

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу ИВАНОВА Дмитрия Алексеевича «Методология и аппаратно-программный комплекс дистанционного диагностирования высоковольтных изоляторов в процессе эксплуатации на основе анализа характеристик частичных разрядов», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

1. Актуальность темы исследования

Изоляция один из важнейших элементов всех электроустановок. Надежность изоляции, выбранной с большим запасом и работающей без недопустимых перенапряжений достаточно высокая и сроки службы могут составлять в среднем 25...70 лет, а с перенапряжениями срок сокращается в нелинейной зависимости. Поэтому важно диагностировать изоляцию и на ранних этапах выявлять начинающиеся процессы повреждений. Это возможно при комплексном проведении исследований в таких, в частности, направлениях как изучение электрофизических и физико-химических процессов в диэлектрических материалах, создание на этой основе более совершенных изолирующих элементов, а также разработка и применение новых методов контроля и диагностики технического состояния.

В существующих государственных стандартах для контроля технического состояния высоковольтной изоляции рекомендуются использовать электромагнитный, акустический, оптический и химический методы. Соискателем разработаны и использовались методики периодического дистанционного комплексного измерения одновременно электромагнитным и акустическим датчиками и анализа характеристик частичных разрядов, измерения напряженностей электрических полей электрооптическим датчиком, локализации положения дефектных изоляторов на подстанциях. Считаю, что такой комплексный подход является дальнейшим этапом развития методик контроля высоковольтной изоляции.

Актуальность темы диссертации подтверждается многолетней поддержкой научных исследований коллектива, в который входит автор, Российским фондом фундаментальных исследований, государственным заданием на выполнение НИР и самого автора Советом по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых. Авторские разработки используются при выполнении хоздоговорных работ с предприятиями реального сектора экономики.

Поэтому выбранная автором тема диссертационной работы Д. А. Иванова актуальна.

2. Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный энергетический университет». Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 229 наименований, и восьми приложений. Диссертация изложена на 285 страницах, содержит 74 рисунка и 9 таблиц.

Во введении приведена общая характеристика работы. Кратко описаны актуальность темы и степень ее разработанности, цель и основные задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и публикациях, личном вкладе автора, соответствии диссертации научной специальности.

В первой главе автором рассмотрены научные и технические проблемы диагностики диэлектрических элементов высоковольтного энергетического оборудования. Обсуждены физические свойства основных диэлектрических материалов, используемых для производства ВИ, а также процессы дефектообразования в них. Рассмотрены основные физические методы технической диагностики высоковольтных диэлектрических элементов, в основу которых положена регистрация определенного набора характеристик частичных разрядов. По результатам проведенного анализа Ивановым Д.А. сформулированы цель диссертационного исследования и перечень основных научных задач.

Во второй главе автором определены наиболее перспективные методы неразрушающего контроля и диагностики на основе выполненных первоначальных экспериментов по изучению особенностей возникновения частичных разрядов и их детектирования в диэлектрических материалах с использованием контактного датчика, установлены и обоснованы основные положения методологии – комплексность в применении нескольких физических методов детектирования частичных разрядов, необходимый набор диагностических признаков для оценки состояния и прогнозирования остаточного ресурса.

В третьей главе диссертации представлены разработка и апробация методологических основ дистанционной диагностики высоковольтных диэлектрических элементов в электроэнергетике, что обосновано отсутствием в настоящее время, как в нормативных документах, так и в используемых реальных дистанционных устройствах, обоснования связи характеристик частичных разрядов или других измеряемых величин с параметрами дефектов в высоковольтных изоляторах.

В четвертой главе диссертационной работы Иванова Д.А. представлены результаты изучения влияния мощных частичных разрядов на развитие дефектов в высоковольтных изоляторах, рассмотрены особенности детектирования

мощных частичных разрядов акустическим и электромагнитным датчиками. Автор показывает, что изучение характеристик мощных частичных разрядов в полимерных и фарфоровых высоковольтных изоляторах позволило экспериментально проверить ряд ранее выдвинутых гипотез, в которых обсуждались механизмы появления мощных частичных разрядов.

В пятой главе автором представлены результаты разработки технологии мониторинга технического состояния ВИ на текущий момент и прогноза их остаточного ресурса, а также его реализации на высоковольтных электрических подстанциях ОАО «Сетевая компания» в г. Казань.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе. Показано, что решены поставленные задачи, позволяющие достичь цели проведенного исследования.

Приложения содержат акты внедрения результатов, а также блок-диаграммы разработанных программ для ЭВМ.

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации и полученные в ней результаты.

3. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Материалы диссертации и автореферата соответствуют пунктам 1-4, 6 паспорта научной специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды:

Разработанные методики периодического комплексного дистанционного измерения одновременно электромагнитным и акустическим датчиками и анализа характеристик частичных разрядов, измерения напряженностей электрических полей электрооптическим датчиком, локализации положения дефектных изоляторов на подстанциях повышают информативность и достоверность оценки технического состояния высоковольтных изоляторов, путем сопоставления их с параметрами наиболее опасных при эксплуатации дефектов, что соответствует п. 1 паспорта научной специальности 2.2.8.

Установлены особенности дистанционного мониторинга ЧР в ВИ, что соответствует п. 1 паспорта научной специальности 2.2.8.

Разработан комплексный метод обнаружения и регистрации вида, места расположения и роста наиболее опасных дефектов путем дистанционного измерения повышенных напряженностей электрического поля, локально расположенных на поверхностях ВИ, и набора характеристик частичных разрядов электромагнитным и акустическим датчиками, что соответствует п. 2 паспорта научной специальности 2.2.8.

Разработанный испытательный стенд, включающий в себя аппаратный комплекс с различными физическими датчиками – электромагнитным, электрооптическим, акустическим, цифровой программный комплекс и

регулируемый источник высокого напряжения, позволяет комплексно и дистанционно определять и анализировать характеристики диагностических параметров высоковольтных диэлектрических материалов и элементов, что соответствует пп. 3 и 6 паспорта научной специальности 2.2.8.

Установлен набор диагностических параметров, включающий интенсивность, количество, смещение фазовых углов появления мощных частичных разрядов, форму и ширину импульсов мощных частичных разрядов, которые дают возможность определять техническое состояние высоковольтных изоляторов в условиях эксплуатации, что соответствует п. 4 паспорта научной специальности 2.2.8.

4. Методы исследования

В диссертационном исследовании использовался комплексный подход к измерению характеристик частичных разрядов в высоковольтных изоляторах, включающий применение системного анализа характеристик дефектов, которые были определены в ходе выполненных на оригинальных стендах и производственных объектах высоковольтной энергетики экспериментальных исследований с использованием нескольких физических методов. Основные результаты получены с применением современных физических представлений о взаимодействии высокоэнергетических частиц (электронов и ионов) с диэлектрическими материалами.

5. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов определяется строгой теоретической аргументацией выбора направления исследования, применением теоретических и экспериментальных методов исследования в рассматриваемой области, подтверждена обсуждением результатов на национальных и международных научно-технических конференциях и семинарах.

Достоверность полученных автором результатов обусловлена применением отработанных экспериментальных методик и подтверждается исследованиями других авторов, как параллельными, так и более поздними.

Метод обнаружения и регистрации набора характеристик частичных разрядов электромагнитным и акустическим датчиками был разработан научным коллективом, в котором работает автор диссертации, впервые запатентован в 2011 году. Совмещение измерительных каналов для регистрации частичных разрядов в высоковольтной изоляции позднее нашло отражение в международном стандарте «МЭК (IEC TS) 62478:2016. High voltage test techniques - Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods».

Используемый автором подход к дистанционному измерению повышенных напряженностей электрического поля, локально расположенных на поверхностях высоковольтных изоляторов, не противоречит известным из литературы теоретическим и экспериментальным результатам [Zhu Y., Takada T. Dynamic observation of needle-plane surface discharge using the electro-optical pockels effect // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 1996. V. 3, No. 3. P. 460-468; Runge D, Brunken N, Ruter S, Kip D. Integrated optical electric field sensor based on a bragg grating in lithium niobate // Appl. Physics B. 2007. V. 86. P. 91-96]. Автор развил этот подход и реализовал метод обнаружения и регистрации вида, места расположения и роста наиболее опасных дефектов путем дистанционного измерения повышенных напряженностей электрического поля.

Автором были выдвинуты новые представления о природе возрастания электрического поля в области дефекта за счет полей, индуцированных предыдущими частичными разрядами. Это нашло экспериментальное подтверждение в том, что индуцированные поля по напряженности могут значительно превосходить напряженности приложенных полей в энергетических высоковольтных системах, что приводит к ускоренной локальной деградации диэлектрических элементов в процессе эксплуатации. Полученные автором экспериментальные результаты и их теоретическая интерпретация не противоречат исследованиям других авторов [Коробейников С.М. Физические механизмы частичных разрядов: монография / С. М. Коробейников, А. Г. Овсянников. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 266 с.].

Таким образом, можно констатировать, что полученные результаты и сформулированные на основании их научные положения, выводы и рекомендации вполне достоверны и обоснованы.

6. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций

К новым результатам, полученным в диссертации, следует отнести:

1) разработанные методики периодического дистанционного комплексного измерения одновременно электромагнитным и акустическим датчиками и анализа характеристик частичных разрядов, измерения напряженностей электрических полей электрооптическим датчиком, локализации положения дефектных изоляторов на подстанциях, повышающие информативность и достоверность оценки технического состояния высоковольтных изоляторов, путем сопоставления их с параметрами наиболее опасных при эксплуатации дефектов;

2) разработанный испытательный стенд, включающий в себя аппаратный комплекс (различные физические датчики – электромагнитный, электрооптический, акустический), цифровой программный комплекс и регулируемый источник высокого напряжения, позволяющий комплексно и

дистанционно определять и анализировать характеристики диагностических параметров высоковольтных диэлектрических материалов и элементов;

3) установленный набор диагностических параметров, включающий интенсивность, количество, смещение фазовых углов появления мощных частичных разрядов, форму и ширину импульсов мощных частичных разрядов, которые дают возможность определять техническое состояние высоковольтных изоляторов в условиях эксплуатации;

4) разработанный комплексный метод обнаружения и регистрации вида, места расположения и роста наиболее опасных дефектов путем дистанционного измерения повышенных напряженностей электрического поля, локально расположенных на поверхностях ВИ, и набора характеристик частичных разрядов электромагнитным и акустическим датчиками;

5) сформулированные особенности дистанционного мониторинга частичных разрядов в высоковольтных изоляторах и выявление роли мощных частичных разрядов в ускорении процессов старения высоковольтных изоляторов.

7. Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы

К научной значимости результатов диссертации относится разработка физической модели особенностей появления и динамики развития мощных частичных разрядов, позволяющей определять характер дальнейшего развития наиболее опасных дефектов высоковольтных изоляторов и тем самым оценивать их техническое состояние.

Практическая значимость заключается в том, что:

- предложена и протестирована методология периодического диагностирования (мониторинга) с помощью разработанного набора характеристик частичных разрядов с использованием нескольких датчиков различной физической природы и последующей математической обработки результатов измерений, позволяющая более точно по сравнению с существующими методами оценивать текущее техническое состояние высоковольтных изоляторов;

- разработанная методика мониторинга технического состояния высоковольтных изоляторов на основе детектирования и последующего анализа характеристик мощных частичных разрядов может быть применена для диагностики других конструкционных и технологических элементов высоковольтной энергетики.

8. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

По теме диссертации опубликовано 75 печатных работ в журналах и сборниках, в том числе 11 статей в российских и зарубежных рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах SCOPUS или/и Web

of Science (и приравненных к изданиям, входящим в перечень ВАК), 12 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент на изобретение, 4 патента на полезную модель, 5 свидетельств на программы для ЭВМ, 1 монография, 39 работ в прочих рецензируемых изданиях и сборниках материалов конференций.

9. Соответствие полученных результатов поставленной цели и задачам

Полученные результаты соответствуют поставленной цели. Сформулированные задачи решены.

10. Замечания

1. В п.1.9 «Постановка задач исследования» непонятно, каким образом диагностирование способствует увеличению эксплуатационного ресурса ВИ.
2. В работе отсутствует статистика повреждаемости изоляторов. В актуальности неплохо было бы дать, иначе трудно обосновать необходимость данной работы.
3. В обзоре не указаны методы, которые используются в настоящее время.
4. В работе ни разу не упоминаются стеклянные изоляторы? Они запрещены в использовании или есть причина их не диагностировать?
5. На графиках ЧР, например, рис. 2.12 и далее, кроме электромагнитных и акустических сигналов целесообразно было бы привести сигнал напряжения промышленной частоты, которое воздействует на изолятор, для анализа процессов.
6. Стр. 53, рис. 1.11 «Проверка чувствительности, и работоспособности» – лишняя запятая, нужно «Проверка чувствительности и работоспособности».
7. Стр. 70, 3 строка снизу, написано «с.)» – лишняя точка, нужно «с)».
8. Стр. 97, 7 строка сверху; стр. 98, 7 строка снизу; стр 209, 2 и 11 строка снизу; стр 214, 7 строка сверху, и др. – аббревиатуру «ГОСТ» нельзя использовать без номера конкретного стандарта, либо надо писать «государственный стандарт».
9. Стр. 106 – «Диагностическими признаками, отличающими работоспособные ВИ от неработоспособных, нуждающихся в замене, являются следующие: возникновение ЧР с интенсивностью, значительно (в 2-3 раза) превышающей порог безопасности при номинальном рабочем напряжении.» В предложении не указаны величины порогов безопасности. Без этой величины невозможно судить о работоспособности или выходе из строя высоковольтных изоляторов.
10. Стр.118, 5 строка сверху «как показали предварительные расчеты» - почему бы не привести эти расчеты?
11. Стр. 181, 10 строка снизу «как это указано в патенте-прототипе» - отсутствует ссылка на этот патент.

12. Пункт 2, выводов к 4 главе: «Результатом является разработанная усовершенствованная модель описания особенностей параметров ЧР, учитывающая вклад в излучение ЧР помимо приложенного поля, так же и поля, индуцированного разрядами...» - Модель начинается с математического описания, и благодаря компьютерным технологиям, затем обычно рассчитываются и показывают с помощью специальных программных пакетов для полевых структур, типа ANSYS, FLEXPDE, ELCUT и др. Они, рассчитанные методом конечных элементов наглядно показывают разработанные модели как в статике, так и в динамике.

13. Аналогично предыдущему замечанию можно сказать относительно стримерной модели распространения импульсов МЧР.

14. На стр. 203 расстояние от датчиков до ФВИ составляло 6 м – это расстояние диагонали данной подстанции?

15. Стр. 220, Вывод 2, к 5 главе – «Разработан способ более точного измерения местоположения дефектных изоляторов путем сравнительной оценки времени распространения и расстояний между источниками акустического излучения от возникающих ЧР». С какой точностью можно определить дефект изолятора?

16. Стр. 221, Вывод 4, «Основные результаты и выводы» - «Разработан способ оценки влияния наиболее опасных дефектов на техническое состояние ВИ, их вида и места расположения по особенностям набора характеристик мощных ЧР с помощью измерительного комплекса». На каком максимальном расстоянии разработанный аппаратно-программный комплекс может определить дефект в изоляторе.

17. Во всех ли видах материалах фарфоровых и полимерных изоляторов может работать разработанный аппаратно-программный комплекс?

18. В диссертации не указан какой прибор разработан на основе исследований?

19. Список литературы. «131. Бельский А.В., Бусарев А.В., Галеев Д.В., Зарипов Д.К. многоканальный прибор для оперативной диагностики технического оборудования // Прикладная физика. 2010. №5. С. 108-113.» - Нужно «Многоканальный...»

20. Список литературы. «142. Tanmaneeprasert T., Lewin P.L. "Electrical treeing and ageing characteristics in cavities of low density polyethylene dielectrics on partial discharge measurements", Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) 2016 IEEE Conference on, pp. 975-» - не дописана последняя страница статьи.

21. Список литературы. «169. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2020666533 РФ. Моделирование импульса частичного разряда в мостовой схеме регистрации с учетом паразитных индуктивностей и емкостей: опуб (зарег.) 11.12.2020 / И. В. Комаров, К. И. Никитин, Д. И. и др. ОмГТУ.» - стоят инициалы Д. И., но фамилия опущена.

22. Отсутствуют акты внедрения в производстве. В приведенном акте внедрения в ПАО «Татнефть» нет подписи и отсутствует печать.

Приведенные замечания не снижают ценности основных результатов диссертации для науки и практики.

11. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа Д.А. Иванова отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (в редакции Постановлений Правительства РФ № 335 от 21.04.2016, № 1168 от 01.10.2018, № 426 от 20.03.2021).

По п.9. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных Ивановым Д.А. исследований разработаны комплексный метод дистанционного диагностирования высоковольтных изоляторов в процессе эксплуатации, повышающий достоверность в оценке технического состояния и прогнозирования эксплуатационного ресурса высоковольтных изоляторов; аппаратно-программный комплекс для совместного детектирования измерительных сигналов от электромагнитного, акустического, электрооптического датчиков с целью дистанционного периодического контроля технического состояния находящихся в эксплуатации высоковольтных изоляторов подстанций и линий электропередачи в автоматизированном дистанционном режиме на основе измерения характеристик частичных разрядов с выдачей необходимой информации о техническом состоянии высоковольтных изоляторов, а совокупность представленных результатов диссертационного исследования можно квалифицировать как решение важной научно-технической проблемы повышения надежности энергетического оборудования (подстанций и линий электропередачи) и уменьшения потерь электроэнергии.

По п.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности результатов и рекомендации по использованию научных выводов.

По п.11-13. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях: 23 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ или приравненных к ним (статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и SCOPUS), а также 10 объектах интеллектуальной собственности (патенты и свидетельства).

По п.14. Диссертация отвечает требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

12. Заключение

В целом результаты исследований и полученные выводы доказывают, что диссертационная работа направлена на решение важной научно-технической проблемы повышения надежности энергетического оборудования (подстанций и линий электропередачи) и уменьшения потерь электроэнергии. Высказанные выше замечания не опровергают ни научной, ни практической значимости исследования и не меняют общего положительного мнения о работе.

Диссертация Иванова Дмитрия Алексеевича «Методология и аппаратно-программный комплекс дистанционного диагностирования высоковольтных изоляторов в процессе эксплуатации на основе анализа характеристик частичных разрядов» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям «Положения о присуждении ученых степеней».

Считаю, что Д.А. Иванов заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Официальный оппонент – Заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», доцент, доктор технических наук по специальности 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы,

Никитин
Никитин
Константин
Иванович
22.02.23

Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет».

Юридический адрес: 644050, Сибирский федеральный округ, Омская область, г. Омск, пр. Мира, д. 11.

Телефон: +79503341230. **Эл. адрес:** nki@ngs.ru

Должность: Заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника», профессор.

Ф.И.О.: Никитин Константин Иванович

