МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор
Абдуллазянов Э. Ю.
«18» 09 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Диссертация «Разработка методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов» выполнена на кафедре «Электрические станции им. В.К. Шибанова».

В период подготовки диссертации соискатель Ньетерейе Фредерик обучался в аспирантуре (очная форма) в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Электрические станции им. В.К. Шибанова» с октября 2022 года по сентябрь 2026 года.

Ньетерейе Фредерик, гражданин Республики Бурунди, в июле 2022 г. окончил с отличием магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» с присуждением степени магистраа по направлению «Электроэнергетика и электротехника»

В 2026 г. окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки 2.4.2 - «Электротехнические комплексы и системы».

С 01.06.2026 г. по 06.06.2026 г. (приказ № 64/ад от 01.06.2026) являлся экстерном для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды», группа научных специальностей 2.2 «Электроника, фотоника, приборостроение и связь».

Справка о сданных кандидатских экзаменах выдана в 2026 г. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Научный руководитель – Усачев Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», кафедра «Электрические станции им. В.К. Шибанова», профессор.

По итогам обсуждения диссертации «Разработка методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов» принято следующее заключение:

1. Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Одной из основных задач электроэнергетики является надёжное и бесперебойное снабжение потребителей. Она решается целой системой организационных, технических и технологических мероприятий. Одним их таких мероприятий является система контроля состояния изоляции высоковольтного электрооборудования. Среди множества методов и методик контроля состояния изоляции выделяется диагностика состояния по методу частичных разрядов (ЧР). В настоящее время он считается лучшим методом для обнаружения дефектов на ранних стадиях их развития. Ежегодно в мире этим методов проводится контроль изоляции более 80% парка всех турбогенераторов (ТГ), силовых трансформаторов (СТ) и кабельных линий электропередачи (КЛЭП) с номинальным напряжение 110 кВ и выше. Измерения ЧР в электротехнических устройствах существенно отличаются от измерений в лабораторных условиях, для объяснения результатов которых была создана модель ЧР. Десятки тысяч исследователей проводят исследования по совершенствованию базовой модели ЧР и адаптации её к реальным условиям наблюдения. Выбор темы диссертации – «Разработка методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов» является **актуальным и обоснованным**.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в развитие представлений о самостоятельных разрядах в газах и практического применения теории для контроля состояния изоляции внесли такие российские учёные и специалисты, как Александров А.Ф., Базелян Э.М., Исмагилов Ф. Р., Кучинский Г.С., Коробейников С.М., Лавринович В.А. Месяц Г.А., Монастырский А.Е.,

Овсянников А.Г., Райзер Ю.П., Шахнин В.А., Вдовико В.П., Русов В.А. и др. Среди зарубежных авторов следует отметить работы Paschen F., Townsend J.S.E., Illias H. A., Ju Li, Pan C. и др.

При контроле состояния изоляции работающих трёхфазных электроустановок методом частичных разрядов остаются недостаточно определёнными характерные признаки принадлежности сигналов ЧР определённым типам дефектов изоляции, что снижает предсказательную способность метода ЧР.

2. Научная новизна результатов работы

1. В одном газовом дефекте внутри изоляции с размерами вдоль поля от 0,15 мм до 0,5 мм обнаружено возникновение только по одному ЧР в первой и третьей четверти периода синусоиды приложенного к изоляции напряжения в диапазоне до 15 кВ, что по величине напряжённости электрического поля в изоляции реальных объектов эквивалентно приложению напряжения до 100% от номинального. Разность фазовых углов возникновения таких «парных» разрядов составляет 150°–180°. Изменения фазового угла возникновения и числа ЧР за период наблюдения (400 часов) не происходит.

2. Возникновение только 2 ЧР за один период синусоиды промышленной частоты объяснено тем, что объёмный заряд, образующийся из электронов, положительных и отрицательных ионов после прохождения лавин ЧР в газовых дефектах исследованных размеров в отрицательном полупериоде синусоиды промышленной частоты, к моменту последующего частичного разряда в положительном полупериоде уменьшается за счёт рекомбинации частиц настолько, что его можно не учитывать на частоте 50 Гц.

3.Разработана новая методика определения размеров газовых дефектов в направлении вдоль силовых линий электрического поля в изоляционных материалах по характеристикам частичных разрядов. Методика состоит в следующей последовательности действий: – расчёт коэффициента неоднородности ЭП внутри возможных типов дефектов; – измерение напряжения возникновения ЧР в положительном полупериоде; – определение средней напряжённости ЭП в момент возникновения ЧР; – определение напряжённости ЭП внутри каверны дефекта при возникновении ЧР; – определение размера дефекта вдоль силовых линий поля. Получена экспериментальная формула зависимости напряжённости возникновения ЧР от размеров дефектов вдоль поля в диапазоне от 0,15 мм до 0,5 мм.

4. Предложены следующие признаки ЧР, возникающих внутри газовых дефектов:

– фазовый угол возникновения ЧР ($f_{ЧР}$) находится в диапазоне $f_{min} < f_{ЧР} \leq 90°$ и $180°+f_{min} < f_{ЧР} \leq 270°$, f_{min} – характеристика изоляции высоковольтного аппарата, уменьшение f_{min} – рост дефекта;

– ЧР должен быть двойным с различием фаз $df_{ЧР} = 150–180°$ возникновения ЧР в разных полупериодах синусоиды;

– число ЧР в одном дефекте должно равняться 100 за 1 секунду и слабо зависеть от времени.

3. Теоретическая и практическая значимость результатов работы

К теоретической значимости работы относится подтвержденное экспериментально доказательство исчезновения остающегося объёмного заряда после ЧР в отрицательном полупериоде к моменту возникновения ЧР в положительном полупериоде в той же каверне газового дефекта изоляции при частоте высокого напряжения 50 Гц и методика определения размеров дефекта изоляции по напряжению возникновения ЧР. Доказательство отсутсвия остающегося объёмного заряда основано на факте соответствия измеренных в работе напряжённостей вознкновения ЧР в газовых порах изоляционного материала в положительном полупериоде с пробивными напряжённостями разрядных промежутков соответствующих размеров при атмосферном давлении, в которых объёмный заряд отсутствует.

Практическая значимость состоит в том, что полученные в диссертации результаты позволяют усовершенствовать методику контроля состояния изоляционных материалов высоковольтного электрооборудования методом частичных разрядов:

- разделить ЧР, возникшие в разных фазах;
- объяснить регистрацию ЧР при малых полях, недостаточных для возникновения самостоятельного разряда, без гипотезы остаточного объёмного заряда;
- отделить ЧР, возникающие в газовых дефектах внутри изоляционного материала от поверхностных и коронных ЧР;
- оценить размер дефекта по характеристикам ЧР.

Усовершенствованная методика позволяет повысить достоверность метода ЧР и способствует повышению надёжности изоляционных материалов.

4. Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Автор лично участвовал во всех этапах получения результатов, представленных в диссертации и публикациях: создание экспериментальной установки для измерения частичных разрядов, разработка и интерпретация результатов, составление диаграмм и экспериментальных схем для обработки

результатов измерений в средах Delphi 7, LabVIEW и OriginLab, проведение экспериментальных исследованиях в лаборатории высоких напряжений кафедры «Электрические станции им. В.К. Шибанова» в КГЭУ, создание моделей в средах Multisim и Comsol Multiphysics, анализ и сравнение теоретических и экспериментальных результатов, подготовка отчетов, участие в презентациях на научных конференциях и написание научных статей.

5. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов определяются:

- соответствием приборов и методик проведения экспериментов действующим стандартам на метод ЧР;
- использованием при моделировании ЧР общепризнанных программных продуктов;
- совпадением результатов моделирования ЧР и экспериментальных исследований;
- использованием апробированных методик и современных программных продуктов для обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты не противоречат известным теоретическим положениям.

6. Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация на тему «Разработка методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов» соответствует специальности 2.2.8 - «Методы и приборы контроля и диагностики материалов изделий веществ и природной среды» по пунктам Паспорта специальности:

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.

4. Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды.

7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

По результатам выполненных исследований и по теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, включая 2 статьи в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК РФ, 1 свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026669962, 1 статье в прочих рецензируемых изданияхи 10 публикациях в изданиях, включенных в РИНЦ из 10 материалов докладов на международных и всероссийских научных конференциях.

Статьи в рецензируемом научном издании из перечня ВАК РФ

1. Ньетерейе Фредерик, УсачевА.Е., БобоевШ.А., КубаревА.Ю. Измерительная ячейка для изучения характеристик частичных разрядов в газовых дефектах изоляции//Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2025.№ 27(3). С.14-22. DOI:https://doi.org/10.30724/1998-9903-2025-27-3-14-22. (ВАК К2, вклад соискателя – 50%).

2. Ньетерейе Фредерик, Усачев А.Е., Бобоев Ш.А., Кубарев А.Ю. Исследование характеристик частичные разрядов в одиночном воздушном дефекте изоляции //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2026. № 28(4). С.96-107. DOI:https://doi.org/10.30724/1998-9903-2026-28-4-96-107. (ВАК К2, вклад соискателя – 50%).

Статья в прочем рецензируемом издании

3. Nyetereye Frederic, Usachev A.E, Kubarev A.Y. Development of methods for measuring partial discharges in the solid insulation with gaseous defects of power transformers. // Journal of Electrical Systems and Information Technology (JESIT)», V.13, N.28, (2026), DOI: https://www.doi.org/10.1186/s43067-026-00333-1. (вкладсоискателя – 50%).

Свидетельство

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026669962.Программа расчета параметров частичных разрядов в газовых дефектах изоляции высоковольтного электрооборудования // Ньетерейе Фредерик, Усачев Александр Евгеньевич,Кубарев Артём Юрьевич. Датарегистрации: 10.07.2026. (вкладсоискателя – 50%).

Работы в материалах конференций

5.Ньетерейе Фредерик, Усачев А.Е. Диагностика силовых трансформаторов методом частичных разрядов// Материалы докладов XXVI Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященный «Дню Энергетика», г. Казань, КГЭУ, 2022 г., Т. 1, с.23-26. (вклад соискателя – 50%).

6. Ньетерейе Фредерик, Усачёв А.Е. Частичные разряды в масле силовых трансформаторов// Материалы докладов в Конференции технологического суверенитета и цифровой трансформацией (Международная научно-техническая конференция), г. Казань, КГЭУ, 2023 г., Т. 28, с.19-22. (вклад соискателя – 50%).

7. Ньетерейе Фредерик, Усачёв А.Е. Расчёт радиальной напряженности электрического поля на поверхности диэлектрического барьера измерительной ячейки// Материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященный «Дню Энергетика», г. Казань, КГЭУ,2023 г., Том 1, с.33-36.(вклад соискателя – 50%).

8. Ньетерейе Фредерик, Усачев А.Е. Моделирование коронного разряда в воздухе при атмосферном давлении // Материалы докладов Международной молодежной научной конференции Тинчуринские чтения – 2024 «Энергетика и цифровая трансформация», г. Казань, КГЭУ, 2024 г., Том 1, с.43-46. (вклад соискателя – 50%).

9. Ньетерейе Фредерик, Усачев А.Е., Бобоев Ш.А. Ячейка для измерения характеристик частичных разрядов во внутренних дефектах изоляции// Материалы докладов XXVIII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященный «Дню Энергетика», г. Казань, КГЭУ, 2024 г., Том 1, с.19-22. (вклад соискателя – 50%).

10. Ньетерейе Фредерик, Усачев А.Е., Бобоев Ш.А. Моделирование частичных разрядов внутри дефектов изоляции помощью Comsol Multiphysics // Материалы докладов Международной молодежной научной конференции Тинчуринские чтения – 2025 «Энергетика и цифровая трансформация», г. Казань, КГЭУ, 2025 г., Том 1, с.879-882. (вклад соискателя – 50%).

11. Ньетерейе Фредерик, Усачев А.Е., Бобоев Ш.А. / Исследование распределения электрического поля и частичных разрядов в твердой изоляции силовых трансформаторов помощью COMSOL Multiphysics// Материалы докладов XII Международной научной четаевской конференции «аналитическая механика, устойчивость и управление», г. Казань, КНИТУ-КАИ, 2025 г., Том II, с.270-274. (вклад соискателя – 50%).

12. Ньетерейе Фредерик, Усачёв А.Е., Бобоев Ш.А. Анализ частичных разрядов в повреждениях твердой изоляции силовых трансформаторов// Материалы докладов XXIX Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященный «Дню Энергетика», г. Казань, КГЭУ, 2025 г., Том 1, с.48-51. (вклад соискателя – 50%).

13. Ньетерейе Фредерик, Усачёв А.Е. Моделирование и измерение частичных разрядов в дефектах твердой изоляции// Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования: материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2026 г., Ц75, с.827-831. ISBN 978-5-89873-721-4. (вклад соискателя – 50%).

14. Ньетерейе Фредерик, Усачёв А.Е. Параметры частичных разрядов в газовых дефектах высоковольтной изоляции // Материалы докладов Международной молодежной научной конференции Тинчуринские чтения – 2026 «Энергетика и цифровая трансформация», г. Казань, КГЭУ, 2026 г., Том 1, с.879-882. (вклад соискателя – 50%).

В перечисленных работах Ньетерейе Фредерика лично получены следующие результаты:

- в работах [1-3, 9] принимал участие в создании экспериментальной установки для измерения характеристик частичных разрядов в газовых дефектах изоляционных материалов и выполнял подготовку результатов к публикации;
- в работах [1, 2, 5-9, 14] проводил все эксперименты по измерения частичных разрядов, обработку результатов измерений, участвовал в обсуждении результатов экспериментов и разработке методики определения размеров ЧР, в подготовке публикации к печати;
- в работе [2, 3] принимал участие в разработке пакета прикладных программ для обработки и интерпретации экспериментальных результатов измерения ЧР в образцах изоляции с созданными воздушными дефектами, составлении диаграммы и схем эксперимента для обработки результатов измерений в средах « *Delphi*», «*LabVIEW*» и « *OriginLab* »;
- в работах [1-3, 5-14] принимал участие в подготовке и проведении всех экспериментальных измерений, обработке результатов измерений, создании моделей в средах « *Multisim* » и «*Comsol Multiphysics*», участвовал в обсуждении результатов экспериментов, разработке и изготовлении лабораторного стенда для проведения измерений, выступал с результатами работ на конференциях.

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 2 – в [1, 3, 5-11] и по главе 3 – в [2,3,9, 12-14].

В диссертационной работе не выявлено использования материалов или отдельных результатов без ссылок на автора или источник заимствования, включая работы, выполненных соискателем лично и/или в соавторстве.

8. Апробация работы

Основные положения и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 10 конференциях различного уровня: наXXVI, XXVII,XXVIII, XXIXВсероссийском аспирантско-магистерском научном семинарах, посвященный «Дню Энергетика», Казань, КГЭУ, 2022, 2023, 2024, 2025 г.; на международной научно-технической конференции «Технологический суверенитет и цифровая трансформация», Казань, 2023; на международной молодежной научная конференция «Тинчуринские чтения», Казань, 2024, 2025, 2026 г.;на международной научной Четаевской конференции «Аналитическая

механика, устойчивость и управление», Казань, 2025 г.; на международной научно-практической конференции «Цифровые системы и модели»: теория и практика проектирования, разработки и использования: материалы, Казань, 2026г.

9. Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя состоит в полученных новых достоверных данных о характеристиках ЧР, возникающих в одиночном газовом дефекте внутри твёрдого изоляционного материала. В результате статистической обработки результатов измерений ЧР одиночных дефектов внутри изоляционного материала с размерами от 0,15 мм до 0,5 мм вдоль силовых линий электрического поля и диаметром 2 мм в перпендикулярной плоскости установлен набор характерных признаков ЧР, позволяющих отличить ЧР, происходящие во внутренних дефектах, от скользящих и коронных ЧР. Разработана новая методика определения размеров дефектов по напряжённости возникновения ЧР позволяет в простой и наглядной форме представлять результаты диагностики электрооборудования методов частичных разрядов и оценивать остаточный ресурс изоляции путём сравнения размеров дефектов и толщины изоляции без привлечения концепции кажущегося разряда. Полученные результаты позволяют повысить достоверность и информативность контроля состояния высоковольтной изоляции методом частичных разрядов.

10. Характер результатов

Характер результатов диссертации соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ.

11. Выводы

Диссертация Ньетерейе Фредерика «Разработка методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи разработки и усовершенствование методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов. Решение данной задачи имеет значение для развития области науки и техники, занимающейся созданием научных основ методов неразрушающего и аналитического контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертационной работы, Ньетерейе Фредерик проявил себя зрелым научным

работником, способным ставить и решать сложные теоретические и практические задачи.

Работа соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Диссертация «Разработка методики определения размеров внутренних газовых дефектов изоляционных конструкций по характеристикам частичных разрядов» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, и рекомендуется к защите по научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Заключение подготовлено и рассмотрено кафедрой «Электрические станции им. В.К. Шибанова» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Присутствовало на расширенном заседании кафедры 21 человек.

Результаты голосования: «за» - 21чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 12/26 от « 08» сентября 2026 г.

Абдуллазянов Рустем Эдвардович,
кандидат технических наук, доцент, и.о.
заведующего кафедрой «Электрические станции»
им. В.К. Шибанова» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел.: +7 (843) 519-42-70, e-mail : abdull@inbox.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:

Абдуллазянов Эдвард Юнусович: доктор технических наук, профессор.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», ректор, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843)519-42-02, e-mail : kgeu@kgeu.ru

Нуждинов М.Ф.