

## Отзыв

официального оппонента о диссертации Риделя Александра Викторовича «Исследование электрофизических процессов в жидкой электрической изоляции с микровключениями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – «техника высоких напряжений»

### 1. Актуальность темы исследования

Электрический пробой масляной изоляции в течение многих десятилетий остаётся серьёзной и не полностью решённой проблемой при эксплуатации высоковольтного маслонаполненного оборудования. Существующие мероприятия и методы оценки текущего состояния изоляции не обеспечивают безотказной работы оборудования даже в пределах гарантийных сроков эксплуатации. Поэтому научный поиск фундаментальных основ возникновения высоковольтного разряда в жидких диэлектриках остаётся актуальным и в настоящее время.

В диссертационной работе А.В. Риделя продемонстрирован комплексный подход к решению указанной выше проблемы, что делает её весьма оригинальной. Несмотря на многолетнюю историю исследования частичных разрядов (ЧР), удалось дополнить информацию о них новыми данными о коэффициентах газообразования, об особенностях инициирования при помощи нанотрубок и возникновения ЧР в свободных газовых пузырьках. Обнаружена сложная динамика деформации капли воды в масле между высоковольтными электродами в переменном поле. Выявлено отклонение закона Пашена в свободных пузырьках и особенности изменения коэффициента поверхностного натяжения, а также влияние рентгеновского излучения на частоту появления ЧР. Особый интерес, с фундаментальной точки зрения, представляют результаты по развитию стримеров с пузырьков при аномально низких напряжённости электрического поля. Все эти результаты по праву обеспечивают диссертации научную новизну.

Исходя из вышесказанного, актуальность темы диссертационной работы А.В. Риделя не вызывает сомнений.

### 2. Общая характеристика диссертации

**Во введении** обосновывается актуальность проведённых в диссертации исследований, выбраны объект и предмет исследования. Сформулированы цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, указаны положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** автор рассматривает современное состояние исследований по тематике диссертационной работы.

**Во второй главе** представлены результаты по определению коэффициентов диффузии основных диагностических газов в кремнийорганической жидкости, трансформаторном, рапсовом и касторовом маслах.

**В третьей главе** приведены результаты по определению коэффициентов газообразования при ЧР в электродной системе «острие–плоскость» в рапсовом и трансформаторном маслах.

**В четвертой главе** показаны результаты по оптической и электрической регистрации электрофизических процессов в трансформаторном масле, содержащем графеновые нанотрубки Tuball.

**В пятой главе** продемонстрированы результаты исследования характерного поведения газовых пузырьков и водяных капель в трансформаторном масле.

**В шестой главе** приведены результаты исследования характеристик ЧР в газовых пузырьках в трансформаторном масле.

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

**В приложении** представлен акт о внедрении результатов диссертационной работы.

### **3. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений**

Материалы диссертации и автореферата соответствуют пунктам 1 и 3 области исследования паспорта научной специальности 05.14.12 по техническим наукам.

### **4. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

### **5. Методы исследования**

В диссертационной работе применялись экспериментальные методы исследования электрофизических процессов.

### **6. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов**

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов определяется строгой теоретической аргументацией выбора направления исследования, применением экспериментальных методов исследования в рассматриваемой области. Результаты работы многократно подтверждались докладами и обсуждением на международных научно-технических конференциях и семинарах. В связи с вышеизложенным следует считать степень достоверности и обоснованности высокой.

### **7. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций**

К научной новизне относятся следующие результаты:

1) выявлено несоответствие реальной картины развития частичного разряда в газовом пузырьке закону Пашена;

2) оптически зарегистрирован пробой трансформаторного масла, вызванный стримером, развивающимся с границ пузырька гелия;

3) показано, что капли воды в трансформаторном масле под действием электрического поля подвергаются различным видам деформации. В некоторых случаях удлинение капли может привести к образованию водяной перемычки между электродами;

4) по оптически зарегистрированным деформациям пузырьков воздуха различного диаметра при различных значениях напряженности электрического поля определен коэффициент поверхностного натяжения трансформаторного масла. Выявлено, что при напряженности электрического поля от 0 до 4 кВ/мм коэффициент поверхностного натяжения трансформаторного масла не изменяется.

#### **8. Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы**

Практическая ценность работы заключается в возможности использования определенных коэффициентов диффузии основных диагностических газов при проведении оценки состояния ВМЭО методом хроматографического анализа растворенных газов.

Выявлено, что использование внешних источников ионизирующего излучения при проведении диагностических мероприятий позволит повысить вероятность обнаружения пузырьков газа в высоковольтном маслонаполненном электрооборудовании.

#### **9. Личный вклад автора**

Работа выполнена с использованием современного оборудования. Материалы диссертации ясно демонстрируют большой объем выполненных экспериментальных работ, понимание соискателем необходимости использования описанных методов и подходов, что не вызывает сомнения по поводу его личного вклада.

#### **10. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати**

По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для соискателей ученых степеней, 8 работ индексируются в наукометрических базах Scopus / Web of Science. Получено 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

#### **11. Соответствие полученных результатов поставленной цели и задачам**

Полученные результаты соответствуют поставленной цели. Сформулированные задачи решены.

#### **12. Замечания**

Во-первых, на кинограммах отсутствуют масштаб и метки времени по которым можно наглядно получить представление о размерах пузырьков и капель, а также о динамике процесса. Не всегда используется научная терминология, например, напряжение подается на ячейку не толчком (см. автореферат, стр. 17), а в виде импульса.

Во-вторых, нет научного обоснования выбора наноматериала ТУБАЛЛ, для изучения его влияния на электрическую прочность трансформаторного масла. «Наличие производства нанотрубок в Новосибирске» и «выявленные перспективы применения в разных областях» (см. диссертацию, стр. 70) не могут быть основаниями для начала научного исследования.

В-третьих, обнаружение интенсивных гидродинамических течений в однородном поле не является основным результатом, который можно поместить в заключение диссертации. С одной стороны сам автор работы пытается объяснить течения наличием усиления электрического поля на концах

нанотрубок, т.е. существенной неоднородностью, с другой стороны в заключении внимание акцентируется именно на однородности поля.

В-четвёртых, предположение о диспергировании агломераций графеновых нанотрубок ударной волной от пробоя (см. диссертацию, стр. 79) должно быть более аккуратным. Корректнее говорить о процессах, сопутствующих прохождению ударной волны в кювете, например, кавитации, сопровождающейся образованием ударных микроструй при схлопывании кавитационных пузырьков.

### 13. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа А.В. Риделя отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

### 14. Заключение

Считаю, что в целом работа выполнена на высоком профессиональном уровне и **отвечает требованиям ВАК** к кандидатским диссертациям, а её автор – Ридель Александр Викторович – **заслуживает присуждения степени** кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Кандидат технических наук, научный сотрудник  
лаборатории динамики гетерогенных систем  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки «Институт гидродинамики  
им. Лаврентьева Сибирского отделения  
Российской академии наук»

Дрожжин Алексей Петрович

подпись Фрожиной С.П. Риделю  
ведущий специалист по  
11.06.2021

Кушнарёва О.С.

С отзывом ознакомлен 11.06.2021

Ридель А.В. Ридель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук»  
Юридический адрес: 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15; Телефон: (383) 333-16-12;  
Эл. Почта: igil@hydro.nsc.ru

Отзыв получен 11.06.2021 Проф. Осинцев В.В. /