного напряжения. Тангенс угла диэлектрических потерь характеризует состояние изоляции.

Тангенс угла диэлектрических потерь является одним из основных показателей состояния изоляции, определяющим его общую, усредненную характеристику. Местные и сосредоточенные дефекты в изоляции большого объема измерением $\text{tg } \delta$ обнаруживаются плохо. Это можно объяснить тем, что увеличение I_a вызывается в таких случаях ухудшением небольшой части объема изоляции, а I_c практически остается неизменным и определяется всем объемом изоляции. При испытании объектов с малым объемом изоляции измерением $\text{tg } \delta$ удастся обнаружить развитые местные и сосредоточенные дефекты.

Измерение $\text{tg } \delta$ при монтаже трансформаторов обычно производят мотами переменного тока. Наибольшее распространение для этой цели получил мост типа МД-16, схема которого изображена на рис.4. Класс точности этого моста не велик, но пока этот прибор является единственным из выпускаемых нашей промышленностью, предназначенным для измерения $\text{tg } \delta$ в полевых условиях.

Применяют две схемы включения моста для измерения $\text{tg } \delta$: нормальную, в которой измерительный элемент (рис.5,а) включен между одним из электродов испытуемого диэлектрика и «землей», и перевернутую, в которой (рис.5,б) измерительный элемент включен в провод испытательного напряжения, идущего к испытуемому диэлектрику. Нормальную схему применяют, когда оба электрода изолированы от земли, перевернутую, - когда один из электродов объекта измерения заземлен, например, магнитопровод трансформатора. На рис. Мост включен по перевернутой схеме.

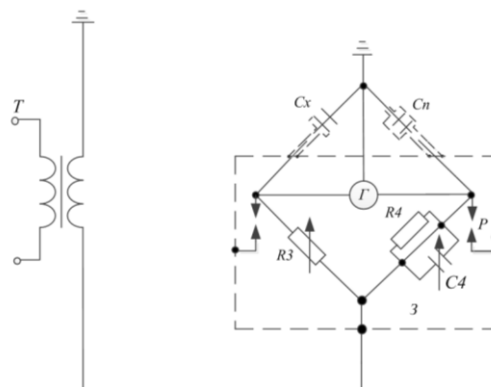


Рисунок 4 –Принципиальная схема моста типа МД-16 (перевернутая).

Т-испытательный трансформатор; C_x – образцовый конденсатор высокого напряжения; Г- гальванометр; R_3 – переменное сопротивление; R_4 – постоянное сопротивление; C_4 – магазин емкостей; Э – экран; Р – разрядник.

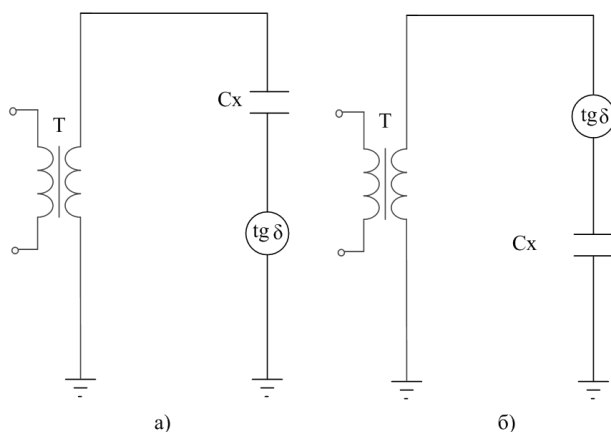


Рисунок 5 – Схема включения установки для измерения тангенса угла диэлектрических потерь.

а – нормальная; б – перевернутая.

При измерении $\text{tg } \delta$ частота проводимого напряжения не должна отклоняться от номинальной более, чем на $\pm 0,5$ Гц.

Результаты измерений $\text{tg } \delta$ могут быть искажены паразитными токами и токами влияний.

Паразитными токами называют токи, возникающие под действием напряжения измерительного устройства и протекающие через его измерительный элемент, минуя объект измерения.

Токами влияния называются протекающие через измерительный элемент устройства токи, наведенные находящимися в работе частями

электроустановки (подстанции, распределительно устройства). Серьезное мешающее действие токи влияния оказывают при измерении $\operatorname{tg} \delta$ в действующих электроустановках напряжением и выше.

Снижение паразитных токов и токов влияний до допустимого минимума осуществляется экранированием измерительного устройства и проводов и протиркой поверхностей изоляторов, а если последняя не дает требующих результатов, то применением охранных колец и др.

Измерение $\operatorname{tg} \delta$ обмоток трансформаторов, заполненных маслом, производится при напряжении, не превышающем 60% заводского испытательного, но не ниже 10кВ. При испытании трансформаторов, не заполненных маслом, напряжение не должно превышать 10 кВ для обмоток с номинальным напряжением 35кВ и выше и $0,3 U_{\text{ном}}$ для более низких напряжений.

Оценку полученных значений $\operatorname{tg} \delta$ производят сопоставлением их с нормами, либо с результатами заводских измерений.

Результаты измерений $\operatorname{tg} \delta$ зависят от температуры изоляции, с повышением температуры возрастает [4].

1.4 Измерение сопротивления изоляции обмоток

Сопротивлением изоляции называют ее сопротивление постоянному току. Оно равно отношению приложенного к изоляции напряжения к протекающему через нее току. Этот ток устанавливается не сразу после приложения напряжения, он постепенно спадает до установившегося значения. Отношение сопротивления, измеренного спустя 60 секунд после приложения напряжения R_{60} к сопротивлению, измеренному через 15 секунд после приложения напряжения R_{15} , называют коэффициентом абсорбции. Сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции чаще всего выявляют увлажнение изоляции. Следовательно, коэффициент абсорбции:

$$R_{a6} = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \quad (3)$$

Изоляция обмоток трансформатора является неоднородным диэлектриком. Явления, возникающие в такой изоляции при приложении к ней постоянного напряжения, можно представить, рассмотрев упрощенную схему замещения неоднородного диэлектрика, изображенную на рис.6. При приложении постоянного напряжения к зажимам схемы протекающий ток будет состоять из арифметической суммы трех составляющих:

1. Емкостного тока I_{Γ} , обусловленного так называемой геометрической емкостью C_{Γ} . Поскольку емкость C_{Γ} присоединена к источнику питания без сопротивления, она заряжается очень быстро. Ток I_{Γ} имеет импульсный характер, практически мгновенно спадает до нуля и не оказывает влияния на результаты измерения R_{15} и R_{60} .

2. Тока абсорбции $I_{аб}$, протекающего по ветви $R_{аб} - C_{аб}$. Эта ветвь отражает процесс заряда слоев диэлектрика через сопротивление изоляции предшествующего слоя. С увлажнением изоляции сопротивление $R_{аб}$ снижается. Снижается оно и превышении температуры, так как при этом влага заполняет капиллярные каналы в изоляции и как бы образует проводящие мостики. С увеличением увлажнения $C_{аб}$ возрастает, поскольку увлажненные слои диэлектрика становятся полупроводящими, а толщина сухого слоя диэлектрика снижается. Следовательно, с увлажнением изоляции начальное значение тока $I_{аб}$ возрастает и он быстрее спадает до нуля. У сухой изоляции $R_{аб}$ велико, заряд $C_{аб}$ протекает медленно, начальное значение тока $I_{аб}$ мало и ток спадает длительное время.

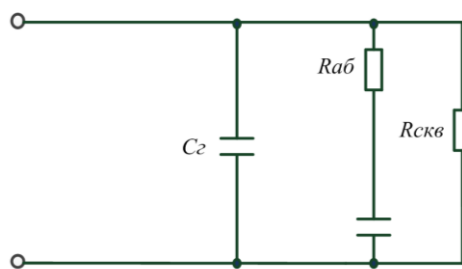


Рисунок 6– Схема замещения изоляции.

$C_Г$ –геометрическая емкость; $R_{аб}$ и $C_{аб}$ –сопротивление и емкость абсорбционной ветви; $R_{скв}$ – сопротивление изоляции установившемуся постоянному току.

3. Тока сквозной проводимости или тока утечки $I_{скв}$, протекающего через сопротивление $R_{скв}$, обусловленное как наружным загрязнением изоляции, так и наличием в ней путей сквозной утечки. Ток $I_{скв}$ устанавливается практически мгновенно и во времени не изменяется.

Сопротивление изоляции $R_{из}$ обратно пропорционально сумме указанных составляющих. Поскольку $I_{аб}$ изменяется во времени, изменяется и $R_{из}$, пока ток абсорбции не спадет полностью. Обычно процесс спадания заканчивается в основном через 50 секунд после приложения напряжения, но у сухой и исправной изоляции он может продолжаться и значительно большее время. Соответственно сопротивление изоляции в начале измерения имеет наименьшее значение, по мере спадания тока $I_{аб}$ оно возрастает, достигая установившегося значения, определяемого током $I_{скв}$.

Для того, чтобы результаты измерения были сопоставимы, их нужно производить через один и тот же промежуток времени после приложения напряжения. За такой промежуток принято 60секунд. Хотя в ряде случаев ток $I_{аб}$ к этому времени еще полностью не спадет, это не мешает сопоставлять полученные при измерении значения R_{60} .

Сопротивление изоляции дает, таким образом, представление о среднем состоянии изоляции главным образом в отношении ее увлажнения и загрязнения. Поскольку емкости и сопротивления в схеме замещения рис. 6

зависят от размеров изолированной обмотки, сопротивление изоляции зависит также не только от состояния диэлектрика, но и от размеров (мощности, напряжения) оборудования, изоляция которого контролируется. Значение коэффициента абсорбции не зависит от размеров изоляции, так как этот коэффициент характеризует интенсивность спада тока абсорбции. С удалением влаги из изоляции коэффициент абсорбции возрастает, с увлажнением изоляции – падает. Объясняется это тем, что с увлажнением изоляции $I_{скв}$ возрастает быстрее, чем начальное значение $I_{аб}$.

Измерение сопротивления изоляции производится мегомметром на напряжение 2500 в, с верхним пределом измерений не ниже 10000 *Мом*. Измерение сопротивления изоляции используется для контроля состояния обмоток трансформатора, изоляции ярмовых балок и стяжных болтов магнитопровода.

Измерение сопротивления изоляции обмоток производится до и после заполнения трансформатора маслом. Первые измерения являются вспомогательными, вторые основными.

Перед началом измерений испытываемую обмотку трансформатора заземляют на время не менее 2 минут, чтобы остаточный заряд в значительной мере разрядился и не влиял на результаты измерений.

При измерении сопротивления изоляции обмоток низшего напряжения полностью собранного трансформатора, имеющего пробивной предохранитель, последний должен быть снят, чтобы не произошло при измерении пробоя разрядного промежутка.

Показания мегомметра отсчитывают через 15 и 60 секунд после приложения напряжения к обмотке при номинальной скорости вращения рукоятки мегомметра.

По результатам измерений определяют отношение R_{60}/R_{15} , которое для исправной изоляции при температуре (10-30) °С не должно быть ниже 1,3. Его значения могут быть в пределах 1-3, первая цифра соответствует полностью увлажненной, последняя - очень сухой изоляции.

Оценку полученных значений R_{60} производят сопоставлением их результатами измерений на заводе-изготовителе или с нормами.

Хотя сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции измеряются на постоянном токе и, следовательно, не могут дать полного суждения о работе изоляции на переменном токе, однако эти показатели получили очень широкое применение. Причина этого лежит в простоте прибора и порядка определения показателя; прибор (мегомметра) очень портативен и прост, и использование его не требует ни высокой квалификации ни затраты времени. Кроме того, эти показатели меньше зависят от качества масла, чем, например, тангенс угла потерь.

Так обычно измерение на месте монтажа производят при температуре изоляции, отличной от той, какую она имела при измерениях на заводе, то для возможности сопоставления результатов производят приведение R_{60} , полученного при измерении на заводе, к температуре измерения на месте монтажа. Для этого пользуются установленной на основании обобщения опытных данных закономерностью измерения R_{60} от температуры. Результаты измерений считаются удовлетворительными, если они соответствуют нормам или если величина R_{60} , полученная при измерении на месте монтажа, составляет не менее 70% сопротивления изоляции, измеренного на заводе [4].

1.6 Частотный метод

1.6.1 Метод частотного анализа (МЧА)

Согласно выводам рабочей группы СИГРЕ WG A2.26, основанным на обобщении международного опыта, метод частотного анализа (FRA - Frequency Response Analysis) является наиболее чувствительным методом диагностики механического состояния обмоток трансформаторов.

В частотном методе FRA –Frequency Response Analysis (рис.10) в качестве источника зондирующих сигналов используется генератор синусоидального напряжения изменяющейся частоты; двухканальный АЦП также записывает два сигнала: 1-й канал - подаваемое на ввод обмотки от,

изменяющееся по частоте в широком диапазоне – от нескольких герц до нескольких мегагерц; канал 2 – записывает реакцию обмотки на приложенное воздействие. Далее аналогично рассчитывается передаточная функция как отношение спектров входного и выходного сигналов. Степень отличия передаточных функций, рассчитанных до и после воздействия на трансформатор электродинамических сил короткого замыкания производится с помощью рассчитываемых коэффициентов парной корреляции, стандартных отклонений, анализа резонансных частот [5].

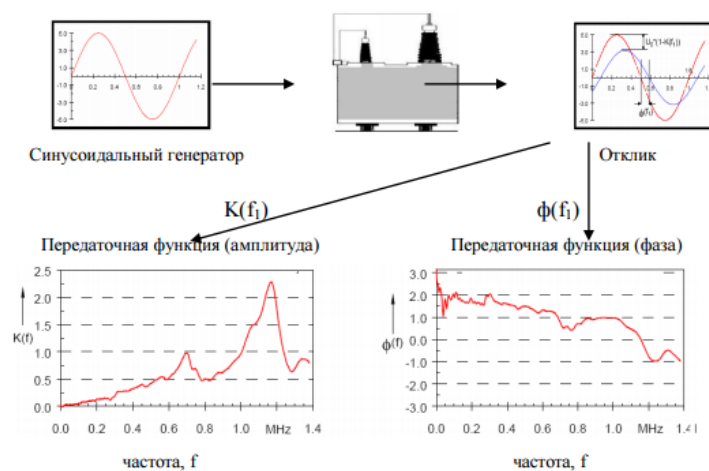


Рисунок 10 - Частотный подход: воздействие от генератора синусоидальных сигналов.

Диагностические возможности метода МЧА.

Изменения отклика позволяют выявлять различные дефекты и отклонения:

- потеря осевой устойчивости проводников обмотки;
- потеря радиальной устойчивости внутренней обмотки;
- распрессовка обмоток и магнитопровода;
- смещение обмоток и их элементов [6].

Высокая чувствительность метода объясняется тем, что даже незначительные локальные изменения положения элементов обмотки (витков, катушек, отводов) приводят к резкому изменению соответствующих емкостей и индуктивностей и, соответственно, к изменению собственных

частот колебаний обмотки. Разные виды деформаций приводят к изменениям в разных диапазонах спектра частот [5].

1.6.2 Метод низковольтных импульсов

Суть метода НВИ [7] состоит в том, что от специального генератора на одну из обмоток (или в нейтраль) трансформатора подается прямоугольный зондирующий импульс низкого напряжения (100–500 В) и одновременно осциллографируются реакции обмоток на воздействие этого импульса – напряжения на измерительных сопротивлениях, подключенных к другим обмоткам.

В основе метода заложен принцип последовательного дефектографирования. То есть сначала при первичном дефектографировании на трансформаторе снимаются нормограммы, которые в дальнейшем будут сравниваться с дефектограммами – осциллограммами, полученными при последующих измерениях. Сравнение по определенной методике нормограмм и дефектограмм позволяет оценить состояние обмоток трансформатора.

Изменения в дефектограмме по сравнению с нормограммой свидетельствуют о появлении электрических повреждений или механических деформаций. При отсутствии результатов первичного дефектографирования анализ состояния обмоток проводится путем сравнения разных фаз [7].

1.7 Метод измерения частичных разрядов.

Частичные разряды – локальные электрические разряды, которые могут возникать в местах нарушения электрической изоляции. В результате выброса энергии в месте возникновения ЧР возникают условия, способствующие разрушению изоляционных материалов. Это может приводить к сокращению срока службы оборудования, поскольку связано с риском непредвиденного отказа [8].

При воздействиях на силовой трансформатор внезапных коротких замыканий возникает необходимость проверки состояния прессовки его магнитопровода и обмоток, измерения частичных разрядов. Эта

необходимость возникает также при увеличении уровня вибраций и шумов трансформатора. Кроме того, причиной возникновения частичных разрядов может служить наличие примесей в масле, старение изоляции и ряд других причин.

Попытки ряда исследователей выполнить нормирование разрядов успеха пока не принесли. Главной проблемой в этом является затруднение при разделении разрядов различного физического происхождения. Однако при косвенном определении наличия частичных разрядов по результатам диагностики масла измерения другими методами всегда целесообразны [9].

1.7.1 Методика проведения акустического обследования трансформаторного оборудования

Первым этапом локации является обнаружение зон наибольшего уровня акустических сигналов на поверхности бака трансформатора. Цель – выявление всех возможных зон активности ЧР. При регистрации сигнала ЧР проводится анализ амплитуды импульсов для выявления наиболее подходящих зон для последующей локации. Для выявления всех зон активности ЧР рекомендуется проводить измерения одним акустическим датчиком через расстояние 50 см (по возможности).

Для выявления всех зон активности ЧР рекомендуется проводить измерения одним акустическим датчиком через расстояние 50 см (по возможности).

Выявление зон активности ЧР

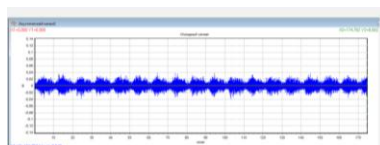


Рисунок 11 - Акустический сигнал без наличия импульсов ЧР.

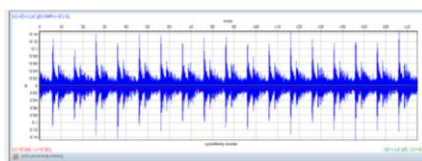


Рисунок 12- Акустический сигнал импульсов ЧР. Импульсы носят повторяющийся характер и синхронизированы с частотой питающей сети 50Гц

После проведения предварительного обследования трансформатора будет полная картина относительно мест регистрации акустических ЧР.

Импульсы могут быть зарегистрированы в нескольких точках каждой из зон активности. Необходимо проанализировать амплитуды импульсов в каждой зоне и принять решение о локации мест возникновения ЧР в местах с максимальной амплитудой.

Также могут потребоваться дополнительные измерения в выявленных зонах активности ЧР для определения места с максимальным уровнем сигнала.

Особенностью измерения ЧР акустическим методом является большая сложность калибровки измеряемых сигналов, так как практически невозможно смоделировать пути распространения сигнала от дефекта до стенки бака, как и поместить калибратор внутрь бака трансформатора. Поэтому весь анализ ведется на основе сравнения амплитуд импульсов [10].

1.8 ХАРГ

1.8.1 Дефекты силовых трансформаторов, выявляемые при измерении растворенных в масле газов

В масле нормально работающего трансформатора растворены те газы, которые выделяются из целлюлозной изоляции и масла при их естественном старении.

В масле работающего бездефектного, с определенным сроком службы трансформатора растворены в небольших количествах двуокись и окись углерода, иногда метан, а также кислород и азот. При возникновении повреждения внутри трансформатора состав газа, растворенного в масле, будет изменяться весьма интенсивно как качественно, так и количественно.

Все дефекты, выявляемые с помощью, анализа растворенных газов можно разделить на две группы:

- термические дефекты;
- разряды в изоляции.

В дефектах первой группы вследствие аномального локального выделения энергии и соответственно повышения температуры происходит ускоренная деструкция изоляционных материалов, которая сопровождается выделением продуктов деструкции, в том числе и газов.

В деструкции целлюлозы различают два процесса:

- гидролиз (нагрев до 110 °С), при котором образуется вода и окись углерода;
- пиролиз (нагрев выше 110 °С), в этом случае также выделяется более значительное количество CO_2 и CO , а также происходит интенсивное образование частичек углерода.

В дефектах, которые сопровождаются электрическими разрядами, газы образуются в основном вследствие ионизационных процессов, что приводит к распаду молекул масла и целлюлозы. Разряды также сопровождаются выделением тепла, которое может быть очень незначительным в случае частичных разрядов или достаточно большим при образовании дугового разряда.

Перегрев токоведущих соединений может определяться:

- нагревом и выгоранием переключающих устройств;
- ослаблением и нагревом места крепления или обрыва электростатического экрана;
- ослаблением и нагревом контактных соединений отвода НН;
- лопнувшей пайкой элементов обмотки.

Дефекты, вызывающие ухудшение состояния электрических контактов, угрожают потерей функциональной работоспособности объекта. Такие дефекты наиболее опасны.

Перегрев металлических элементов конструкции остова может определяться:

- неудовлетворительной изоляцией листов электротехнической стали;

- общим нагревом и недопустимыми местными нагревами от магнитных полей рассеяния.

Чтобы на основе хроматографического анализа растворенных в масле газов сделать вывод о развитии дефекта в трансформаторе, хотя бы один из семи диагностируемых газов должен превысить граничное значение. Если это произошло, то анализ повторяется несколько раз. Первый раз в целях подтверждения установленного превышения, а затем для выявления динамики изменения газов [11,12].

Обычно, при измерении газосодержания, анализируется концентрация следующих растворенных в масле газов: водорода (H_2), метана (CH_4), этилена (C_2H_4), ацетилен (C_2H_2), этана (C_2H_6), оксида углерода (CO), диоксида углерода (CO_2) [13].

Наиболее характерными газами для определенного вид дефектов являются:

- Водород (H_2) – частичные разряды, искровые и дуговые разряды;
- Ацетилен (C_2H_2) – электрическая дуга, искрение;
- Этилен (C_2H_4) – нагрев масла и бумажно-масляной изоляции выше $600^\circ C$;
- Метан (CH_4) – нагрев масла и бумажно-масляной изоляции в диапазоне температур $(400-600)^\circ C$ или нагрев масла и бумажно-масляной изоляции, сопровождающийся разрядами;
- Этан (C_2H_6) – нагрев масла и бумажно-масляной изоляции в диапазоне температур $(300-400)^\circ C$;
- Оксид углерода (CO) и диоксид углерода (CO_2) – старение и увлажнение масла и/или твердой изоляции;
- Диоксид углерода (CO_2) – нагрев твердой изоляции.

1.8.2 Методика отбора проб

Качество анализа растворенных газов определяется качеством отобранной пробы. Правильная методика отбора проб масла играет ключевую роль в обеспечении наглядности пробы и точного

воспроизведения общего состояния масла внутри трансформатора. Основной задачей, решаемой при отборе пробы, является исключение возможных загрязнений.

В качестве контейнера для пробы используются специальные пробоотборники, в частности «ЭЛХРОМ», который имеет следующие конструктивные особенности:

- цельностеклянный корпус из специального боросиликатного стекла;
- индивидуально притертый цельностеклянный поршень;
- наличие дополнительного конструктивного элемента – узла герметизации, обеспечивающего повышенную герметичность;
- наличие специального трехходового крана, обеспечивающего качественный отбор и подготовку пробы масла для хроматографического анализа.

Конструктивно пробоотборник (рис. 13) состоит из трехходового крана (4), прикрепленного к корпусу шприца (1), стеклянного поршня (2), а также узла герметизации, состоящего из фторопластового кольца и узлов уплотнения. В узел уплотнения вставляется дополнительное кольцо, обеспечивающее очистку поверхности поршня от внешних загрязнений при отборе пробы масла и при ее вводе в хроматографическую систему. Торцы шприца, к которому крепится трехходовой кран, имеет форму конуса, что обеспечивает надежное удаление пузырьков газа в случае их попадания в пробоотборник. Следует также отметить, что трехходовые краны снабжены защитными пробками (3, 5), которые имеют совершенные уплотнения – выдерживают давление до 6 бар. Пробоотборники могут использоваться и без узла герметизации, однако применение последних значительно повышает газоплотность указанных изделий.

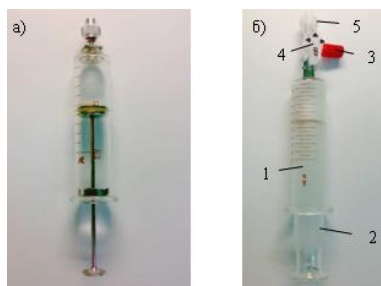


Рисунок 13 – Пробоотборники для транспортировки 20 мл масла: а – шприц с металлическим поршнем и заглушкой; б – шприц «Элхром» с трёхходовым краном

Прежде чем брать пробу масла, необходимо выполнить проверку пробоотборников на герметичность. Проверка на герметичность проводится при изготовлении пробоотборников путем их хранения с маслом, содержащим растворенный водород, в течение двух недель и сравнения результатов определения содержания водорода в начале и в конце хранения.

При отборе проб масла недопустимо попадания в него атмосферного воздуха:

- недопустим отбор проб масла из открытой струи;
- при заполнении пробоотборников допускается только самопроизвольное заполнение их под давлением масла из электрооборудования.

При отборе проб масла необходимо избегать высокой скорости истечения масла из маслоотборного устройства, чтобы исключить выделения газов из масла [14].

На каждую пробу масла должна быть четко составлена сопроводительная записка, в которой указывается следующая информация:

- наименование предприятия;
- диспетчерское наименование;
- тип оборудования;
- заводской номер;
- изготовитель оборудования;
- номинальное напряжение;

- дата изготовления;
- дата выпуска в эксплуатацию;
- марка залитого масла;
- тип защиты масла;
- причина отбора пробы;
- температура масла при отборе;
- дата отбора пробы;
- ФИО специалиста, отобравшего пробу.

Неправильная маркировка пробы может являться причиной погрешности при проведении анализа растворенных газов.

Если между взятием пробы и анализом возникает пауза (несколько дней), то вероятность сохранения водорода в масле снижается из-за его высокой летучести. В то же время, при взятии пробы возможно ее «загрязнение» кислородом, азотом и тем же водородом, который образуется в масле под воздействием горячих солнечных лучей в случае, если на этой стороне находится клапан для отбора проб.

При транспортировке пробоотборников они должны быть надежно закреплены и не соприкасаться друг с другом, а их поршни должны иметь возможность свободного перемещения.

Контейнер должен предохранять пробу масла от воздействия света и солнечных лучей.

Если в процессе транспортировки или хранения в пробе масла появляются пузыри газа, то их нельзя удалять. Храниться пробы масла должны в контейнерах в прохладном месте. Желательно, чтобы срок хранения пробы не превышал одну неделю [12].

1.8.3 Хроматографы

В настоящее время в химических лабораториях отечественных электроэнергетических компаний широко используются стационарные газовые хроматографы, в основном, производства российских фирм. Основные показатели лабораторных хроматографов:

- быстродействие;
- количество определяемых компонентов;
- минимально определяемая концентрация компонентов;
- повторяемость результатов;
- трудоемкость и частота повторения калибровки.



Рисунок 14 – Хроматограф Кристалл-5000.2

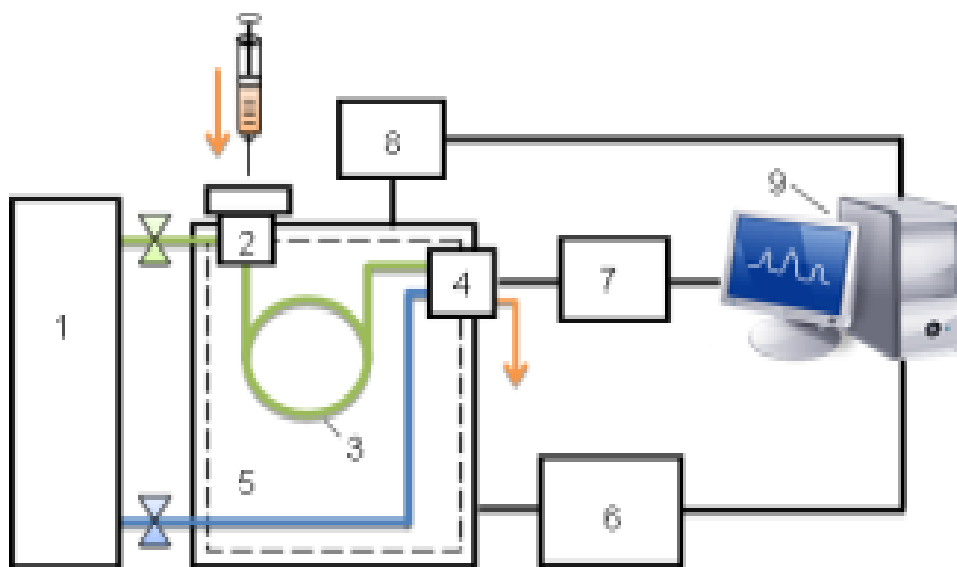


Рисунок 15 – Принципиальная схема хроматографа: 1 – система подготовки газов, 2 – система дозирования, 3 – колонка, 4 – система детектирования, 5 – термостат, 6 – система термостатирования, 7 – система преобразования сигнала детектора, 8 – система измерения параметров режима, 9 – система управления, регистрирования и обработки

Система подготовки газов служит для установки, стабилизации и очистки потоков газа-носителя и дополнительных газов. Она включает блок регулировки расходов газов, обеспечивающий очистку, подачу и стабилизацию скорости и расхода газа-носителя в колонку, а также других газов, необходимых для работы детектора, например, воздуха и водорода для пламенно-ионизационного детектора.

Система дозирования позволяет вводить в поток газа-носителя определенное количество анализируемой смеси в газообразном или жидком состоянии. Представляет собой устройство с самоуплотняющейся резиновой мембраной или кран-дозатор.

Хроматографические колонки представляют собой трубки, обычно закрученные в виде спирали и заполненные сорбентом. Колонки служат для разделения смеси на составляющие компоненты.

Система детектирования преобразует соответствующие изменения физических или физико-химических свойств бинарных смесей (компонент – газ-носитель по сравнению с чистым газом носителем), выходящих из колонки, в электрический сигнал. Сюда же входит и блок питания детектора.

Термостат и система термостатирования служат для установки и поддержания рабочих температур колонок (до 350 °C), испарителя, детектора и других узлов хроматографа. В систему термостатирования входят терморегулятор и программатор температуры термостата.

Система преобразования - это аналогово-цифровой преобразователь и усилитель сигнала, поступающего из системы детектирования. Он обеспечивает получение на выходе электрического сигнала, пропорционального концентрации определяемого компонента в газе-носителе.

Система регистрирования регистрирует величину и форму сигнала в виде хроматограммы, которую можно наблюдать на мониторе компьютера.

Система измерения параметров режима обеспечивает контроль расхода газов, измерение температур, контроль питания детектора и преобразователя.

Система управления и система инструментальной обработки данных позволяют вести управление экспериментом и обработку результатов в диалоговом режиме. С помощью компьютерных программ измеряются параметры хроматографических пиков и выполняется количественный расчет содержания компонентов.

На практике газовый хроматограф может иметь гораздо более сложную схему, содержащую несколько колонок и детекторов, включать автоматические устройства для подготовки и дозирования пробы [12].

1.8.4 Факторы, вызывающие увеличение газов

Необходимо отметить эксплуатационные и другие факторы, которые могут вызвать увеличение концентрации растворенных в масле газов бездефектных трансформаторов:

- остаточные концентрации газов от устраненного во время ремонта дефекта трансформатора – целлюлозная изоляция абсорбирует значительное количество газов, и после устранения повреждения, замены (дегазации) масла и включения в работу трансформатора в нем из пор целлюлозной изоляции выделяются все ранее поглощенные газы за исключением быстро улетучивающегося H_2 ;
- увеличение нагрузки трансформатора – как известно, оно сопровождается ростом потерь, рассеиваемых в виде тепла, влияющего на образование газов; интенсивность образования газов в режиме перегрузки увеличивается и снижается до начального уровня с понижением нагрузки; сильнее эта связь проявляется в дефектных трансформаторах, причем речь идет о термических дефектах;
- перемешивание свежего масла с остатками старого, насыщенного газами, находящегося в баках РПН, расширителе и т.д.;
- доливка маслом, бывшим в эксплуатации и содержащим растворенные газы;
- проведение сварочных работ на баке, залитом маслом;
- перегревы из-за дефектов системы охлаждения – засорение наружной

поверхности охладителей, отключение части масляных насосов и др.; в случае отказа системы охлаждения происходит активное газовыделение с превалированием этана над всеми остальными газами и резким ростом содержания CO_2 ;

- сезонные изменения интенсивности процесса старения твердой изоляции и масла; газы могут выделяться при облучении масла солнечным светом;
- воздействие токов короткого замыкания – в случае короткого замыкания в электрически связанной сети, отказов или неправильной работы разрядников, перегрузки или перенапряжения вследствие грозовых и коммутационных перенапряжений, перекоса фаз и т.д. происходит увеличение концентрации CO_2 и CO ;
- значительные количества CO_2 и CO могут образовываться и при нормальных рабочих температурах – это связано с природой трансформаторного масла и индивидуальными особенностями некоторых его марок; в начальный период эксплуатации новые масла некоторых марок также могут выделять довольно значительное количество газов (кроме CO_2 и CO , также CH_4 и C_2H_6) за счет наличия в них нестабильных молекул; это связано с технологиями изготовления и исходным сырьем;
- водород выделяется при образовании ржавчины стали в присутствии воды на дне бака и кислорода в масле, а также благодаря реакции свободной воды со специальными покрытиями на металлических поверхностях, в частности при гидратации цинка на оцинкованных поверхностях [12].

1.8.5 Факторы, вызывающие уменьшение газов

Следует рассмотреть некоторые эксплуатационные факторы, которые могут привести к уменьшению концентрации растворенных в масле газов как бездефектных, так и дефектных трансформаторов:

- уменьшение нагрузки трансформатора;

- замена силикагеля;
- длительное отключение;
- дегазация масла – при проведении дегазации необходимо учитывать, что газы с низким коэффициентом растворимости в масле выделяются легко, а газы, которые имеют высокую растворимость (C_2H_6 , C_2H_4), редко удается удалить полностью, поэтому даже после дегазации часть газов может остаться в масле;
- доливка дегазированным маслом;
- частичная или полная замена масла в баке трансформатора, в маслопроводах, навесных баках, расширителе, избирателе РПН и т.д [12].

1.8.6 Случайные факторы

Также на содержание газов в трансформаторном масле оказывают влияние и случайные факторы, учет которых при диагностировании оказывается затруднительным.

К их числу относятся следующие:

- старение целлюлозной изоляции;
- изменение нагрузки трансформатора;
- колебание температуры и метеоусловий окружающей среды;
- погрешности, накапливающиеся в технологической цепочке от отбора пробы масла до введения пробы в хроматограф вместе с систематической ошибкой расчета концентраций газов, присущей используемой методике проведения ХАРГ;
- постоянный обмен газами между маслом и твердой изоляцией;
- обмен газами между надмасляным пространством трансформатора и атмосферой [12].

1.8.7 Метод Дюваля («треугольник Дюваля»)

Данный диагностический метод был разработан в 1974 г. известным канадским специалистом М. Дювалем в энергетической компании Hydro-Quebec. Метод позволяет по значениям концентраций трёх газов (C_2H_2 , C_2H_4 ,

CH_4) построить точку на графике, представленном в виде треугольника. Площадь треугольника, по методике Дюваля, разделена на семь зон. Каждая зона соответствует определённому дефектному состоянию трансформатора. Всего рассматривается семь дефектных состояний: PD, T_1 , T_2 , T_3 , DT, D_2 и D_1 . По принадлежности точки конкретной зоне определяется вид дефекта.

Треугольник Дюваля - равносторонний. На каждой стороне откладывается относительное значение содержания определенного газа, которое может меняться от 0 до 100 % по часовой стрелке. При этом сумма значений концентраций всех газов принимается за 100 %, а процентные концентрации каждого газа определяются от этой суммы.

Во-вторых, при нанесении границ зон дефектов линии проводятся параллельно отстающей стороне треугольника, т. е. если точка берется на стороне CH_4 , то прямая из этой точки проходит параллельно стороне C_2H_2 , если точка берется на стороне C_2H_4 , то – параллельно стороне CH_4 и т. д.

При практическом использовании данного метода необходимо найти процентное содержание каждого газа, отложить его на соответствующей стороне треугольника и из каждой точки провести три линии параллельно отстающей стороне, которые пересекутся в одной точке. Местоположение этой точки определит зону и диагностируемый дефект.

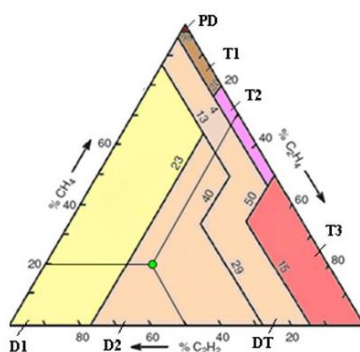


Рисунок 16 - Треугольник Дюваля.

Зоны разделения дефектов по Дювалю:

- PD – частичные разряды;
- T_1 – термическое воздействие температурой менее 300°C;

- T_2 – термическое воздействие температурой от 300° до 700°С;
- T_3 – термическое воздействие температурой свыше 700°С;
- DT – смешанное электрическое воздействие;
- D_2 – разряды большой интенсивности;
- D_1 – разряды малой интенсивности.

Рассматриваемый метод не только наглядно показывает «место» дефекта, но и позволяет наблюдать за траекторией его развития, когда через определенное время делается несколько ХАРГ и получаемые точки последовательно наносятся на треугольник.

В качестве недостатка метода можно назвать неполное использование диагностической информации, получаемой в результате ХАРГ [12].

1.8.8 Метод «лепестковых диаграмм» Давиденко И.В.

Серьезная работа по интерпретации ХАРГ проведена коллективом специалистов Уральского Федерального университета [15, 16]. На этапе обнаружения дефекта ими предлагается использовать два уровня значений концентраций растворенных в масле газов: допустимый (ДЗ) и предельно допустимый (ПДЗ). В результате исследования факторов, влияющих на концентрации растворенных в масле газов, сделаны выводы о целесообразности дифференцировать ДЗ и ПДЗ следующим образом:

- по способу защиты масла трансформатора;
- маркам масла;
- сроку эксплуатации;
- классу напряжения;
- типу РПН.

Весь массив данных результатов ХАРГ был разделен на выборки в соответствии с найденными факторами влияния. Для нахождения значений ДЗ и ПДЗ концентраций газов для каждой выборки строилась интегральная функция распределения. Это оказалось возможным благодаря информации,

накопленной в базе данных компьютерной системы «Альбатрос», разработчиками которой авторы данной методики являются.

Для определения характера дефекта предлагается отображать состояние объекта на основе результатов ХАРГ в виде 8-ми лепестковой диаграммы, где по семи лучам откладываются значения концентраций газов, а по восьмому лучу – их сумма, которая находится по формуле:

$$S = \sum_{n=1}^5 K_i + m \cdot K_{CO} + K_{CO_2} , \quad (7)$$

где m – коэффициент масштабирования (обычно $m = 0,01$);

K_{CO} – концентрация CO;

K_{CO_2} – концентрация CO₂.

Предварительно на лепестковой диаграмме формируется образ, соответствующий ДЗ (ПДЗ). Допустимые значения выбираются в зависимости от отмеченных выше конструктивных особенностей и срока эксплуатации оборудования. Затем на соответствующих лучах диаграммы отображаются полученные из ХАРГ концентрации всех газов.

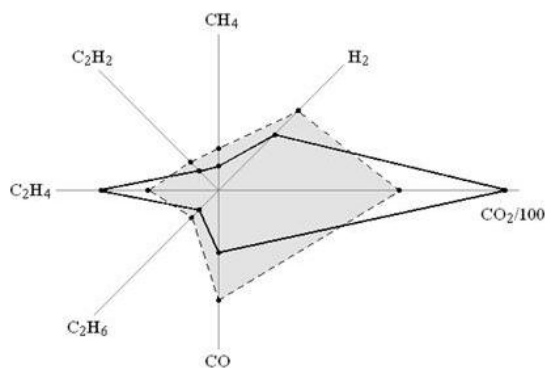


Рисунок 17 – Лепестковая диаграмма результатов АРГ: область, ограниченная пунктиром – зона бездефектного состояния; фигура, сформированная сплошными линиями – пример образа дефектного состояния объекта: превышены граничные значения по C₂H₄ и CO₂.

Полученный образ дефектного состояния оборудования необходимо сопоставить с некоторым набором эталонных изображений. Для их

получения были проанализированы многочисленные случаи результатов ХАРГ и последующих фактов вскрытия трансформаторов 35–500кВ. После изучения собранных материалов было составлено 14 видов эталонных диаграмм, отображающих дефекты электрического и термического характера разной силы проявления.

В методике разработана специальная процедура сравнения полученного изображения дефектного состояния с эталонными образами, предполагающая масштабирование полученного изображения, вычисление мер близости и родства, определение коэффициента опасности и других характеристик. Для этого предлагается специальная компьютерная программа.

Появились работы, где высказываются замечания, направленные на усовершенствование методики лепестковых диаграмм. В частности, в [12] предложено:

- изменить масштаб концентрации угарного газа с 1:100 на 1:1;
- убрать ось суммарного значения концентраций газов, поскольку это требует дополнительных расчетов и не влияет на конечный результат.

Анализируя методику лепестковых диаграмм в целом, можно сделать следующие выводы:

- в ее основе лежит значительный фактический массив информации с результатами ХАРГ, накопленный почти за 20-ти летний период эксплуатации системы «Альбатрос» в различных энергокомпаниях РФ;
- несколько смущает уровень сложности и, соответственно, громоздкости предлагаемого инструментария; наш опыт показывает, что методика становится популярной у специалистов, пока степень ее «прозрачности» не опускается ниже определенных пределов.

1.8.9 Метод МЭК 60599

Методика основывается на определении концентраций, отношений газов и скорости нарастания концентрации газов. Определяются следующие типичные виды дефектов:

PD - Частичные разряды - разряды в заполненных газом полостях из-за недопропитки, высокой влажности бумаги, перенасыщения масла газами или кавитации.

D1 - Разряды низкой энергии - искрение или дуга между плохими соединениями по току, замкнутые контуры тока в сердечнике. Разряды между вводами и баком, высоким напряжением и землей в обмотках, разряды на бак. Пробой в масле, последствия прерывания тока в селекторе РПН.

D2 – Разряды высокой энергии – перекрытия, пробой или мощная дуга с высокой локальной концентрацией энергии. Короткие замыкания обмотки НН на корпус, на другие обмотки, вводы и бак, между обмотками и сердечником, в масляных промежутках. Замкнутые контуры между соседними проводниками с общим магнитным полем.

T1 – термические дефекты при температуре ниже 300 °С – последствия перегрузок трансформатора в аномальных режимах, закупорка или сужение на путях потока охлаждающего масла в обмотке, потоки рассеяния в демпфирующих балках ярма.

T2 – Термические дефекты при 300-700 °С – дефекты контактов болтовых соединений, скользящих контактов, контактов РПН, соединений с кабелем и токоведущим стержнем вводов. Циркуляция токов между ярмовыми балками и болтами, заземляющими соединениями. Стирание изоляции между соседними параллельными проводниками в обмотках.

T3 – Термические дефекты при температуре выше 700 °С – большие циркулирующие токи в баке и сердечнике, токи в стенках бака при наличии больших нескомпенсированных полей рассеяния, замыкания между пластинами стали в сердечнике [17].

Характер дефекта по МЭК 60599 определяется по основным соотношениям $\text{CH}_4/\text{H}_2 - (R_1)$, $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4 - (R_2)$ и $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6 - (R_6)$. Признаки наличия дефектов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Соотношения концентраций характерных пар газов

Отношения газов	Виды дефектов					
	PD	D1	D2	T1	T2	T3
R_1	< 0,1	0,1-0,5	0,1-1	> 1*	> 1	> 1
R_2	НК	> 1	0,6-2,5	НК	< 0,1	< 0,2**
R_6	< 0,2	> 1	> 2	<1	1,0-4,0	> 4

Примечания: НК – незначительные концентрации газа *– кроме НК;

** – при росте C_2H_2 могут быть перегревы выше 1000 °С.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования служили пять силовых трансформаторов табл. 1.

Таблица 1 - Исследуемые трансформаторы

	Тип	Год выпуска	Год ввода
1.	АТДЦТН-125000/220/110	1980	1982
2.	АОДЦТН-167000/500	1981	1983
3.	АТДЦТН-63000/220/110	1980	1981
4.	ТРДНГ-32000/220	1973	1976
5.	АОДЦТН-167000/500	1981	1982

В данной работе производится анализ данных хроматографического анализа растворенных в масле газов и составляются рекомендации по прогнозированию дефектов силовых трансформаторов.

Для достижения цели выпускной работы исследуются методы интерпретации хроматографического анализа растворенных в масле газов, такие как:

- метод «лепестковых диаграмм»;
- метод «треугольника Дюваля»;
- метод МЭК 60599;
- метод РД 153-34.0-46.302-00

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5A	Логиновой Елене Павловне

Институт	ЭНИН	Кафедра	Электроэнергетических систем
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и Электротехника

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску
Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные цели 22 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Концепция исследования
Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика НИ: - календарный план. - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
Определение ресурсной эффективности	Оценка ресурсной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5A	Логинова Елена Павловна		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

НИР посвящена прогнозированию дефектов силовых трансформаторов на основе ХАРГ.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности разработанного метода с экономической точки зрения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- организация и планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Концепция исследования

Основное направление исследования: на основе данных хроматографического анализа растворенных в масле газов выработать рекомендации по дальнейшей эксплуатации высоковольтных трансформаторов.

Хроматографический анализ растворенных в масле газов в настоящее время широко применяется во всех развитых странах в качестве эффективного средства ранней диагностики медленно развивающихся дефектов. Существуют международные и отечественные нормы как по процедуре ХАРГ, так и по трактовке результатов анализа, которые довольно близки.

ХАРГ включает несколько этапов:

- отбор пробы масла в маслоотборное устройство (шприц);
- транспортировку и правильное хранение пробы;
- выделение растворенных газов по специальной методике;
- определение содержания газов в газовом анализаторе (хроматографе);
- диагностика дефекта по составу газов, скорости их роста.

Шестым изданием РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования, вышедшим в 1996 г., для оценки состояния силовых трансформаторов введен хроматографический анализ газов, растворенных в масле (ХАРГ). Метод ХАРГ применялся уже на протяжении многих лет, и с 1989г. Оценка состояния силовых трансформаторов и определение характера возможных дефектов проводилась в соответствии с «Методическими указаниями по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле.

Хроматографический анализ газов, растворенных в масле, обладает высокой чувствительностью к развивающимся дефектам в трансформаторе, связанных с такими факторами, как электрические разряды в изоляции и локальные перегревы. Применение анализа растворенных в масле газов основано на том, что при появлении местных нагревов или электрических разрядов масло и соприкасающаяся бумажная изоляция разлагаются, а образующиеся газообразные продукты растворяются в масле.

В России и за рубежом накоплен достаточно большой опыт применения хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов напряжением 110-750 кВ, для выявления дефектов в эксплуатации. Накопленный опыт позволил сформулировать совокупность признаков, имеющих достаточно высокую диагностическую ценность, и определить вид и характер выявляемых ими дефектов для принятия решений по дальнейшей эксплуатации.

Рассматриваемое направление является крайне актуальным для множества российских, а также и зарубежных энергетических предприятий.

С помощью данного метода возможно повышение срока службы силовых трансформаторов, возможность выявления широкого спектра дефектов в оборудовании, применимость к любому маслonaполненному оборудованию. Исследование направленно на подробную проработку уже готового устройства, которое включает в себя хроматограф. Следовательно, работа не имеет коммерческого и инновационного потенциала.

4.2. Планирование научно-техническим исследованием

Для выполнения целесообразного и рационального планирования, необходимо разработать календарный план, который включает в себя основные этапы разработки и создания проекта. Разработанный календарный план представлен в табл. 7.

Линейный график проекта представлен в виде календарного плана.

Таблица 7 – Календарный план

Послед. работ	Код	Наименование работы	Время исполнения	Состав исполнителей
1	а	Выбор места установки и расположение	1	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
2	б	Чертежи	15	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
3	в	Выбор фирмы производителя	2	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
4	г	Планирование бюджета с учетом рисков	3	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
5	д	Поиск спонсоров	5	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
6	е	Закупка материала	5	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
6	ж	Закупка оборудования	2	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.
7	з	Создание необходимых деталей	20	Тихонов Д.В. Логинова Е.П.

Продолжение табл.7

7	и	Доставка высоковольтного оборудования	20	Лавринович И. В. Боровик К. Е.
8	к	Мебель	3	Боровик К. Е.
9	л	Оборудование (программное обеспечение)	4	Боровик К. Е.
10	м	Установка секции в корпус	1	Лавринович И. В. Боровик К. Е.
11	н	Подключение источника питания и измерительной аппаратуры	2	Лавринович И. В. Боровик К. Е.
12	о	Пробный запуск	1	Лавринович И. В. Боровик К. Е.
13	п	Ввод в эксплуатацию	2	Лавринович И. В. Боровик К. Е.

Для наглядного представления календарного плана удобно будет представить его в виде линейной диаграммы Ганта, она изображена на рисунке.

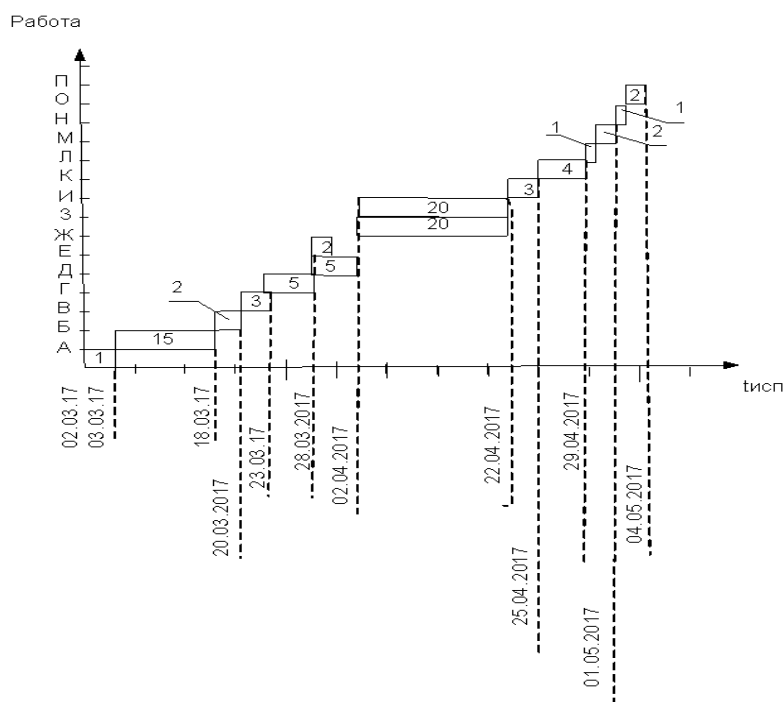


Рисунок 29 – Диаграмма Ганта

Управление рисками исследования

В рамках рассматриваемого проекта выделяем следующие виды рисков, представленные на рисунке 43.

Экспертная оценка рисков разбивается условно на 3 этапа:

- Формирование дерева рисков;
- Оценка рисков;
- Мероприятия по снижению возможных рисков при сооружении проекта.

Формирование дерева рисков

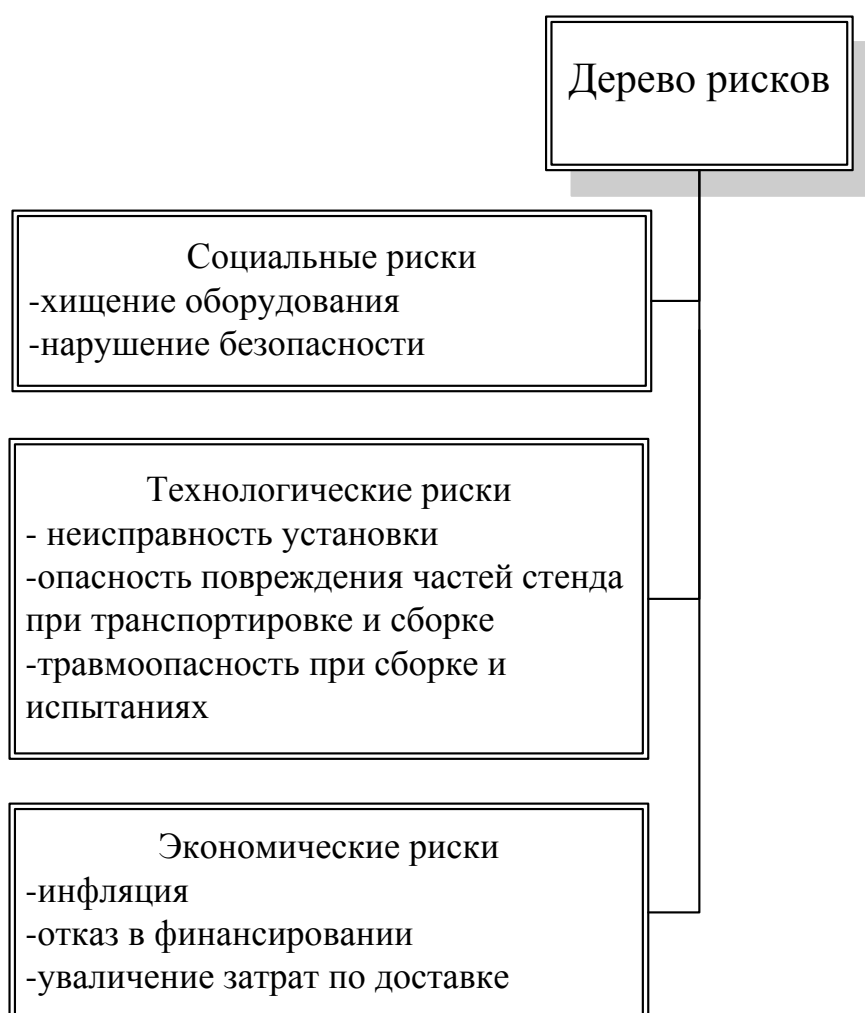


Рисунок 30 – Дерево рисков

Оценка рисков

Вероятность наступления каждой рискованной ситуации (p_i) оцениваем по 100%-ной шкале с шагом, равным 25 %.

100 % - риск наступит; 75 % - риск скорее всего наступит; 50 % - ситуация неопределенности; 25 % - риск скорее всего не наступит; 0 % - риск не наступит.

Важность рискованной ситуации (b_i) оцениваем по 10-балльной шкале с шагом, равным 1 баллу (максимальный балл – 10; за минимальный балл – 1).

Весовые коэффициенты рассчитываем, как отношение балла важности рискованной ситуации к сумме баллов всех ситуаций данной группы рисков.

Результаты расчетов по всем группам рисков приведены в таблицах 8-11.

Таблица 8 - Оценка социальных рисков

Социальные риски					
N	Риски	Вероятность (p_i)	Важность (b_i)	Вес риска (w_i)	Итоговая оценка ($P_i \cdot w_i$)
1	Хищение оборудования	25	9	0,53	13,25
2	Нарушение безопасности	40	8	0,47	18,8
	Итого		17		32,05%

Таблица 9 - Оценка технологических рисков

Технологические риски					
N	Риски	Вероятность (p_i)	Важность (b_i)	Вес риска (w_i)	Итоговая оценка ($P_i \cdot w_i$)
1	Неисправность установок	25	7	0,37	9,25
2	Опасность повреждения частей станка при транспортировке	50	7	0,37	18,5
3	Травмоопасность при сборке и испытаниях	30	5	0,26	7,8
	Итого		19		35,55%

Таблица 10 - Оценка экономических рисков

Экономические риски					
N	Риски	Вероятность (p_i)	Важность (b_i)	Вес риска (w_i)	Итоговая оценка ($P_i \cdot w_i$)
1	Инфляция	75	3	0,19	14,25
2	Отказ в финансировании	50	10	0,63	31,25
3	Увеличение затрат при доставке	25	3	0,19	4,75
	Итого		16		50,25%

Полученные итоговые оценки по каждой группе рисков сводим в таблицу 11 и повторяем процесс оценки рисков сначала для получения итогового уровня рискованности проекта в целом.

Таблица 11 - Определение общих рисков проекта

Общие риски					
N	Риски	Ранг (Pi)	Вес (Wi)	Вероятность (vi)	Общая оценка проекта (wi*vi)
1	Социальные	7	0,28	32,05	8,97
3	Технологические	10	0,4	35,55	14,22
4	Экономические	8	0,32	50,25	16,08
	Общие риски	25			39,27%

Расчет дает общую оценку рисков в 39,27%.

Мероприятия по снижению рисков

Социальные:

Хищение оборудования - в целях противодействия стоит хранить комплектующие и материалы на складах, запирать помещение на замок, в котором будет находиться установка.

Нарушение безопасности – следует провести мероприятия по технике безопасности и установить ежемесячные проверки.

Технологические:

Неисправность установок – в целях предотвращения данного фактора необходимо проводить своевременное техническое обслуживание, ремонт, и не нарушать нормы эксплуатации оборудования.

Опасность повреждения частей стенда при транспортировке – скрупулезный выбор компании, которая будет осуществлять транспортировку оборудования. Не стремиться сделать транспортировку, как можно дешевле.

Травмоопасность при сборке и испытаниях – соблюдение техники безопасности. Инженерам по ТБ проводить дополнительные инструктажи и проверки знания персоналом основ техники безопасности.

Экономические:

Инфляция – с этим риском бороться практически невозможно. Легче заранее просчитать все расходы с учетом инфляции и может даже с запасом, и уже не бояться ее.

Отказ в финансировании – в случае отказа основного источника финансирования необходимо принять участие в конкурсах инновационных технологий в целях поиска альтернативных источников финансирования.

Увеличение затрат по доставке – заранее обсудить условия доставки с поставщиком и в случае, не соблюдения контракта, взыскать с компании-доставщика неустойку. Чтобы доставка была выполнена в срок, можно в условии договора учесть возможность произвести 50 % предоплату поставщику.

Данный проект подвержен рискам, однако если относиться к выполнению работ добросовестно, то большинство из них можно исключить. Расчет рисков дает общую оценку в 39,27%. Проект имеет шансы на удачную реализацию. Оценка отдельных групп риска (с наиболее высокими показателями) будет учтена на подготовительном этапе, чтобы, по возможности, снизить их отрицательное влияние на проект в целом. Технических рисков, как и социальных можно избежать, если относиться к выбору поставщиков, компании, которая будет заниматься доставкой добросовестней, а также внимательно следить за условиями труда рабочих, и самим технологическим процессом.

4.3 Бюджет научного исследования

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Результаты по данной статье приведены в табл. 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, (Зм), руб
Бумага писчая	Упаковка	3	100	300
Чернила для принтера	Штука	2	1500	3000
Ручки гелевые	Штука	4	150	600
Корректор	Штука	1	100	100
Итого				4000

4.3.2 Основная заработная плата

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

Расчет баланса рабочего времени приведен в табл. 8.

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	56
- невыходы по болезни	14	17
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	226

Месячный должностной оклад работника:

$$3_{\text{м}} = 3_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$) [1];

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5[1];

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска) [18].

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 9.

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы

[illegible]

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (11)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15) [18]. Расчет дополнительной заработной платы приведен в табл.14.

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (12)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды принимается равным 0,22 (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [19].

Отчисления во внебюджетные фонды представлен в табл. 11.

Таблица 15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	632795	75935
Инженер	393104	47172
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,22	
Отчисления, руб		
Научный руководитель	155920,6	
Инженер	96860,7	

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 - 4) \cdot k_{\text{накл}} = 1142,5 \cdot 0,16 = 182,8 \quad (13)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов принимаем равным 16%.

4.3.6 Формирование бюджета затрат на научное исследование

Величина затрат научного исследования является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 16 – Бюджет затрат НИ

Наименование статьи	Примечание
	Рублей
1. Материальные затраты	4000
2. Заработная плата	1025899
3. Отчисления на социальные цели	252781,3
4. Накладные расходы	182,8
5. Бюджет затрат НИ	1282863,1

Таким образом, суммарный бюджет затрат НИ составил 1282863,1рублей.

4.4 Определение научно-технической эффективности проекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i, \quad (14)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

P_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 17 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 14 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 18– Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 19– Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 7, k_2 = 0.4, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$HTY = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 10.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

Выводы по разделу:

В экономической части ВКР было проведено экономическое обоснование научно-исследовательской работы.

В данном разделе работы:

- Произведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
- Также было произведено планирование научно-исследовательской работы.
- Произведена оценка рисков НИР.
- Составлен бюджет затрат на научно техническое исследование. Величина затрат на реализацию НТИ составила 1282863,1рублей.
- Проведен расчет коэффициента научно-технического уровня (10,2), который оказался довольно высоким.

Данное научное исследование не имеет коммерческого потенциала и инновационного потенциала, но имеет сравнительно высокий научно-технический уровень. Можно сказать, что работа имеет экономическую ресурсоэффективность, т.к. материальные затраты на НТИ имеют низкие показатели.