

## ОТЗЫВ

Официального оппонента – доктора технических наук, профессора Ушакова Василия Яковлевича – на диссертацию Риделя Александра Викторовича «Исследование электрофизических процессов в жидкой электрической изоляции с микровключениями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 - «Техника высоких напряжений».

### **1. Актуальность проблемы.**

Одной из наиболее актуальных проблем в электроэнергетике является снижение аварийности парка высоковольтного маслонаполненного оборудования (ВМО). Аварии на объектах энергетики сопровождаются тяжелыми экономическими, экологическими и социальными последствиями. С увеличением срока эксплуатации ВМО необходимость в его диагностике существенно возрастает. Наиболее информативными диагностическими методами являются измерение характеристик частичных разрядов (ЧР) и хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ). Наиболее опасными дефектами в оборудовании являются пузырьки газа и влага. Поэтому работа Риделя А.В., посвященная изучению поведения пузырьков и капель в сильном переменном электрическом поле, является актуальной.

### **2. Новизна исследований и полученных результатов:**

1) Обнаружено отклонение от закона Пашена в лабораторных условиях при регистрации ЧР в газовых пузырьках.

2) Экспериментально установлено постоянство коэффициента поверхностного натяжения трансформаторного масла при напряженностях электрического поля до 4 кВ/мм.

3) Экспериментально зарегистрировано образование водяного мостика между электродами при длительной деформации водяной капли.

4) Обнаружены и исследованы 3 случая формирования условий для развития разрядных каналов в трансформаторном масле при низких значениях средней напряженности электрического поля.

Новизна и актуальность исследований определяется наличием публикаций в высоко индексируемых журналах, а также участием диссертанта в многочисленных научных мероприятиях.

### **3. Практическая значимость.**

Практическая значимость выполненных исследований обусловлена тем, что их результаты открывают новые возможности для повышения надежности работы высоковольтного маслонаполненного оборудования за счет улучшения качества диагностики его состояния:

- 1) определенные в экспериментах коэффициенты диффузии позволяют оценить срок сохранности проб масла, что чрезвычайно важно для информативности метода ХАРГ;



- 2) показано, что при электрической регистрации ЧР необходимо использовать внешние источники ионизации для обеспечения большей точности выявления дефектов.

#### **4. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций.**

Научные выводы, положения, выносимые на защиту, а так же рекомендации по их практическому использованию основаны на большом объеме фактического материала, полученного в тщательно выполненных экспериментах. К таким материалам следует отнести следующие.

- 1) Уточнен и апробирован новый метод определения коэффициентов диффузии. Определены коэффициенты диффузии основных диагностических газов в рапсовом и трансформаторном маслах.

- 2) Экспериментально определены газы, образующиеся в результате разрядных процессов в рапсовом масле. Найдены значения коэффициента газообразования вследствие развития ЧР для рапсового масла и уточнены значения коэффициента для трансформаторного масла.

- 3) Экспериментально исследована электрическая прочность трансформаторного масла при добавлении в него нанотрубок Tuball. Обнаружены интенсивные электрогидродинамические течения в однородном электрическом поле даже при крайне низких их концентрациях.

- 4) Прослежена деформация пузырьков воздуха и капель воды в трансформаторном масле под действием переменного напряжения. Экспериментально доказано, что степень деформации пропорциональна размеру пузырька, что указывает на постоянство значения коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$ .

- 5) Оптически зарегистрированы ЧР, развивающиеся в свободно плавающих пузырьках в трансформаторном масле под действием переменного напряжения. Выявлено несоответствие закону Пашена напряжения зажигания ЧР в пузырьке в условиях хорошей изолированности разрядной ячейки от естественных источников ионизирующих излучений.

- 6) Оптически зарегистрированы 3 механизма зарождения разрядных каналов в трансформаторном масле при аномально низких напряженностях электрического поля.

Основные выводы и результаты работы тщательно проанализированы, теоретически обоснованы, подтверждены согласием с результатами, ранее опубликованными в научной литературе.

Результаты исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях, по результатам работы опубликовано большое количество печатных работ. В составе научного коллектива диссертант участвовал в проведении исследований при финансировании РФФИ и РНФ.



## **5. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям.**

Диссертационная работа А.В. Риделя в полном объеме отвечает критериям, которые установлены «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а именно:

5.1. Сформулированная диссертантом цель работы – выявление факторов, определяющих электрическую прочность жидкой электрической изоляции с микровключениями для повышения достоверности диагностики состояния ВМО – достигнута.

5.2. Автореферат диссертации Риделя А.В. соответствует диссертационной работе по всем квалификационным признакам: по цели и задачам исследования; по основным положениям, выносимым на защиту; по определению актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и др.

5.3. Основные выводы и результаты диссертационной работы соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором логично.

5.4. Научные публикации Риделя А.В. достаточно полно отражают основные результаты и выводы, изложенные в диссертации.

5.5. Тема и содержание диссертации А.В. Риделя соответствуют паспорту научной специальности 05.14.12 – «Техника высоких напряжений», а именно пунктам:

п.1 – «Исследование физических закономерностей и разработка методов расчета электрических разрядов в условиях, характерных для электроустановок высокого напряжения (молнии и другие атмосферные явления)»;

п.3 – «Разработка методов расчета электрических и магнитных полей, исследование закономерностей воздействия сильных электрических и магнитных полей на диспергированные и другие материалы и изделия».

## **6. Анализ содержания диссертации.**

Диссертация Риделя А.В. состоит из введения, шести глав, заключения и приложения. Полный объем работы составляет 136 страниц, включая 13 таблиц и 73 рисунка. Список литературы содержит 160 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи, обозначен метод исследования, изложены сведения о научной новизне и практической значимости, приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе выполнен** анализ литературных источников, выявлены сильные и слабые стороны проведенных ранее работ. Сформулированы проблемы, требующие более подробных исследований.

**Во второй главе** описаны экспериментальная установка и методика проведения исследований по определению коэффициентов диффузии основных



диагностических газов. Выявлены факторы, влияющие на динамику растворения пузырька газа в трансформаторном масле. Представлены результаты апробации методики экспериментального определения коэффициентов диффузии путем растворения пузырьков газа в жидкости.

**В третьей главе** описаны экспериментальная установка и методика исследований по определению коэффициентов газообразования при ЧР. Выявлены принципиальные технические ошибки предыдущих исследователей и скорректированы значения коэффициентов газообразования в трансформаторном масле. Впервые определены коэффициенты газообразования при ЧР в рапсовом масле.

**В четвертой главе** приведены описание экспериментальной установки и методика проведения исследований по оптической и электрической регистрации электрофизических процессов в трансформаторном масле, содержащем графеновые нанотрубки Tuball, и результаты этих исследований.

**В пятой главе** представлены результаты исследования поведения газовых пузырьков и водяных капель в трансформаторном масле и описаны экспериментальная установка и методика проведения исследований.

**Шестая глава посвящена** определению характеристик ЧР в газовых пузырьках в трансформаторном масле. Выявлен ряд ранее неизвестных явлений и закономерностей.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**В приложении А** представлен акт внедрения результатов диссертационной работы.

**Автореферат** соответствует содержанию диссертации и полностью отражает основные научные и прикладные результаты диссертационного исследования.

Автореферат и текст диссертации хорошо структурированы, логично изложены и обладают внутренним единством. По объему, структуре и оформлению диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

## **7. Замечания по диссертационной работе.**

1. В диссертации не достаточно проработан вопрос адаптации полученных результатов к реальным условиям работы маслонеполненного оборудования. Для выявления тонких механизмов протекающих в маслонеполненном оборудовании процессов, исследования выполнены в несколько идеализированных условиях: а) использован гелий (в трансформаторном масле образуются преимущественно водород и углеводороды), б) использовано рентгеновское излучение для имитации воздействия космического и Земного излучения, в) эксперименты выполнены в условиях, которые отличаются от условий, в которых эксплуатируется



высоковольтное оборудование (лаборатория заглублена в землю и тщательно заэкранирована, применены тщательно выполненные заземляющие контуры).

2. При анализе результатов работ предшественников и при обращении к ним при обсуждении результатов собственных исследований недостаточно внимания уделено работам советских/российских ученых. Многие из этих работ могут быть отнесены к пионерским.

3. В рукописи много стилистических неточностей, синтаксических и пунктуационных ошибок.

#### **8. Общее заключение.**

Представленная диссертационная работа Риделя Александра Викторовича «Исследование электрофизических процессов в жидкой электрической изоляции с микровключениями» является самостоятельной, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. Задачи, решаемые в работе, объединены общей оригинальной научной идеей. Диссертация отвечает требованиям и критериям п.п. 9-14 действующего Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018) «О порядке присуждения ученых степеней», которым должна соответствовать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Содержание диссертации соответствует заявленной цели и поставленным задачам и детально отражает последовательность их решения. Основные научные результаты подробно изложены в публикациях из списка ВАК, а также индексированных в международных базах цитирования.

Указанные в п. 7 замечания не снижают общей положительной оценки работы и не подвергают сомнению достоверность, обоснованность и новизну полученных и представленных в диссертации результатов.

Автор диссертации, Ридель Александр Викторович, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.14.12 - «Техника ~~высоких~~ напряжений».

Официальный оппонент,  
профессор Инженерной школы энергетики  
Национального исследовательского Томского  
политехнического университета», д.т.н.

Ушаков В.Я.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Юридический адрес: 634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30 Телефон: +7 (3822) 60-63-33; Эл. почта: tpu@tpu.ru

Отзыв

получен

11.06.2021 г.

С.А. / Оешинцев В.В. /

С отзывом ознакомлен 11.06.21

Ридель А.В. Ридель