





новизной, носит практико-ориентированный характер и решает актуальную задачу в области неразрушающего контроля электрооборудования.

## **2. Основные практические результаты и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, полученные соискателем:

- Разработан метод вибрационного контроля, который позволяет дистанционно производить измерения вибрационного сигнала от силового трансформатора и анализировать его с помощью фрактального анализа.

- Разработана математическая модель обмоток и магнитопровода силового трансформатора, позволяющая исследовать влияние степени прессовки обмоток и магнитопровода на их вибрационные характеристики.

- Разработан бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс, который обеспечивает реализацию усовершенствованного метода вибрационного контроля с применением разработанного программного обеспечения.

- Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для реализации метод вибрационного контроля.

В рассматриваемом диссертационном исследовании применялся комплексный подход, основанный на методах теории фракталов, цифровой обработки сигналов, математической статистики. Обработка экспериментальных данных осуществлялась на ПК с помощью программного обеспечения, реализованного в среде программирования LabVIEW, Python и Java, что позволяет формировать статистическую базу по вибрационным параметрам трансформаторов и применять полученные сведения для дальнейших научных исследований и на практике.

## **3. Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы, включающего 106 наименований, и 5 приложений. Содержит 168 страниц машинописного текста, проиллюстрированного 73 рисунками и 23 таблицами.

Введение посвящено рассмотрению актуальности решения задач в области контроля технического состояния силовых трансформаторов, в частности обмоток и магнитопровода.

Первая глава научного исследования посвящена надежности работы электрических сетей и энергетических систем, которая зависит от надежности работы силовых трансформаторов эксплуатируемых в электрических сетях, большое количество из которых отработали установленный стандартом ГОСТ 11677–85 срок службы 25 лет. Рассмотрены причины возникновения повреждений



силовых трансформаторов во время их работы, которые вызваны, прежде всего, возникающими дефектами в обмотках, высоковольтных вводах, устройствах РПН (регулирование напряжения под нагрузкой) в результате действия эксплуатационных факторов, а также из-за ошибок обслуживающего персонала в ходе монтажа, наладки, ремонта и при эксплуатационном обслуживании.

Вторая глава посвящена определению информативных частот изделий сложной формы, таких как силовой трансформатор, для которого целесообразно использовать МКЭ, реализуемый с помощью компьютерного моделирования. Конечно-элементное моделирование позволяет представить трансформатор в виде дискретной системы, состоящей из компонентов, объединенных между собой в узловых точках, что позволит моделировать дефекты трансформатора и определить его вибрационные параметры в разных технических состояниях.

В третьей главе предложен новый усовершенствованный метод вибрационного контроля, который позволяет проводить контроль и диагностику под рабочим напряжением на основе фрактального анализа амплитудно-временной характеристики. Вибрационное обследование трансформаторов позволяет оперативно оценить техническое состояние обмоток и магнитопровода силового трансформатора. Предложенный метод включает в себя методику подготовки и проведения измерений, методику анализа результатов измерений.

Четвертая глава посвящена проведению экспериментальных исследований по измерению вибрационных параметров силовых трансформаторов. В данной главе представлены результаты экспериментальных исследований вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода сухого трансформатора ТСЗ 16 и масляных трансформаторов ТМН 6300 подтверждают работоспособность предложенного метода.

#### **4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Рекомендация по использованию результатов диссертационной работы – это внедрение данного метода в существующие системы контроля технического состояния трансформаторных подстанций для расширения функционала диагностических систем, а также для создания единой базы данных со сбором информации от различных диагностических систем повышения качества контроля технического состояния трансформаторного оборудования.

Полученные результаты имеют интерес для широкого круга специалистов и могут быть использованы различными организациями, такими как О «ВНИИЭ», НИЦ «ЗТЗ Сервис», Фирма «ОРГРЭС», которые занимаются анализом повреждений силовых трансформаторов. В АО «ВНИИЭ» проводился в основном анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 330 кВ и выше с



оценкой общей удельной повреждаемости за различные периоды с описанием причин повреждений. В НИЦ «ЗТЗ-Сервис» проводился анализ повреждений крупных трансформаторов мощностью более 90–100 МВ×А. Фирма «ОРГРЭС» проводила статистический анализ технологических нарушений в работе трансформаторов всех классов напряжений с описанием наиболее серьезных и характерных повреждений.

#### **5. Замечания и вопросы по диссертационной работе**

По рассматриваемому диссертационному исследованию имеется ряд замечаний и вопросов:

1. При моделировании дефекта обмоток и магнитопровода не совсем ясно, какие параметры и каким образом задаются для исследования фрактальной размерности.

2. Необходимо пояснить, в чем заключается «мультифизический» процесс колебаний обмоток и магнитопровода под действием магнитострикционного эффекта, про который идет речь во второй главе диссертационного исследования.

3. На странице 31 отсутствует наименование виброанализаторов для рисунка 1.5.

4. Не названы оси для гистограмм изменения коэффициента фрактальной размерности, представленные на рисунках 4.23 и 4.24.

5. На странице 66 орфографическая ошибка в словосочетании «силовой трансформаторов».

6. Необходимо указать какие параметры трансформатора являются ключевыми при подготовке к проведению вибрационных исследований с помощью предложенного метода, описание которого приводится в 3-ей главе диссертации.

7. Просьба пояснить, каким образом выбирается или формируется фрактальная размерность для эталона, который используется при расчете интегрального показателя коэффициента фрактального анализа.

#### **6. Заключение**

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» по пунктам паспорта:

1. «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды»;

3. «Разработка, внедрение, испытания методов и приборов контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующих



повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды»;

б. «Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в приборах и средствах контроля и диагностики с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии».

Автореферат диссертации в полностью отражает содержание работы. Диссертационная работа Басенко В.Р. имеет научную ценность и является законченной научно-квалификационной работой, результатами которой являются разработка нового метода контроля технического состояния обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов. Представленная работа отвечает требованиям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Басенко Василий Романович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Электрических станций» ФГБОУ ВО «НГТУ», протокол № 8 от 16 ноября 2023 г.

Декан факультета энергетики,  
заведующий кафедрой «Электрических станций»,  
доктор технических наук, доцент,  
Русина Анастасия Георгиевна



Доцент кафедры «Электрических станций»,  
учёный секретарь,  
Кандидат технических наук  
Купарев Михаил Анатольевич



Подписи Русиной А.Г., Купарева М.А. заверяю  
Начальник отдела кадров НГТУ Пустовалова О.К.

630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20,  
Тел.: (383)346-11-60, e-mail: dfen@power.nstu.ru

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО  
«Новосибирский государственный  
технический университет»,  
кандидат технических наук Отто Артур Исаакович  
Тел.: (383)346-04-57, e-mail: otto@corp.nstu.ru

