

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15 декабря 2023 г., № 10

О присуждении Басенко Василию Романовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Усовершенствованный метод вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов с применением бесконтактных лазерных технологий и фрактального анализа» по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды принята к защите 11 октября 2023 г. (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.2.310.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Басенко Василий Романович, 02 января 1995 года рождения,

В 2019 году соискатель окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»,

в 2023 году окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки

12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии», по научной специальности 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды),

работает в должности преподавателя кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Ившин Игорь Владимирович, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», проректор по науке и коммерциализации.

Официальные оппоненты:

Вахнина Вера Васильевна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», кафедра «Электроснабжение и электротехника», заведующая кафедрой;

Славутский Леонид Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», кафедра «Автоматика и управление в технических системах», профессор,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном Русиной Анастасией Георгиевной, доктором технических наук, доцентом, кафедра «Электрические станции», заведующей кафедрой, и Купаревым Михаилом Анатольевичем, кандидатом технических наук, кафедра «Электрические станции», доцентом, указала, что диссертационная работа

Басенко В.Р. имеет научную ценность и является законченной научно-квалификационной работой, результатом которой является разработка нового метода контроля технического состояния обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов, отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 18 работ общим объемом 4,505 п.л. и авторским вкладом 1,43 п.л.: работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS (и приравненных к публикациям в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК) – 1, объемом 0,395 п.л. и авторским вкладом 0,13 п.л.; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК – 4, общим объемом 2,75 п.л. и авторским вкладом 0,69 п.л.; свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ – 2, общим объемом 0,48 п.л. и авторским вкладом 0,31 п.л.; работ, опубликованных в материалах международных, всероссийских и национальных конференций – 11, общим объемом 0,88 п.л. и авторским вкладом 0,352 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Basenko V., Vladimirov O., Ivshin I., Nizamiev M., Usmanov I. Laser Control and Measuring Complex for Non-contact Vibration Control of the Power Transformer Technical Condition // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. V. 190. P. 157-167 (статья в рецензируемом научном издании МБД SCOPUS, вклад соискателя 30%).

2. Басенко В.Р., Низамиев М.Ф., Ившин И.В., Владимиров О.В. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по

вибрационным параметрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 130-143. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143 (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 25%).

3. Басенко В.Р., Ившин И.В., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Усовершенствованный метод вибрационного контроля технического состояния магнитопровода силового трансформатора, основанный на фрактальном анализе амплитудно-временной характеристики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. Т.25. № 2. С. 124-136. DOI: 10.30724/1998-9903-2023-25-2-124-136 (статья в рецензируемом научном издании ВАК К2, вклад соискателя – 25%).

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов. Из них положительных – 7. С замечаниями и вопросами – 7. Отзывы прислали:

1. Заведующий кафедрой «Электроснабжение» ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», г. Орёл, кандидат технических наук, доцент Бородин М.В. Вопросы и замечания: 1) чем обусловлен отбор трансформаторов для проведения вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода, есть ли какие-либо технические ограничения? 2) из автореферата неясно, насколько большие затраты возникают при проведении вибрационного контроля.

2. Руководитель научного направления «Энергообеспечение агропромышленного комплекса», заведующий лабораторией электроснабжения и теплообеспечения ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, доктор технических наук, доцент Виноградов А.В. Вопросы и замечания: 1) неясно, есть ли ограничения по применению предлагаемого метода для разных конструктивных исполнений трансформаторов (масляный, сухой и т.д.), разных мощностей; 2) некоторые рисунки оформлены неудачно, например, на рисунке 1 не все наименования столбцов понятны.

3. Профессор кафедры системы автоматизированного проектирования Казанского национального исследовательского технического университета им.

А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, доктор технических наук, профессор
Гизатуллин З.М. Замечание: не приведены данные, по каким критериям
выбираются сигналы для проведения контроля технического состояния
обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов, зависят ли эти критерии
от характеристик трансформатора.

4. Доцент кафедры «Электроснабжение» УО «Гомельский
государственный технический университет им. П.О. Сухого», г. Гомель,
Беларусь, кандидат технических наук, доцент Капанский А.А. Замечание: в
тексте автореферата отсутствует информация о моделировании дефекта
обмоток и магнитопровода на лабораторном трансформаторе.

5. Заведующий кафедрой электропривода ФГБОУ ВО «Липецкий
государственный технический университет», г. Липецк, доктор технических
наук, профессор Мещеряков В.Н. Замечания: 1) желательно пояснить, каким
образом выбирались модели трансформатора для проведения
экспериментальных исследований; 2) неясно, как проводится выбор сигналов
для проведения вибрационного контроля технического состояния обмоток и
магнитопровода силовых трансформаторов.

6. Профессор кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО
«Вологодский государственный университет», доктор технических наук,
профессор Немировский А.Е. Замечания: 1) необходимо уточнить, каким
образом проводится отбор сигналов для проведения вибрационного контроля
технического состояния обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов;
2) необходимо уточнить о моделировании дефекта обмоток и магнитопровода,
какие параметры и каким образом задаются; 3) непонятно, необходимы ли
дополнительные затраты для проведения вибрационного контроля помимо
затрат на лазерный комплекс.

7. Профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников
энергии ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
доктор технических наук, доцент Суслов К.В. Замечания: 1) не рассмотрен
вопрос технико-экономической оценки усовершенствованного метода

вибрационного контроля; 2) из автореферата неясно, всем ли трансформаторам подходят разработанные границы, используемые для определения уровня технических состояний (с. 10); 3) в автореферате не показано, почему классификация состояний выбрана в диапазоне от 1 до 1,5.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Оппонент Вахнина Вера Васильевна является известным ученым в области математического моделирования, неразрушающего контроля и диагностики силовых трансформаторов, численных методов и комплексов программ расчета электродинамической стойкости трансформаторного оборудования, имеет соответствующие научные публикации.

Оппонент Славутский Леонид Анатольевич является известным ученым в области вибрационного контроля высоковольтного оборудования, методов оценки технического состояния электрооборудования, моделирования нейронных сетей в области электроэнергетики, имеет соответствующие научные публикации.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, является одним из ведущих учебных и научно-инженерных центров Сибири и России в сфере электроэнергетических комплексов и систем, а также приборов и методов контроля электрооборудования. Сотрудники кафедры «Электрические станции» занимаются диагностикой силовых трансформаторов (в том числе амплитудно-фазными методами анализа), моделированием электромагнитных полей силовых трансформаторов, имеют соответствующие научные публикации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны усовершенствованный метод вибрационного контроля, основанный на фрактальном анализе вибрационного сигнала, и реализующий его бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс, математическая модель обмоток и магнитопровода силового трансформатора, алгоритмы и программное обеспечение, которые позволяют: дистанционно с использованием лазерных технологий производить измерения вибрационного сигнала от силового трансформатора; исследовать влияние степени прессовки обмоток и магнитопровода на их вибрационные характеристики; осуществлять запись сигнала, преобразование, обработку, анализ результатов вибрационных измерений, определять фрактальную размерность измеренного сигнала, связанную со степенью прессовки обмоток и магнитопровода трансформаторов;

предложено оценивать степень прессовки магнитопровода и обмоток силового трансформатора с помощью интегрального показателя «коэффициент фрактального анализа» (КФА), который рассчитывается на основе фрактального анализа амплитудно-временной характеристики вибрационного сигнала;

доказано наличие взаимосвязи между фрактальной размерностью вибрационного сигнала и степенью прессовки магнитопровода и обмоток силового трансформатора;

введены граничные значения коэффициента фрактального анализа амплитудно-временной характеристики вибрационного сигнала для оценки степени прессовки магнитопровода и обмоток силового трансформатора.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что значение фрактальной размерности вибрационного сигнала магнитопровода и обмоток силового трансформатора в информативном диапазоне от 100 до 1000 Гц увеличивается при снижении механического момента осевых усилий, действующих на магнитопровод и обмотки;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использованы комплекс существующих базовых методов вибрационного контроля технического состояния магнитопровода и обмоток, математические методы обработки информации;

разработана математическая модель параметров колебаний магнитопровода и обмоток силового трансформатора под действием магнитострикционного эффекта, позволяющая обосновать выбор оптимального диапазона частот вибрационного сигнала (от 100 до 1000 Гц) для определения степени прессовки магнитопровода и обмоток;

раскрыты возможности и ограничения усовершенствованного метода вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов с применением бесконтактных лазерных технологий и фрактального анализа;

изучена зависимость фрактальной размерности вибрационного сигнала магнитопровода и обмоток от механического момента осевых усилий данных элементов трансформатора.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан и внедрен (имеются акты внедрения) в компании ООО «Опора Плюс» (с. Столбище Лаишевского р-на Республики Татарстан) и в учебном процессе ФГБОУ ВО «КГЭУ» усовершенствованный метод вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода силового трансформатора.

Работоспособность усовершенствованного метода вибрационного контроля была подтверждена при выполнении научно-исследовательской опытно-конструкторской работы по договору № 0002/52/63 06.04.2020 г., заключенному между ПАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина и ФГБОУ ВО «КГЭУ» по теме «Разработка и внедрение приборов и методики по слежению за техническим состоянием оборудования подстанций 110/35/6 кВ»;

определены перспективы практического применения усовершенствованного метода вибрационного контроля технического

состояния обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов для создания системы предиктивной диагностики действующих трансформаторных подстанций.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании для измерения вибрации, проведена калибровка измерительной системы, показана воспроизводимость результатов измерений в различных условиях;

теория определения степени прессовки магнитопровода и обмоток силового трансформатора не противоречит известным из литературы данным и согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными результатами других авторов;

идея разработанного метода контроля **базируется** на анализе работ других ученых в этой области;

использовано сравнение данных, полученных с помощью разработанного в диссертации усовершенствованного метода и с помощью методики, предписанной Приказом Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. № 676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей», а также с помощью существующей системы вибрационного контроля уровня прессовки магнитопровода и обмоток «Веста», установлено соответствие результатов;

установлена непротиворечивость экспериментальных результатов, выводов и моделей известным теоретическим положениям и данным работ других исследователей в этой области;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, измерительные приборы, прошедшие поверку.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке усовершенствованного метода вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода силового трансформатора и

реализующего его бесконтактного лазерного контрольно-измерительного комплекса, в проведении лабораторных и полевых испытаний, участии в разработке алгоритмов и программного обеспечения обработки и визуализации данных для усовершенствованного метода, участии в обсуждении полученных результатов и их представлении в публикациях.

Диссертационный совет рекомендует использование результатов в существующих системах контроля технического состояния трансформаторных подстанций для расширения функционала диагностических систем, а также для создания единой базы данных со сбором информации от различных диагностических систем для повышения качества контроля технического состояния трансформаторного оборудования. Полученные результаты могут быть использованы организациями, занимающимися анализом повреждений силовых трансформаторов, такими как ОАО «ВНИИЭ», НИЦ «ЗТЗ Сервис», Фирма «ОРГРЭС».

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В научной новизне у вас написано: «Разработан новый усовершенствованный метод...». Так он новый или усовершенствованный? Следует, очевидно, говорить про усовершенствованный метод (*член совета Гарифьянов Н.Н.*).

2. При моделировании дефекта обмоток и магнитопровода не совсем ясно, какие параметры и каким образом задаются для исследования фрактальной размерности (*ведущая организация*).

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

4. В диссертации отсутствует анализ и исследования по применимости разработанного усовершенствованного метода вибрационного контроля технического состояния обмоток и магнитопровода для силовых

трансформаторов различных классов напряжений. Какие ограничения будут существовать для разработанного метода в зависимости от номинального напряжения, изоляционной среды силового трансформатора, особенностей конструкции обмоток и магнитопровода, режимов работы и условий окружающей среды? (*оппонент Вахнина В.В.*)

5. Во второй главе при разработке математической 3D модели обмоток и магнитопровода силового трансформатора в табл. 2.1 в технических характеристиках исследуемого силового трансформатора указаны материал обмоток – алюминий, схема и группа соединений «звезда-треугольник», хотя далее в п. 2.2 при расчете механических колебаний обмоток и магнитопровода на с. 49 автором отмечено, что для обмоток был выбран материал медь, наиболее подходящий по параметрам для обмоток трансформатора, а в смоделированной 3-фазной электрической цепи трансформатора (рис. 2.5) применена схема «звезда с нулем – звезда с нулем» (*оппонент Вахнина В.В.*)

6. В амплитудных спектрах, представленных на рис. 1.6, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, присутствуют отклонение частот на 5-7 Гц для значений 100 Гц, 200 Гц, 400 Гц и 500 Гц, как в большую, так и меньшую сторону. Необходимо пояснить появление этих отклонений в спектрах (*оппонент Славутский Л.А.*)

Соискатель Басенко В.Р. согласился с замечанием 1 и ответил на остальные замечания следующим образом:

2. Задача моделирования трансформатора состояла в выявлении зависимости между фрактальной размерностью вибрационного сигнала и изменению осевых усилий магнитопровода и обмоток (их прессовке). Для математической модели трансформатора задаются его геометрические параметры, параметры материалов, уравнения электромагнитного поля, параметры колебаний твердого тела и внешние механические воздействия. При этом для выявления изменений фрактальной размерности вибрационного сигнала корректировался параметр внешнего механического воздействия в виде механического момента, воздействующего на магнитопровод и обмотки (в диапазоне от 40 Н/м до 0, и 20 Н/м до 0 соответственно).

3. Мультифизический процесс заключается в возникновении колебаний магнитопровода и обмоток силового трансформатора под действием электромагнитного поля. Для решения поставленных задач во второй главе диссертации данный процесс моделировался путем решения уравнений Максвелла и уравнений тензора напряжений, которые возникают под действием магнитострикционного эффекта.

4. С помощью разработанного метода проводился контроль трансформаторов с напряжением 35/6 кВ и 230/400 В. Также контролируемые трансформаторы имели различную изоляционную среду. Установлено, что различия в конструкционных особенностях, классе напряжения, изоляционной среде влияют на информативные точки, которые характеризуют состояние магнитопровода и обмоток силового трансформатора. Также для различных трансформаторов будет изменяться и амплитуда колебаний конструкционных элементов, в зависимости от параметров трансформатора и окружающей среды. Но при этом данные ограничения не влияют на качество проведения контроля, т.к. определение степени прессовки заключается в анализе сигнала, который вызван магнитострикционным эффектом в обмотках и магнитопроводе, с известным информативным диапазоном.

5. При проведении математического моделирования и лабораторных исследований использовались основные материалы для обмоток трансформатора – медь и алюминий, а также составлялись основные схемы соединения обмоток, «звезда-треугольник» и «звезда-звезда» (с нулевым выводом). В итоге выбран для обмоток материал медь, который соответствует трансформатору ТСЗ 16, а схема соединения выбрана «звезда-звезда», так как к трансформатору подключалась трехфазная нагрузка в виде тепловой пушки со схемой соединения «звезда», мощностью 12 кВт, на трехфазное напряжение.

6. Данные отклонения на спектрах являются системной ошибкой разработанного программного обеспечения. Данное отклонение частоты возникает системно и учитывается при определении целевых функций сравнения при проведении спектрального анализа и незначительно влияет на

качество проведения контроля технического состояния. Отклонения на частотах 100, 200, 400 и 500 Гц одинаковы для всех случаев спектров виброскорости трансформатора, а оценка происходит на основе определения целевых функций, поэтому полученные отклонения не влияют на результаты спектрального анализа.

На заседании 15 декабря 2023 года **диссертационный совет принял решение** за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, присудить Басенко Василию Романовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 13 против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель

диссертационного совета



Голенищев-Кутузов

Вадим Алексеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Калимуллин Рустем Ирекович

15 декабря 2023 г.

