



“УТВЕРЖДАЮ”

Генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «ИНТРОН ПЛЮС» (ООО «ИНТРОН ПЛЮС»)

Д.В. Сухоруков

23 04 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Васильева Александра Сергеевича «Метрологическое обеспечение измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

На основании поступившей диссертации, а также заседания экспертного совета ООО «ИНТРОН ПЛЮС» по рассмотрению диссертация Васильева А.С. (протокол № 3 от 3.04.25), сделаны следующие заключения и выводы.

Актуальность для науки и практики

Диссертационная работа посвящена метрологическому обеспечению измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа. Для этого разработана и внедрена методика измерений, разработаны 22 новых типа стандартных образцов поверхностной плотности двухслойных однокомпонентных металлических покрытий и поверхностной плотности и массовой доли элементов двухкомпонентных однослойных металлических покрытий, обеспечивающие относительные погрешности аттестованных значений поверхностной плотности покрытий и массовой доли элементов в покрытиях. Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений. Работа обусловлена нарастающей потребностью в метрологическом обеспечении измерений параметров многослойных и многокомпонентных покрытий, в частности, разработки оптимальной номенклатуры стандартных образцов для обеспечения потребностей промышленности. Современный взгляд на воспроизведение и передачу единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях от Государственного первичного эталона единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях ГЭТ 168-2015, несомненно, вызывает интерес специалистов в данной области науки. Разработанные автором физико-математические модели измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных многокомпонентных покрытиях позволяют измерять параметры металлических покрытий с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа и оценивать неопределенность полученных значений. Таким образом, результаты исследований, полученные Васильевым А.С., создают существенный потенциал для развития методической базы в области измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных многокомпонентных покрытия, востребованной в электротехнической, металлургической, авиастроительной и других отраслях промышленности.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из четырех глав, введения, заключения, списка литературы, включающего 111 источников. Общий объем работы составляет 248 страниц и включает 175 таблиц и 49 рисунков. Представленные материалы в полной мере характеризуют результаты исследования. Порядок изложения материала логичен и последователен, применяемая терминология, в основном, соответствует общепринятой. Объем рассмотренных литературных источников демонстрирует необходимую глубину анализа

рассматриваемой научной проблемы. При использовании результатов работ других авторов в тексте диссертации приведены соответствующие ссылки и цитирования. Автореферат диссертации соответствует содержанию исследования, его теоретической и экспериментальной составляющей по основным научным положениям.

Степень обоснованности и достоверности научных результатов

Обоснованность научных положений и выводов, а также достоверность результатов исследования, подтверждается корректным применением методов математического моделирования, выводом уравнений из базовых уравнений рентгенофлуоресцентного анализа, а также подтверждением степени эквивалентности Государственного первичного эталона ГЭТ 168, реализующего разработанную методику измерений, эталонам национальных метрологических институтов других государств в рамках международных пилотных и дополнительных сличений, положительным заключением экспертизы разработанных стандартных образцов, публикациями результатов измерений в ведущих научных рецензируемых изданиях и их апробации на международных научных конференциях.

Новизна основных научных результатов и их значимость для науки и производства

Основные результаты, полученные автором:

- разработана физико-математическая модель измерений поверхностной плотности многослойных однокомпонентных металлических покрытий, основанная на принципе послойного измерения поверхностной плотности каждого слоя покрытия с учетом поправки на ослабление интенсивности излучения верхними слоями покрытия по закону Бугера-Ламберта-Бера;

- разработана физико-математическая модель измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных металлических покрытий на основе учета массовой доли и интенсивности рентгенофлуоресцентного излучения эталонов сравнения (коэффициентов чувствительности);

- обоснованы и установлены метрологические характеристики 22 типов стандартных образцов поверхностной плотности двухслойных однокомпонентных металлических покрытий и поверхностной плотности и массовой доли элементов двухкомпонентных однослойных металлических покрытий с учетом их неоднородности и неоднородности эталонов сравнения, обеспечивающие относительные погрешности аттестованных значений поверхностной плотности покрытий и массовой доли элементов в покрытиях, сопоставимые с относительными расширенными неопределенностями для стандартных образцов, выпускаемых Национальными метрологическими институтами других государств;

- доказана эквивалентность ГЭТ 168, реализующего разработанную методику измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных многокомпонентных металлических покрытиях с применением рентгенофлуоресцентного анализа, национальным эталонам Национальных метрологических институтов других государств посредством проведения международных пилотных сличений в области определения молярной доли платины в покрытии платина-никель на кремнии CCQM-P229 и дополнительных сличений по измерению толщины никелевого покрытия на стали COOMET.L-S16.

Научные результаты и выводы, сформулированные в диссертационной работе, внедрены в деятельность ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования

Полученные результаты и выводы могут быть рекомендованы к внедрению и использованию при испытаниях других типов стандартных образцов, выпускаемых на ГЭТ 168, и при разработке новых методик измерений в таких государственных научных метрологических институтах, как УНИИМ и ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест», а также в

организациях и лабораториях, имеющих аккредитацию по ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019, в том числе АО «НПО автоматики имени академика Н.А. Семихатова», ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», АО «Карачевский завод «Электродеталь», АО «ИФТП», ООО «Мелитэк-Тестинг», ООО «ПВП «СНК», ООО «СИНЕРКОН», ООО «РИП» и другие.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

По поставленным целям, задачам и содержанию исследований, а также полученным результатам, диссертационная работа Васильева А.С. соответствует паспорту специальности «2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение» по направлению 5 - Совершенствование системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры страны.

Полнота опубликованных результатов работ

Материалы диссертационного исследования опубликованы в 10 работах, в т.ч. 3 статей в рекомендованных ВАК ведущих рецензируемых журналах, 7 в сборниках трудов международных и российских конференций.

Личное участие автора в получении результатов диссертации

Автором самостоятельно проведен анализ состояния метрологического обеспечения, в том числе методов и средств измерений, нормативных документов и стандартов, в области измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных покрытиях с целью выбора оптимальных методических подходов при разработке номенклатуры стандартных образцов, разработаны физико-математические модели и методика измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях, проведены экспериментальные исследования с помощью разработанных эталонов сравнения для граничных условий и метрологических характеристик разработанной методики измерений, доказана эквивалентность ГЭТ 168, реализующего разработанную методику измерений, национальным эталонам других государств посредством участия в международных пилотных сличениях в рамках Консультативного комитета по количеству вещества – метрология в химии и биологии под эгидой Между-народного бюро мер и весов в области измерения молярной доли платины в покрытии платина-никель и в дополнительных сличениях в рамках КООМЕТ в области измерения толщины никелевого покрытия на стали. На основе проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований усовершенствована государственная поверочная схема для средств измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях в части многослойных и многокомпонентных покрытий. Автором разработаны и внедрены 17 типов стандартных образцов поверхностной плотности двухслойных однокомпонентных покрытий с применением разработанной методики измерений поверхностной, обеспечивающие передачу единицы поверхностной плотности покрытия в диапазоне (7-180) г/м² с относительной погрешностью $\pm 2,5$ % для верхнего слоя и $\pm 5,0$ % для нижнего слоя. Также автором разработаны и внедрены 5 типов стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных покрытий с применением разработанной методики измерений, обеспечивающие передачу единицы массовой доли элементов в покрытиях в диапазоне (1-100) % с относительной погрешностью $\pm (3-9)$ % и единицы поверхностной плотности покрытия в диапазоне (0,76-147) г/м² с относительной погрешностью $\pm 2,5$ %. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Общие замечания и рекомендации

1. В автореферате на стр. 16 для обозначения толщины материала в формуле (9) использовано обозначение h , а в тексте комментария фигурирует x , но x по тексту используется также для обозначения массовой доли элемента. Это вносит неоднозначность прочтения.

2. В главе 1 диссертации при сравнении достоинства и недостатков различных методов измерения поверхностной плотности и массовой доли элементов металлических покрытий относительно рентгенофлуоресцентного не указано возможное негативное воздействие излучения на персонал.
3. В главе 2 диссертации в параграфе 2.3 приводятся экспериментально полученные зависимости интенсивности пика никеля от поверхностной плотности покрытия для двух эталонов и различные варианты экспоненциальной аппроксимации этой зависимости. При этом непонятно, какую зависимость следует использовать и почему.

Заключение

Диссертационная работа Васильева Александра Сергеевича «Метрологическое обеспечение измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение», является завершенной работой, удовлетворяет критериям, установленным Положением по порядку присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, а её автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Заместитель генерального директора по
научной работе ООО «ИНТРОН ПЛЮС»



Д.А. Слесарев

Подпись заместителя генерального директора по научной работе ООО «ИНТРОН ПЛЮС», д.т.н. Слесарева Дмитрия Александровича заверяю



Генеральный директор
Сухоруков Д.В.

Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Общество с ограниченной ответственностью «ИНТРОН ПЛЮС»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ООО «ИНТРОН ПЛЮС»
Организационно-правовая форма	Общество с ограниченной ответственностью
Ведомственная принадлежность	-
Почтовый индекс, адрес организации	111524, ул. Электродная, д.11, стр.1, Москва
Веб-сайт	www.intron.ru
Телефон	+7 495 229-3747
Адрес электронной почты	info@intron.ru

Список основных публикаций сотрудников организации по теме диссертации за последние 5 лет

1. Возможности оценки и прогнозирования состояния металлополимерных трубопроводов в процессе эксплуатации на основе данных неразрушающего контроля — В. Ю. Волоховский, Ю. М. Петров, В. В. Сухоруков, А. Н. Воронцов, К. В. Мякушев // Журнал "Инженерная практика", №10, 2017, стр. 78-85.
2. Оценка метрологических параметров в магнитном неразрушающем контроле — В. В. Сухоруков // Журнал "В мире НК", Т.18, №4, 2015, стр. 65-70.
3. Вихретоковые проходные преобразователи для неразрушающего контроля замкнутых протяженных объектов — А. В. Семенов // Журнал "Контроль. Диагностика", № 10, том 25, 2022. стр. 4 – 11.
4. Мониторинг состояния технических устройств опасных производственных объектов в добывающей промышленности автоматизированными средствами неразрушающего контроля — И. И. Шпаков, Д. А. Слесарев, О. П. Потехин // Журнал "В мире НК", № 3, Т. 22 2019, стр. 9-11
5. Оперативная оценка технического состояния стальных канатов по данным магнитной дефектоскопии — А. Н. Воронцов, В. Ю. Волоховский // Журнал "Безопасность Труда в Промышленности", №3, 2023, стр. 62-67.
6. Стандартизация технологий неразрушающего контроля стальных канатов: Состояние и проблемы. — В. В. Сухоруков // Журнал "Территория NDT", №4, 2014, стр. 26-27.
7. Обработка и представление информации в MFL методе неразрушающего контроля — Д. А. Слесарев, А. А. Абакумов (мл.) // Журнал "Дефектоскопия", №9, 2013, стр. 3-9.
8. Математическое моделирование вихретокового неразрушающего контроля стрендовых канатов — А. В. Семенов, Д. А. Слесарев // Журнал "Контроль. Диагностика", №12, том 24, 2021, стр. 4-11.
9. Неразрушающий контроль стрендовых канатов больших диаметров — А. В. Семенов, Д. А. Слесарев // Журнал "Контроль. Диагностика", № 4, 2019. стр. 20 – 27.
10. Применение магнитной дефектоскопии для неразрушающего контроля грузонесущей брони геофизического кабеля — А. В. Анисимов, О. П. Потехин // Журнал "Безопасность труда в промышленности" (Республика Казахстан), № 3, 2020, стр. 8-10.
11. Магнитная дефектоскопия – эффективный инструмент мониторинга технического состояния проводов и грозотросов воздушных линий электропередачи — В. Ю. Волоховский, А. Н. Воронцов, Д. В. Сухоруков, А. Р. Рудяк // Журнал "Электрические станции", № 12, 2019, стр. 20-29.

12. Мониторинг технического состояния талевых канатов с применением магнитных дефектоскопов, как средство безопасной эксплуатации буровых установок — И. И. Шпаков, О. П. Потехин // Журнал "Бурение и нефть", №1, 2016, стр. 52-58.

13. Неразрушающий контроль предварительно напряженной арматуры железобетонных мостовых балок магнитным методом — А. В. Анисимов, К. В. Мякушев // Журнал "Безопасность в промышленности" (Республика Казахстан), №2, 2020, стр. 24-27.

14. Создание доступной технологии внутритрубной диагностики промысловых трубопроводов малого диаметра — А. А. Абакумов (мл.), Г. Л. Максимов, Ф. В. Носов, А. А. Шушаков // Журнал "Трубопроводный транспорт (теория и практика)", №2 (54), 2016, стр. 30-34

15. Метод магнитной дефектоскопии при экспертизе промышленной безопасности сварных резервуаров и сосудов, работающих под давлением — С. В. Антонычев // Журнал "Безопасность Труда в Промышленности", №5, 2013, стр. 53-56.

Генеральный директор



Д.В. Сухоруков