

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
99.1.087.02., созданного на базе Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева  
Уральского Отделения Российской Академии наук (ИФМ УрО РАН) и  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
машиноведения Уральского отделения Российской академии наук им. Э.С.  
Горкунова (ИМАШ УрО РАН), по диссертации на соискание учёной степени  
кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «15» июня 2023 г. № 3 \_\_\_\_  
о присуждении Мусихину Алексею Сергеевичу, гражданину Российской  
Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Электроискровой контроль сплошности и недопустимых  
утонений диэлектрических покрытий» по специальности 2.5.9. «Методы и  
приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной  
среды» принята к защите 12 апреля 2023 г., протокол заседания  
диссертационного совета № 2, объединенным диссертационным советом  
99.1.087.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева  
Уральского Отделения Российской Академии наук (ИФМ УрО РАН) и  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской  
академии наук (ИМАШ УрО РАН), Министерство науки и высшего  
образования Российской Федерации, 620108, г. Екатеринбург, ул. С.  
Ковалевской, д. 18, 620049, г. Екатеринбург, Комсомольская ул., д. 34, приказ  
Минобрнауки РФ №851/нк от 12.07.2022.

**Соискатель** Мусихин Алексей Сергеевич, 05.01.1994 года рождения, в  
2017 г. окончил «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)» с присуждением степени

магистра по направлению подготовки 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

В 2017 году поступил на работу в ООО «КОНСТАНТА» на должность инженера.

Соискатель Мусихин Алексей Сергеевич окончил аспирантуру ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в 2022 году по направлению 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии», направленность «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», сдал кандидатский экзамен по специальной дисциплине 2.5.9. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретическая и прикладная метрология» в ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

**Научный руководитель** - доктор технических наук, Литвинов Борис Яковлевич, доцент, главный научный сотрудник, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная метрология» Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», г. Санкт-Петербург.

**Официальные оппоненты:**

- Назарычев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заместитель проректора по подготовке научных кадров Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», профессор кафедры «Электроэнергетики и электромеханики», г. Санкт-Петербург,

- Титков Василий Васильевич, доктор технических наук, профессор «Высшей школы высоковольтной энергетики» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург,

дали положительные отзывы на диссертацию Мусихина А.С.

**Ведущая организация** – Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»). В заключении, подписанном главным научным сотрудником отдела технических обследований центра технологии строительства, обследования зданий и сооружений трубопроводного транспорта ООО «НИИ Транснефть» доктором технических наук Могильнером Леонидом Юрьевичем и утвержденном генеральным директором доктором технических наук Негановым Дмитрием Александровичем, указано, что диссертация содержит новые научные результаты и представляет собой самостоятельную завершенную научно-квалификационную работу, в которой получены научно обоснованные технические решения, направленные на повышение достоверности выявления дефектов антикоррозионных покрытий из неэлектропроводящих материалов. Диссертация соответствует требованиям пунктов 9-11,13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Мусихин А.С. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.9 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды». Отзыв и диссертация рассмотрены на расширенном заседании отдела технических обследований Центра технологии строительства, обследования зданий и сооружений трубопроводного транспорта ООО «НИИ Транснефть», с участием членов секции «Строительство и мониторинг объектов магистрального трубопроводного транспорта» Ученого совета ООО «НИИ Транснефть», деятельность которых соответствует теме диссертации. Дата проведения заседания 05 мая 2023 г., протокол № 05/01.

**Соискатель** имеет семь опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано три работы, две из них

в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (Web of Science и Scopus).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Сясько, В.А. Совершенствование электроискрового метода неразрушающего контроля / В.А. Сясько, С.С. Голубев, А.С. Мусихин // Контроль. Диагностика. – 2019. – № 12. – С. 4-14.

Личный вклад соискателя: показано, что создание сильнонеоднородных электрических полей в системе «электрод – диэлектрическое покрытие – металлическое основание» в процессе испытаний сплошности покрытий позволило расширить диапазон толщин контролируемых покрытий до диапазона 50 мкм ÷ 25 мм.

2. Сясько, В.А. Электроискровой контроль толщины диэлектрических покрытий / В.А. Сясько, С.С. Голубев, А.С. Мусихин // Контроль. Диагностика. – 2020. – № 9. – С. 12-17.

Личный вклад соискателя: получены теоретические и экспериментальные зависимости величины испытательного напряжения метода от параметров диэлектрического покрытия при проведении допускового контроля его толщины для сильнонеоднородных электрических полей.

3. Сясько, В.А. Комплексный электроискровой контроль сплошности и недопустимых утонений диэлектрических покрытий / В.А. Сясько, Б.Я. Литвинов, А.С. Мусихин // Дефектоскопия. – 2022. – №9. – С. 49-55.

Личный вклад соискателя: предложено применение вероятностного подхода для получения информации о нахождении в покрытии сквозных дефектов или недопустимых утонений и показано, что при известном значении электрической прочности покрытия, можно с расчетной вероятностью обнаружить как сквозные, так и несквозные дефекты покрытий при заданном испытательном напряжении.

4. Syasko, V.A. High voltage testing of functional dielectric coatings with thickness from 25  $\mu\text{m}$  and more / V.A. Syasko, A.S. Musikhin // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – №1636(1). DOI:10.1088/1742-6596/1636/1/012008

Личный вклад соискателя: установлены теоретические и экспериментальные зависимости электрической прочности сквозных цилиндрических дефектов от параметров покрытий и воздушной среды в однородных и сильнонеоднородных электрических полях.

5. Syasko. V.A. The high voltages spark testing method for protective and functional dielectric coatings on a conductive substrate. Increasing sensitivity and results reliability / V.A. Syasko, A.S. Musikhin // Proceedings of 58th Annual Conference of the British Institute of Non-Destructive Testing, NDT. – 2019. – №58. – pp. 265-274.

Личный вклад соискателя: установлена и обоснована необходимость учета полярности испытательного напряжения при проведении контроля в зависимости от неоднородности формируемого электрического поля и толщины покрытия.

В диссертации Мусихина А.С. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы из шести организаций (все отзывы положительные)**. В отзывах отмечена актуальность темы, степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, дана положительная оценка проведенных исследований.

1. ООО «Энерган» (подписал технический директор, кандидат технических наук **Андрей Анатольевич Пугачев**).

- Замечание по работе: представляется целесообразным в тексте автореферата более подробно описать приборную реализацию предлагаемых конструктивных принципов создания оборудования, привести сравнительный анализ технических характеристик существующего и разработанного оборудования.

- Замечание по работе: в тексте автореферата присутствуют рисунки с подписями мелким шрифтом, усложняющие восприятие автореферата.

Оценка работы положительная.

2. ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (подписал руководитель научно-образовательного центра по неразрушающему контролю, доктор технических наук, профессор **Дымкин Григорий Яковлевич**)

Замечания в отзыве на автореферат отсутствуют.

Оценка работы положительная.

3. ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (и.о. заведующего кафедрой «Физики, методов контроля и диагностики» кандидат технических наук, доцент **Муратов Камиль Рахимчанович**)

- Замечание по работе: отмечено отсутствие актов внедрения результатов работы на предприятиях-потребителях электроискровых дефектоскопов.

Оценка работы положительная.

4. АО «НИИИИН МНПО «СПЕКТР» (подписал заместитель генерального директора по науке и инновациям доктор технических наук **Ефимов Алексей Геннадьевич**)

- Замечание по работе: автор в диссертации и автореферате при обсуждении методики выявления недопустимых утонений электроискровым методом приводит данные эксперимента с достаточно большим разбросом значений пробивного напряжения покрытия в зависимости от его толщины. При этом в работе не приводятся данные о методике изготовления экспериментальных образцов. Большой разброс значений может быть обусловлен наличием в исследуемых покрытиях несквозных дефектов (пор, включений), снижающих их электрическую прочность и влияющих на результат эксперимента.

- Замечание по работе: при описании исследуемых объектов контроля автор приводит обобщённую классификацию дефектов покрытий, которые могут быть выявлены электроискровым методом неразрушающего контроля: электроискровой метод может выявлять трещины, кратеры, инородные включения, недопустимые утонения, поры и т. д. Однако, при исследовании процесса выявления сквозных дефектов покрытий, все экспериментальные результаты в работе получены для цилиндрических отверстий. При

этом выбор вида дефекта никак не аргументируется, из чего становится непонятно справедливы ли экспериментальные результаты для сквозных дефектов других видов?

- Замечание по работе: в тексте автореферата на стр. 12 присутствует опечатка в слове «приведенной».

Оценка работы положительная.

5. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)» (подписал профессор кафедры ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», доктор технических наук, профессор **Артемьев Борис Викторович**).

- Замечание по работе: из автореферата трудно понять, по какой причине электроискровой контроль покрытий толщиной от 50 мкм до 1 мм в настоящее время ограничен.

- Замечание по работе: из автореферата следует, что автор в работе предлагает определять электрическую прочность диэлектрических покрытий в том числе расчетным путем, однако непосредственный расчет произведен только для покрытия Parylene-N, при этом для образцов покрытий, электрическая прочность которых определялась экспериментально расчёт электрической прочности не проводился.

Оценка работы положительная.

6. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (подписал профессор факультета систем управления и робототехники Университета ИТМО, доктор технических наук, профессор **Прохорович Владимир Евгеньевич**)

- Замечание по работе: отсутствует ссылка на конкретную программную систему конечно-элементного анализа с использованием которой были построены конечно-элементные модели электродов, формирующих квазиоднородное и резконеоднородное электрические поля в сквозном дефекте покрытия;

- Замечание по работе: корректность записи нижней границы интегрирования «- $\infty$ » в формуле для нормальной функции распределения вероятностей на стр.19.

Оценка работы положительная.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их высокой компетентностью в вопросах по теме диссертационной работы и широкой известностью своими достижениями в соответствующей отрасли наук, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** новые подходы к применению электроискрового контроля диэлектрических покрытий с использованием сильнонеоднородных электрических полей, формируемых с учетом геометрических и электрических параметров покрытий и оснований, а также климатических условий;

**предложены** расчетные модели процессов формирования сильнонеоднородных электрических полей в межэлектродных промежутках и электрического пробоя участков диэлектрического покрытия с типовыми сквозными и несквозными дефектами;

**доказана** возможность использования электроискрового метода неразрушающего контроля для выявления сквозных дефектов в расширенном диапазоне толщин покрытий (от 50 до 500 мкм) и недопустимых утонений без нарушения сплошности бездефектных участков при формировании в процессе контроля сильнонеоднородных электрических полей с использованием предложенной методики выбора контрольного напряжения;

**введен** новый для электроискрового метода информационный параметр «вероятность выявления недопустимого утонения заданной толщины», используемый при выборе контрольного напряжения, обеспечивающего выявление недопустимых утонений с требуемой достоверностью.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**Проведено** численное моделирование напряженности электрического поля в контролируемой области покрытия при проведении электроискрового



контроля электродами различной конструкции, что позволяет оптимизировать конструкции контролирующих электродов.

**Получены** расчетные и экспериментальные зависимости электрической прочности покрытий, позволяющие выявлять в покрытиях новые виды дефектов.

**Впервые показано** положение о том, что формирование сильнонеоднородного электрического поля в процессе электроискрового контроля, а также приложение к контролируемому покрытию напряжения положительной полярности позволяют понизить пробивное напряжение, выявляющее сквозные дефекты диэлектрических покрытий в широком диапазоне их толщин;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** положения физических принципов возникновения искрового разряда в газах и твердых телах, а также методы численного моделирования электрических полей и расчета пробивных напряжений межэлектродных промежутков с различными геометрическими и электрическими параметрами;

**показаны** недостатки применяемых до настоящего времени методик расчёта контрольного напряжения в области толщин покрытий от 50 до 500 мкм, существенно ограничивающие возможности электроискрового контроля;

**изучены** факторы, определяющие информативность и достоверность электроискрового контроля, и их связь с расчётными параметрами электрических полей и контрольных напряжений при моделировании;

**описаны** новые численные методы расчета контрольных напряжений в диапазоне толщин контролируемых покрытий от 50 мкм до 25 мм.

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

**разработана и внедрена** новая методика проведения электроискрового контроля диэлектрических покрытий и новые конструктивные элементы электродных узлов, которые позволяют выявлять сквозные дефекты в

покрытиях, имеющих электрическую прочность, близкую к электрической прочности воздуха;

**определены** пределы толщины и ограничения номенклатуры диэлектрических покрытий, для которых может быть применена методика расчета пробивных напряжений сквозных и несквозных дефектов диэлектрических покрытий;

**создана** система практических рекомендаций к конструкции электродов и устройствам генерации контрольного напряжения для проектирования электроискровых дефектоскопов, позволяющих создавать импульсное контрольное напряжение и формировать в контролируемой области сильнонеоднородное электрическое поле;

**представлена** методика, позволяющая производить допусковый контроль толщины покрытий на основе результатов измерения и расчета их электрической прочности.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** показана воспроизводимость результатов измерения пробивного напряжения различных покрытий и воздушных промежутков. Показано, что экспериментальные результаты, представленные в диссертационной работе, не противоречат данным других исследователей и базируются на обоснованных физико-математических моделях формирования разрядных процессов в газе и твердом теле;

**теория** построена на основе полученных, достоверных и проверенных экспериментальных данных, которые не противоречат литературным данным, опубликованным в открытой печати;

**идея базируется** на анализе положений физики искрового разряда в газе и твердом теле, выделении информативных, влияющих и мешающих параметров на процесс электроискрового контроля;

**использованы** данные, опубликованные ранее по рассматриваемой тематике, а также результаты исследований алгоритмов расчётного определения электрической прочности межэлектродных промежутков;

**установлена** корректность результатов исследований и адекватность характеристик разработанного оборудования для электроискровой дефектоскопии, что подтверждается апробацией на научных конференциях высокого уровня, наличием публикаций в авторитетных научных журналах, внедрением результатов работы в оборудование по контролю сплошности лакокрасочных покрытий, поставляемых ООО «КОНСТАНТА»; как в Россию, так и за рубеж;

**использованы** современные методики измерений пробивного напряжения покрытий с использованием поверенного и аттестованного оборудования, методы обработки результатов измерений, методы расчета электрической прочности диэлектриков, методы численного моделирования параметров электрических полей.

**Личный вклад соискателя состоит в** проведении теоретического анализа процессов искрообразования в воздухе и твердом теле диэлектрических покрытий, проведении экспериментов и интерпретации их результатов (оценке метрологических характеристик). Автором было выявлено влияние неоднородности и полярности электрического поля в межэлектродном промежутке на пробивное напряжение сквозных дефектов покрытия, предложены общие конструктивные принципы создания контролирующих электродов для электроискровых дефектоскопов. Автором была разработана методика экспериментальной оценки вероятности обнаружения дефекта в покрытии известной толщиной при заданном испытательном напряжении на основании стандартного образца.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Мусихин А.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

Диссертационный совет отмечает, что результаты исследования **использованы** в деятельности ООО «КОНСТАНТА» по разработке оборудования электроискрового контроля и методик выявления несплошностей и недопустимых утонений в диэлектрических покрытиях.

Также результаты исследования могут быть использованы для повышения достоверности результатов контроля электроискровым методом путем подавления влияния частичных разрядов на результат контроля.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация Мусихина Алексея Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (в редакции Постановлений Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 № 1168, от 26.01.2023 № 101), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, в которой решена актуальная научно-техническая задача по расширению диапазона толщин покрытий, доступных для контроля электроискровым методом, увеличению количества типов дефектов выявляемых в процессе контроля путем совершенствования методических принципов электроискрового метода, разработки моделей процессов контроля, а также оптимизации конструктивных решений и режимов работы оборудования.

На заседании 15 июня 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Мусихину А.С. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования объединенный диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 13 членов совета по специальности рассматриваемой диссертации (2.5.9), участвовали в заседании 12\_\_ человек, проголосовали: за – \_12\_, против – \_0\_, недействительных бюллетеней – \_0\_.

Председатель  
диссертационного совета



 Ринкевич Анатолий Брониславович

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
19.06.2023 г.



 Васilenko Ольга Николаевна