

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию Васильева Александра Сергеевича, выполненную на тему:
«Метрологическое обеспечение измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа»

В диссертационной работе Васильева А.С. представлены результаты разработки и исследования методики измерения поверхностной плотности и массовой доли элементов для многослойных многокомпонентных металлических покрытий с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), реализованного в Государственном первичном эталоне ГЭТ 168-2015, и внедрения методики при разработке востребованной номенклатуры стандартных образцов.

В диссертации поставлена задача по разработке на основе созданных математических моделей методики измерений и номенклатуры стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов в многокомпонентных и многослойных металлических покрытиях с прослеживаемостью к ГЭТ 168-2015 с различными сочетаниями покрытий и оснований для обеспечения потребностей промышленности.

В рамках решения поставленной задачи Васильевым А.С. рассмотрено состояние метрологического обеспечения измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях, в том числе проведен:

- анализ применяемых физических методов, включая метод РФА, измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в металлических покрытиях;
- анализ метрологических характеристик средств измерений в виде толщиномеров покрытий, измерителей поверхностной плотности и химического состава металлических покрытий, основанных на методе РФА;
- анализ метрологических и технических характеристик эталонов в виде стандартных образцов отечественного и зарубежного производства.

Научная новизна диссертационной работы Васильева А.С. заключается в следующем:

1. Разработана физико-математическая модель измерений поверхностной плотности многослойных однокомпонентных металлических покрытий на основе послойного измерения поверхностной плотности каждого слоя покрытия с учетом поправки на ослабление интенсивности излучения верхними слоями покрытия по закону Бугера-Ламберта-Бера.

2. Разработана физико-математическая модель измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных металлических покрытий на основе определения коэффициентов чувствительности с применением эталонов сравнения.

3. На основе разработанных физико-математических моделей создана методика измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода РФА, реализованная в качестве 2-х методик:

- МВ-07-ГЭТ-168-2015 «ГСИ. Методика воспроизведения и передачи единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях на ГЭТ 168-2015»;
- МРН-10-ГЭТ-168-2015 «ГСИ. Методика расчета неопределенности воспроизведения единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях на ГЭТ 168-2015».

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

В результате проведенной работы:

- созданы методические и технические основы для измерения поверхностной плотности многослойных многокомпонентных металлических покрытий, реализованные в разработанной методике измерений;

- на основе проведенных исследований актуализирована государственная поверочная схема для средств измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях в части многослойных многокомпонентных металлических покрытий;

- проведена оценка степени эквивалентности государственного первичного эталона ГЭТ 168-2015 с разработанной методикой измерений посредством проведения международных пилотных сличений ССQM P229 по измерению мольной доли платины в покрытии сплавом платина-никель на кремнии;

- разработана номенклатура из 17 типов стандартных образцов поверхностной плотности двухслойных однокомпонентных металлических покрытий с применением разработанного алгоритма определения поверхностной плотности многослойных однокомпонентных металлических покрытий на основе послойного определения поверхностной плотности покрытия каждого слоя с учетом поправки на ослабление интенсивности излучения верхними слоями покрытия по закону Бугера-Ламберта-Бера, позволившие обеспечить передачу единицы поверхностной плотности покрытий в диапазоне (7-180) г/м² с относительной погрешностью $\pm 2,5$ % для верхнего слоя и $\pm 5,0$ % для нижнего слоя;

- разработана номенклатура из 5 типов стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов для однослойных многокомпонентных металлических покрытий с применением разработанного алгоритма определения поверхностной плотности и массовой доли элементов в однослойных многокомпонентных металлических покрытиях на основе определения коэффициентов влияния с помощью образцов-свидетелей, позволившие обеспечить передачу единицы массовой доли элементов в покрытиях в диапазоне (1,0-100) % с относительной погрешностью $\pm (3-9)$ % и единицы поверхностной плотности покрытия в диапазоне (0,76-147) г/м² с относительной погрешностью $\pm 2,5$ %.

Достоверность научных результатов, полученных Васильевым А.С. в диссертационной работе, подтверждается корректностью применения математических методов моделирования, анализа и современных методов обработки экспериментальных данных, использованием уникальных средств измерений, доказательством эквивалентности ГЭТ 168-2015, реализующего предложенные автором решения, национальным эталонам других государств на высшем метрологическом уровне, а также обсуждением основных полученных результатов исследований на научно-практических конференциях, в том числе международных, публикации результатов исследований в рецензируемых научных журналах.

По материалам диссертационной работы опубликовано 10 работ, в том числе: 3 статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, из них 1 статья в научном журнале, индексированном базой данных Scopus, 1 – Web of Science; 7 в сборниках трудов международных конференций.

Применение на практике результатов исследования позволяет усовершенствовать и развить систему метрологического обеспечения измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях и удовлетворить перспективные требования науки и промышленности в метрологическом обеспечении средств измерений поверхностной плотности и химического состава металлических покрытий.

При подготовке диссертационной работы Васильев А.С. проявил себя как сформировавшийся самостоятельный научный работник, способный к планированию научной деятельности, применения математических методов к моделированию и обработке результатов экспериментов, а также

обладающий значительным практическим опытом в области метрологического обеспечения физических и химических методов анализа.

Васильев А.С. обладает такими важными качествами, присущими научному работнику, как аналитический склад ума, трудолюбие, ответственность, целеустремлённость, способность чётко и ясно формулировать цели и задачи исследования, а также планировать и организовывать экспериментальные работы.

Согласно достигнутой цели, решённым актуальным задачам и результатам проведённых исследований диссертационная работа Васильева А.С. соответствует профилю научной специальности 2.2.10 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Считаю, что диссертационная работа Васильева А.С. на тему «Метрологическое обеспечение измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в многослойных и многокомпонентных металлических покрытиях с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа» является выполненным самостоятельно и законченным научным исследованием, содержащим решение научно-технической задачи обеспечения единства измерений параметров металлических, включая защитные и специальные, покрытий в Российской Федерации.

На основании вышеизложенного считаю, что Васильев А.С. в полной мере заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10- «Метрология и метрологическое обеспечение».

Научный руководитель,
кандидат химических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории 221
УНИИМ – филиала
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

В.В. Казанцев

Подпись	<u>В.В. Казанцева</u>	заверяю
Зам. директора филиала по персоналу		
УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»		
	<u>Е.А. Евпланова</u>	
«03»	03	апрель 2025 г.

